

# 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 IV

Elektromagnetische Distanzmessungen  
im Basisvergrößerungsnetz

bearbeitet von Klaus Deichl, München  
mit Beiträgen von Werner Fischer

1. The first part of the document discusses the importance of maintaining accurate records of all transactions and activities. It emphasizes the need for transparency and accountability in financial reporting.

2. The second part of the document outlines the various methods and techniques used to collect and analyze data. It covers both qualitative and quantitative research approaches, highlighting their strengths and limitations.

3. The third part of the document focuses on the ethical considerations surrounding data collection and analysis. It discusses the importance of informed consent, confidentiality, and the responsible use of research findings.

4. The fourth part of the document addresses the challenges and limitations of data analysis. It explores issues such as data quality, missing data, and the potential for bias in statistical inference.

5. The fifth part of the document provides a summary of the key findings and conclusions drawn from the research. It highlights the implications of the study for future research and practice.

6. The final part of the document includes a list of references and a bibliography, providing a comprehensive overview of the sources used in the research.

7. The document concludes with a statement of the author's appreciation for the support and assistance provided by the research team and funding agencies.

8. The document also includes a section on the limitations of the study, acknowledging the constraints of the research design and the potential for generalization.

9. The document further discusses the implications of the findings for policy-making and practice, highlighting the need for continued research and monitoring.

10. The document concludes with a final statement of the author's commitment to the advancement of knowledge and the betterment of society.

11. The document also includes a section on the author's contact information, providing a means for further communication and collaboration.

12. The document concludes with a final statement of the author's appreciation for the support and assistance provided by the research team and funding agencies.

13. The document also includes a section on the author's contact information, providing a means for further communication and collaboration.

14. The document concludes with a final statement of the author's commitment to the advancement of knowledge and the betterment of society.

15. The document also includes a section on the author's contact information, providing a means for further communication and collaboration.

# 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 IV

Elektromagnetische Distanzmessungen  
im Basisvergrößerungsnetz

bearbeitet von Klaus Deichl, München  
mit Beiträgen von Werner Fischer

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. W. Fischer, Zürich

Dipl.-Ing. H. Hornik, München

Druck: Gebr. Brunner, 8151 Wangau

## V o r w o r t

Als die Bodenseekonferenz im Jahre 1956 an ihrer Sitzung in Bad Lochau beschloß, eine Basis mit Vergrößerungsnetz im Gebiet von Heerbrugg zu messen, stand die elektronische Distanzmessung noch ganz am Anfang ihrer Entwicklung. Die mit den neuen Geräten erreichbare Genauigkeit wurde allgemein unterschätzt und so sah man elektronische Distanzmessungen im Basisvergrößerungsnetz nicht vor. Man vertrat jedoch die Ansicht, daß sich die aus der mit Invardrähten bestimmten Basis und den Richtungsmessungen unter Berücksichtigung der Lotabweichungen berechneten Distanzen eignen würden, um die elektronischen Distanzmeßgeräte allgemein zu prüfen und um die Eichkonstanten zu bestimmen.

In der Tat haben in den ersten Jahren nach der Messung der Basis und des Vergrößerungsnetzes verschiedene geodätische Institutionen der drei Länder zahlreiche Distanzmessungen mit elektronischen Geräten im Vergrößerungsnetz durchgeführt. Da mit diesen Messungen die Instrumente geprüft werden sollten, und man nicht daran dachte, mit ihnen das Netz zu verbessern, wurden einzelne Seiten des Vergrößerungsnetzes sehr häufig und andere überhaupt nicht gemessen. Eine einheitliche Reduktion aller Beobachtungen konnte damals nicht erfolgen, da jedes Land die ihm zweckmäßig scheinenden Konstanten verwendete.

Die Einführung der elektronisch bestimmten Distanzen in die räumliche Ausgleichung des Netzes, wie sie schon vor Jahren ins Auge gefaßt worden war, erforderte nun eine neue, einheitliche Reduktion, bei der die neuesten Werte für die physikalischen Konstanten zu berücksichtigen waren. Diese neuen Reduktionsberechnungen stellten eine sehr umfangreiche und nicht einfache Arbeit dar, mußte doch auf die alten Feldprotokolle zurückgegriffen werden. Sie hat sich als sehr wertvoll erwiesen, da die dreidimensionale Ausgleichung, über die im Teil VI berichtet wird, nur Verbesserungen an den Distanzen mit sich brachte, die mit der vermuteten Genauigkeit vereinbar waren. Die im vorliegenden Teil IV enthaltenen Angaben über beobachtete und reduzierte Distanzen sind jedoch auch für sich betrachtet interessant, zeigen sie doch die Schwierigkeiten, die bei der Anwendung der elektronischen Distanzmessung im Gebirge vor zwanzig Jahren auftraten und heute noch auftreten.

Die Bearbeitung der Beobachtungen und die Redaktion des Teils IV lag in den Händen von Herrn Professor Dr.-Ing. Klaus Deichl, Extraordinarius

am Institut für Astronomische und Physikalische Geodäsie der Technischen Universität München. Ihm sind die Bodenseekonferenz und die Schweizerische Geodätische Kommission für die sehr sorgfältige Arbeit zu großem Dank verpflichtet. Die Abschnitte 2, 5.5 und 7 wurden von Herrn Werner Fischer, Mitarbeiter der Schweizerischen Geodätischen Kommission, geliefert, dem auch an dieser Stelle für seine Arbeit gedankt sei.- Dem Direktor des Instituts für Astronomische und Physikalische Geodäsie der Technischen Universität München, Herrn Professor Dr.-Ing. Rudolf Sigl, der die Berechnungen und die Publikation seit Jahren gefördert hat, sei besonders gedankt, weil nur dank seinem Interesse für die Basismessung die Bearbeitung zu einem Ende geführt werden konnte. Endlich sei auch Frau A. Popp vom erwähnten Institut für die sorgfältige Reinschrift gedankt.

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

I N H A L T

	Seite
1. <u>Einleitung</u> .....	7
2. <u>Beschreibung des Netzes</u> .....	8
2.1 Streckennetz .....	8
2.2 Punktversicherungen .....	9
2.3 Koordinaten und Höhen .....	9
2.4 Bestimmung ellipsoidischer Höhen .....	11
2.5 Höhenverhalten des nördlichen Basisendpunktes BN .....	13
3. <u>Physikalische und geometrische Reduktionen</u> .....	14
3.1 Der Brechungsindex .....	14
3.2 Geometrische Reduktionen .....	19
4. <u>Zusammenstellung der Meßdaten und der Rechenergebnisse</u> .....	20
4.1 Mikrowellen .....	21
4.2 Licht .....	22
5. <u>Messungen der verschiedenen Institutionen</u> .....	22
5.1 Messungen des Deutschen Geodätischen Forschungsinstitutes, gemeinsame Messungen der Abteilungen I und II .....	22
5.11 Durchführung der Beobachtungen .....	22
5.12 Meteorologische Beobachtungen .....	23
5.13 Instrumentelle Erfahrungen .....	23
5.14 Zentrierungen .....	23
5.141 Strecke St. Anton - Basis Süd (5 - 6) .....	24
5.142 Strecke Säntis - Hoher Freschen (1 - 3) .....	25
5.143 Strecke Basis Süd - Hoher Freschen (6 - 3) .....	25
5.15 Auswertung der Messungen .....	25
5.16 Zusammenstellung der Ergebnisse .....	26
5.2 Messungen des Deutschen Geodätischen Forschungsinstitutes, Abteilung II und des Bundesamtes für Eich- und Vermessungswesen, Wien, mit Geodimetern NASM 2A im Jahre 1960 .....	26
5.21 Vorbemerkung .....	26
5.22 Auswertung der Messungen .....	26
5.23 Zentrierungen .....	32
5.231 Zentrierung Basis Süd .....	33
5.232 Zentrierung St. Anton .....	33
5.233 Zentrierung Basis Nord .....	34
5.234 Weitere Zentrierungsbeträge .....	35
5.235 Höhenübertragungen .....	35
5.236 Reduktion wegen Neigung des Reflektors .....	36
5.24 Zusammenfassung .....	36

	Seite
5.3	Messungen des DGFI, Abteilung I, in den Jahren 1963 und 1964 .... 38
5.31	Durchführung und Auswertung der Messungen ..... 38
5.32	Zentrierungen ..... 38
5.33	Zusammenstellung der Ergebnisse ..... 39
5.4	Messungen des Geodätischen Instituts der Technischen Hochschule Karlsruhe ..... 39
5.41	Frequenzkontrollen ..... 39
5.42	Die Bestimmung der meteorologischen Daten ..... 44
5.43	Messungen mit dem Geodimeter NASM 4 ..... 44
5.431	Auswertung der Messungen ..... 45
5.432	Zusammenstellung der Ergebnisse ..... 45
5.44	Messungen mit dem Tellurometer MRA 2 ..... 45
5.441	Beschreibung der Messungen ..... 45
5.442	Zentrierungen ..... 47
5.4421	Zentrierung Pfänder ..... 47
5.4422	Zentrierung St. Anton ..... 48
5.4423	Zentrierung Basis Süd ..... 49
5.4424	Zentrierung Säntis . ..... 50
5.4425	Zusammenfassung der Zentrierungen der Strecke Basis Süd - St. Anton 51
5.443	Zusammenstellung der Ergebnisse ..... 51
5.45	Messungen mit dem Distomat DI 50 ..... 52
5.451	Zentrierungen ..... 52
5.452	Zusammenstellung der Ergebnisse ..... 53
5.5	Schweizerische Messungen ..... 53
5.51	Tellurometer- und Distomat-Messungen vom Oktober 1963 ..... 53
5.52	Versuchsmessungen mit dem Geodimeter 8 vom Oktober 1969 ..... 59
5.53	Geodimeter-Messungen vom Juni 1970 ..... 60
5.54	Geodimeter-Messungen vom September/Okttober 1971 ..... 60
5.55	Auswertung der Messungen und Zusammenfassung ..... 61
6.	<u>Ballonsondenaufstiege</u> ..... 64
6.1	Auswertung der Sondenmessungen ..... 73
7.	<u>Höhenwinkelmessungen</u> ..... 80
7.1	Messungen ..... 80
7.2	Durchschnittlicher Refraktionskoeffizient ..... 80
7.3	Refraktionskoeffizient der einzelnen Visuren ..... 84
7.4	Beurteilung der Höhenwinkelmessungen ..... 86
8.	<u>Ausgleichung</u> ..... 89
8.1	Sichtung der Messungen ..... 89
8.2	Gewichtsansatz und Korrelationen ..... 91
Literatur	..... 97

## 1. Einleitung

Beim Beschluß, ein Basisnetz bei Heerbrugg anzulegen, standen zwei Gedanken im Vordergrund. Einmal die Sicherung des Maßstabs der geodätischen Netze im Raum Bodensee und zum anderen die Schaffung von Eichstrecken für elektromagnetische Entfernungsmeßgeräte (KOBOLD/FISCHER, 1974). Von dieser Möglichkeit wurde in den Jahren 1960 bis 1964 von folgenden Institutionen Gebrauch gemacht: Bundesamt für Eich- und Vermessungswesen, Deutsches Geodätisches Forschungsinstitut Abt. I und II, Geodätische Institute der TH Karlsruhe und der ETH Zürich und die Schweizerische Geodätische Kommission (in alphabetischer Reihenfolge). Es wurden dabei die elektrooptischen Entfernungsmeßgeräte Geodimeter NASM 2A, NASM 4B und Geodimeter 8 eingesetzt sowie die Mikrowellengeräte Distomat DI 50, Electro Tape DM 20 und die Tellurometer MRA 1 und MRA 2 (wieder in alphabetischer Reihenfolge).

Ausführlich publiziert wurden bisher nur die Messungen der TH Karlsruhe (DRAHEIM/LICHTE, 1965). Kurzberichte liegen vor über die Messungen des DGFI, Abt. II (GERKE, 1963a,b; GROSSE, 1970a). Für die Messungen des DGFI, Abt. I liegt ein vollständiges Manuskript vor, das im Hinblick auf die geplante gemeinsame Veröffentlichung mit den anderen Messungen nie publiziert wurde (SIGL/ZÜLSDORF (1961)). Keine Berichte liegen vor über die Messungen von österreichischer und schweizerischer Seite.

Im vorliegenden Heft wird nun versucht, alle zugänglichen Messungen in möglichst einheitlicher Form zusammenzufassen und zwar derart, daß jeder Interessent die Möglichkeit hat, die Messungen nach eigenen Vorstellungen auszuwerten - die dazu nötigen Angaben finden sich in den jeweiligen Tabellen 1 des Kapitels 5 - und in dem andererseits schon einheitliche Reduktionen auf die Rechenfläche durchgeführt und weiter die schrägen Distanzen angegeben sind.

Es hat sich bei der Bearbeitung dieses Heftes weder zur Freude noch zur Überraschung des Bearbeiters gezeigt, daß dieser scheinbar so einfache Vorgang nichtsdestoweniger seine Tücken hat. Dies liegt zum Teil daran, daß die Feldbücher nur unvollständig oder auch falsch waren (beispielsweise fehlende Höhen oder falsche Punktbezeichnungen, besonders der Exzentrizitäten), zum Teil liegt es an den verschiedenen Höhen- und Koordinatensystemen, die bei den Berechnungen zugrunde gelegt wurden, an den vielen Exzentren und nicht zuletzt an den Korrekturen, die an die meteorologischen Daten anzubringen waren, angebracht waren oder angebracht hätten werden müssen.

Die meisten dieser Schwierigkeiten lassen sich durch den langen Zeitraum, der zwischen den Messungen und dieser Bearbeitung liegt, erklären; bei den originalen Auswertungen traten bei der noch frischen Erinnerung in der Regel sicher überhaupt keine Probleme auf.

Diese kurze Schilderung der Schwierigkeiten soll nun keineswegs einen Tadel an die jeweiligen Feldbuchführer oder die Institutionen ausdrücken. Eine Durchsicht der eigenen alten Feldbücher zeigte, daß auch der Bearbeiter durchaus zu den "normalen" Geodäten zu rechnen ist, es sollte vielmehr nur ein Hinweis darauf sein, daß nach Lage der Dinge auch bei größtmöglicher Sorgfalt Fehler nicht immer zu vermeiden waren.

Bei der Abfassung der kurzen Texte wurde nach Möglichkeit der Wortlaut der vorliegenden Veröffentlichungen benutzt. Nur wo es, bedingt durch die neue Bearbeitung, nötig war, wurde der Text geändert. Im Hinblick auf die Übersichtlichkeit wurde darauf verzichtet, die Zitate jeweils besonders hervorzuheben. Wenn die verschiedenen Messungen nicht gleich ausführlich geschildert werden, so ist damit keine Gewichtung verbunden, sondern das ist lediglich die Folge sehr unterschiedlicher Textvorlagen.

## 2. Beschreibung des Netzes

Das Basisvergrößerungsnetz Heerbrugg ist im ersten Heft über die Basismessung von KOBOLD/FISCHER (1974) im Abschnitt 4.2 beschrieben und in der dortigen Abb. 6 dargestellt. Die vorliegende Beschreibung stützt sich auf die dort gemachten Angaben und berücksichtigt insbesondere die für die elektronischen Distanzmessungen wichtigen Gegebenheiten.

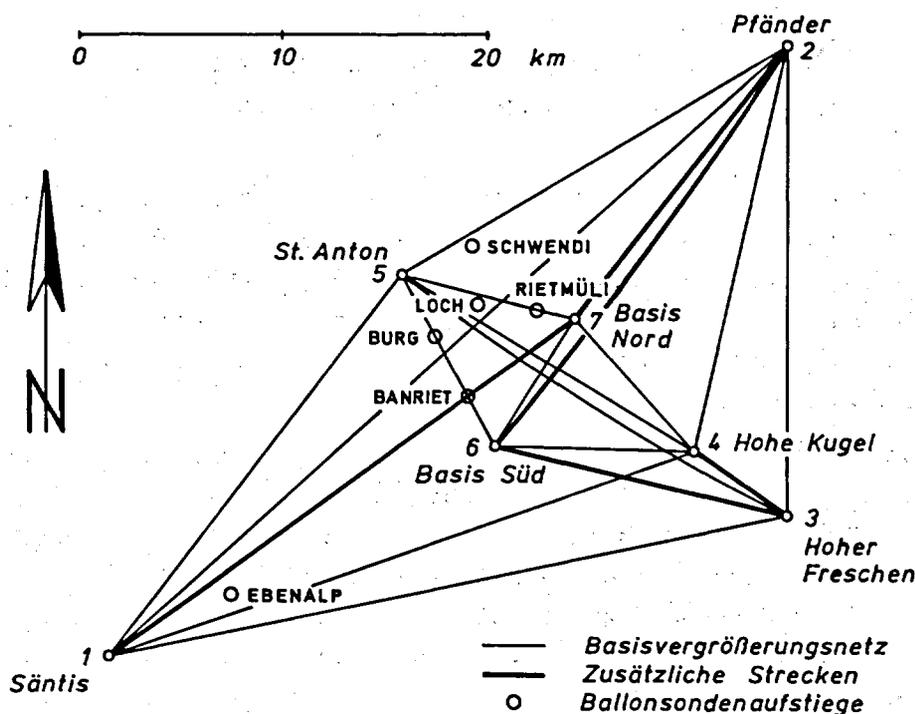


Abb. 2.1

### 2.1 Streckennetz

Das im Bereich des Basisvergrößerungsnetzes Heerbrugg gemessene Streckennetz ist in Abb. 2.1 dargestellt. Es umfaßt alle im trigonometrischen Netzplan enthaltenen Seiten, zusätzlich aber noch einige weitere Verbindungen, die einen zusammenhängenden Streckenzug Sántis - Basis Nord - Pfänder - Basis Süd - Hoher Freschen - Hohe Kugel bilden und in der Abb. 2.1 mit stärkeren Linien hervorgehoben sind. (Die letzte Seite Hoher Freschen - Hohe Kugel ist wohl im trigonometrischen Netzplan enthalten, wurde aber aus beobachtungstechnischen Gründen bei der Winkelmessung nicht mitgenommen.) Selbstverständlich wurden nicht alle Seiten dieses Netzes gleich oft und mit den gleichen Geräten gemessen, wie aus den Ausführungen über die Messungen der verschiedenen Institutionen (Abschnitt 5) hervorgehen wird. Nicht gemessen wurden im ganzen Netz lediglich die beiden Verbindungen Sántis - Basis Süd und Hoher Freschen - Basis Nord.

In Abb. 2.1 sind auch die Aufstiegsorte der 1960 zum Einsatz gekommenen Ballonsonden eingetragen (vgl. Abschnitt 6 Ballonsondenaufstiege).

## 2.2 Punktversicherungen

Alle Punkte des Basisvergrößerungsnetzes sind Punkte der Triangulation 1. bis 4. Ordnung und damit dauernd versichert. Dies ist für die elektronischen Distanzmessungen, die über längere Zeit durchgeführt werden sollen, von besonderer Bedeutung. Die Punktprotokolle sind in KOBOLD/FISCHER (1974) auf den Seiten 16-19 wiedergegeben.

Eine geringfügige Änderung im Netz ergab sich 1961, als der Punkt St. Anton-Ost errichtet wurde, weil die Sichten vom Punkt St. Anton aus weitgehend verbaut worden waren. Von diesem Zeitpunkt an wurden die elektronischen Distanzmessungen vom Punkt St. Anton-Ost aus durchgeführt. Ferner mußte 1967 der Pfeiler am nördlichen Basisende abgebrochen werden, da er der Erstellung eines Trottoirs im Zuge des Brückenausbaus im Weg stand. Der darunterliegende Lochbolzen wurde durch einen im Trottoir eingelassenen Schacht abgedeckt und dient fortan als Stationspunkt. Leider erwies sich dieser in der Mitte der Rheinebene gelegene Punkt BN auch in anderer Beziehung als der unstabilste Punkt des ganzen Netzes (vgl. Abschnitt 2.5 Höhenverhalten des nördlichen Basisendpunktes BN).

## 2.3 Koordinaten und Höhen

Soweit die Punkte des Basisvergrößerungsnetzes den Landesnetzen Österreichs und der Schweiz angehören, konnten deren offizielle Koordinaten und Höhen benützt werden. Diese sind in KOBOLD/FISCHER (1974) im Anhang 8 zusammengestellt und werden in den Tabellen 2.1 und 2.2 nochmals wiedergegeben.

### Koordinaten und Höhen im österreichischen Landessystem

GAUSS-KRÜGER-System:

Meridianstreifen M. 10°20' östl. Greenwich, Höhen über Adria

Punkt	Bezugspunkt	Y	X	H	Bemerkungen
Hohe Kugel	TP-Stein	- 46 641,59	5 244 222,53	1645,23	
	KT-Bolzen	- 46 646,54	5 244 220,02	1646,21	exz.Pfeiler 1959
Pfänder	KT-Bolzen	- 41 648,90	5 263 335,10	1063,39	Pfeiler
Hoher Freschen	KT-Stein	- 41 996,37	5 241 048,91	2003,68	
	KT-Bolzen	- 41 987,92	5 241 050,07	2004,04	exz.Pfeiler

Tabelle 2.1

Koordinaten und Höhen im schweizerischen Landessystem

konforme, schiefachsige Zylinderprojektion:

Nullpunkt Bern, Höhen bezogen auf Repère Pierre du Niton = 373,60 m

Punkt	Bezugspunkt	Y	X	H	Bemerkungen
Basis Süd	Kappenbolzen	+162 534,97	+45 199,87	477,54	Pfeiler=Δ 4587
Basis Nord	Lochbolzen	+166 540,93	+51 258,53	414,57	Δ 4570
	Kappenbolzen	+166 538,35	+51 248,71	415,75	Pfeiler <sup>1)</sup>
St. Anton	Lochbolzen	+158 009,23	+53 120,70	1121,19	
St. Anton-Ost	Lochbolzen	+158 437,73	+53 092,24	1101,87	
Pfänder	Granitpfeiler	+176 376,04	+64 478,64	1063,50	
	Vers. St. SO	+176 382,95	+64 471,24		
Säntis	Kappenbolzen	+144 169,15	+34 918,52	2503,07	
Hoher Freschen	Stein	+176 852,85	+42 194,12	2003,68	2)
	Pfeiler	+176 861,27	+42 195,65	2004,02	2)

1) Koordinaten von Δ 4570 abgeleitet, ab 1967 Lochbolzen, H = 414,38 m

2) Höhe von Österreich übernommen

Tabelle 2.2

Das Deutsche Geodätische Forschungsinstitut hat unabhängig davon unter Verwendung seiner verebneten Distanzmessungen und basierend auf den Koordinaten von Pfänder und Hoher Freschen GAUSS-KRÜGER-Koordinaten aller Stationspunkte berechnet und in Tabelle 2.3 zusammengestellt. (Es ist nicht bekannt, wo diese Ausgangskordinaten entnommen wurden; mit den Werten des BAYERISCHEN LANDESVERMESSUNGSAMTES (1956) stimmen sie jedenfalls nicht überein.)

Nr.	Station	GAUSS-KRÜGER-Koordinaten	
		Rechtswert y m	Hochwert x m
1	Säntis	3526 055,24	5234 593,81
2	Pfänder	3558 840,78	5263 509,59
3	Hoher Freschen	3558 884,14	5241 224,52
4	Hohe Kugel	3554 169,71	5244 311,43
5	St. Anton	3540 251,57	5252 519,96
6	Basis Süd	3544 619,65	5244 509,53
7	Basis Nord	3548 741,60	5250 478,39

Tabelle 2.3

## 2.4 Bestimmung ellipsoidischer Höhen

Nachdem die offiziellen Höhenangaben in großer Näherung geoidische Höhen darstellen, erwies es sich als notwendig, für die Reduktion der elektronischen Distanzmessungen auf eine feste Bezugsfläche ellipsoidische Höhen zu bestimmen. Die Vorbereitungen zur Errichtung eines engermaschigen Höhennetzes über dem Basisvergrößerungsnetz wurden im Winter 1964/65 an die Hand genommen, so daß das Projekt der Schweizerischen Geodätischen Kommission (1966) an ihrer 111. Sitzung vorgelegt werden konnte. Dort wurde ins Arbeitsprogramm 1965 aufgenommen:

Basis Heerbrugg: Durch ein Höhenwinkelnetz zwischen Säntis und Pfänder werden ellipsoidische Höhen bestimmt. Die Messung der Lage- und Höhenwinkel in diesem Netz erfolgte im Sommer 1965 durch Diplomanden der Abteilung VIII und Assistenten des Instituts für Geodäsie und Photogrammetrie der ETH Zürich im Rahmen eines Vermessungskurses unter Leitung von Prof. Dr. F. KOBOLD. Ein Bericht über diese Arbeiten ist der Kommission im April 1966 durch H. CHABLAIS (1967) erstattet worden. Um das Höhenwinkelnetz zu verstärken, d.h. zu entlasten von sonst als Unbekannte einzuführenden Lotabweichungskomponenten, wurden diese auf zwei Punkten - Meldegg und Ebenalp - durch astronomische Längen- und Breitenbeobachtungen bestimmt (ZINGER'sche Methode mit DKM3-A). Die Beobachtungen und die Auswertungen erfolgten durch Assistenten des Instituts für Geodäsie und Photogrammetrie. Sie sind in einem Bericht an die Kommission, erstattet von W. MEIER (1967) im April 1966, dargestellt.

Diese Ausführungen über die Durchführung der Messungen sind dem Bericht von N. WUNDERLIN (1971) über die Berechnungen im Höhennetz Heerbrugg entnommen. Die ganze Höhenbestimmung, die von N. WUNDERLIN (1970) bearbeitet wurde, soll im Teil V ausführlicher zur Darstellung kommen. Deshalb kann man sich hier auf die Wiedergabe der wichtigsten Resultate beschränken. Tabelle 2.4 enthält unter anderem die bei der Distanzreduktion zu berücksichtigenden ellipsoidischen Höhen der 7 Punkte des Basisvergrößerungsnetzes (siehe nächste Seite).

Nachdem der neue Stationspunkt St. Anton-Ost nicht in das Höhennetz einbezogen worden war, mußte dessen ellipsoidische Höhe nachträglich abgeleitet werden. Wegen des flachen Verlaufs des Geoids um den Punkt St. Anton herum (vgl. WUNDERLIN (1971), Figur 4) konnten jedoch die Korrekturen dieses Punktes übernommen werden.

Trigonometrische Höhe von St. Anton-Ost von St. Anton abgeleitet	1101.87 m
Höhenkorrektur von St. Anton, aus der trigonometrischen Bestimmung 1965	+ 0.05 m
Geoidische Höhe von St. Anton-Ost 1965	1101.92 m
Geoidhöhe von St. Anton im ED 50	- 2.38 m
Ellipsoidische Höhe von St. Anton-Ost 1965	1099.54 m

Bestimmung ellipsoidischer Höhen

Nr. (1)	Punkt (2)	Offizielle Höhen Änderungen		Geoid. Höhen (5)	Ellips. Höhen (6)	Geoidhöhen		Ellips. Höhen (9)	Geoidhöhen 1977 Änd. (10)
		A (3)	CH (4)			CH 1965 (7)	ED 50 1965 (8)		
7	Basis Nord		415.75 -0.09	<u>415.660</u> <sup>1)</sup>	<u>416.410</u>	+0.75	-2.27	413.39	-2.28 -0.01
6	Basis Süd		477.54 -0.01	<u>477.530</u> <sup>2)</sup>	478.323	+0.79	-2.18	475.35	-2.28 -0.10
5	St. Anton		1121.19 +0.05	1121.242	1121.896	+0.65	-2.38	1118.86	-2.31 +0.07
4	Hohe Kugel	1645.23 +0.03		1645.255	1646.513	+1.26	-1.72	1643.54	-1.67 +0.05
3	Hoher Freschen	2003.68 -0.02		2003.661	2005.387	+1.73	-1.24	2002.42	-1.19 +0.05
2	Pfänder	1063.39 +0.13	1063.50 +0.13	1063.519	1064.708	+1.19	-1.93	1061.59	-1.94 -0.01
1	Säntis		2503.07 +0.26	2503.329	2504.406	+1.08	-1.81	2501.52	-1.80 +0.01

1) Neubestimmung 1969

2) Trigonometrische Bestimmung von der Hilfsbasis A-B aus

(5) und (6) Trigonometrische Bestimmung 1965 aus WUNDERLIN (1971)

(7) = (6) - (5)

(8) = (7) vom schweizerischen Datum auf das europäische Datum ED 50 umgerechnet mit der Näherungsformel:

$$-3.00 - 0.00693 \cdot (X - X_{BM}) - 0.00085 \cdot (Y - Y_{BM})$$

X in km, positiv nach Norden

Y in km, positiv nach Osten

BM = Basismitte

(9) = (5) + (8)

(10) = Astronomisch-geodätische Bestimmung 1977 (aus GURTNER (1978))

Tabelle 2.4

## 2.5 Höhenverhalten des nördlichen Basisendpunktes BN

Bei der Ausgleichung des Höhennetzes wurden die beiden Basisendpunkte als Höhenfestpunkte angenommen. Dabei zeigte sich aber ein Widerspruch in den Bezugshöhen, der auf eine Senkung des nördlichen Basisendpunktes BN hindeutete, dies umso mehr als beim benachbarten Nivellementspunkt  $\oplus$  545 schon früher eine Senkung festgestellt worden war (vgl. GERKE/FISCHER/FRICKE (1975), Seite 22). Die Schweizerische Geodätische Kommission ließ deshalb am 31. Mai 1969 den Punkt BN durch ein technisches Nivellement an die Nivellementspunktgruppe in Heerbrugg anschließen, das die Vermutung bestätigte (WUNDERLIN (1971)). Tabelle 2.5 enthält die nivellierten Höhen der Jahre 1950, 1960 und 1969. Leider liegen dazwischen keine weiteren Messungen vor, die es erlauben würden, die Bewegung im einzelnen zu verfolgen.

### Höhen am nördlichen Basisendpunkt

Punkt	1950	$\Delta$	1960	$\Delta$	1969
$\oplus$ 372 (Heerbrugg)	412.251	0	412.251	0	412.251
$\oplus$ 545 (Brückenkopf)	413.146	-53	413.093		
$\Delta$ 4570			414.57	-103	414.467
BN (Pfeiler)			415.75		(415.66 ) <sup>1)</sup>
BN (Lochbolzen)			414.383	- 88	414.295

1) Pfeiler 1967 abgebrochen; Kappenbolzen 1.367 m höher als Lochbolzen

Tabelle 2.5

### 3. Physikalische und geometrische Reduktionen

Um die gemessene rohe Strecke auf die Rechenfläche zu reduzieren, sind mehrere Reduktionen anzubringen; eine physikalische Reduktion, die den Zustand der Atmosphäre bei der Messung berücksichtigt und geometrische Reduktionen, die die gekrümmte schräge Strecke auf die Rechenfläche reduzieren.

#### 3.1 Der Brechungsindex

Der Bequemlichkeit halber wird im folgenden in der Regel mit der Brechzahl N statt mit dem Brechungsindex n gearbeitet. Es gilt:  $(n - 1) \cdot 10^6 = N$ . Die Brechzahl für Mikrowellen wurde nach der Formel von ESSEN und FROOME berechnet.

$$N_M = \frac{103,49}{T} (p - e) + \frac{86,26}{T} \left(1 + \frac{5748}{T}\right) e \quad (3.1)$$

Es bedeuten: T = Lufttemperatur in Kelvin

p = Luftdruck in mmHg

e = Partialdruck des Wasserdampfes in mmHg .

Der Partialdruck des Wasserdampfes wurde nach der Formel von SPRUNG berechnet.

$$e = E' - C(t - t') \frac{p}{755} \text{ mmHg} \quad (3.2)$$

Es bedeuten: E' = Sättigungsdampfdruck über Wasser bzw. über Eis in mmHg

C = Psychrometerkonstante = 0,5 bei feuchtem Thermometer

= 0,43 bei vereistem Thermometer

t, t' = Temperaturen des trockenen bzw. des feuchten (vereisten) Thermometers

p = Luftdruck in mmHg .

Der Sättigungsdampfdruck über Wasser bzw. über Eis wurde nach der Formel von MAGNUS-TETENS berechnet

$$E' = 10 \left[ \frac{a \cdot t'}{b + t'} + c \right] \text{ mmHg.} \quad (3.3)$$

Es gilt:

	a	b	c
Wasser	7,5	237,3	0,6609
Eis	9,5	265,5	0,6609

t' = Temperatur des feuchten (vereisten) Thermometers in °C.

#### Hinweis:

1. Beim feuchten Thermometer ist es bei entsprechenden Temperaturen sehr schwierig zu entscheiden, ob das Thermometer nun vereist ist oder nicht. In den Feldbüchern fehlen grundsätzlich Angaben darüber. Es wurde daher immer bei  $t' < -5^\circ\text{C}$  angenommen, daß das feuchte Thermometer vereist war.
2. War die feuchte Temperatur höher als die trockene Temperatur, so wurde  $t' = t$  gesetzt, d.h. es wurde angenommen, daß die Luft mit Wasserdampf gesättigt und die (niedrigere) Trockentemperatur richtig war.

Der Gruppenbrechungsindex für Lichtwellen wurde entsprechend BARREL und SEARS berechnet aus:

$$(n_G - 1) \cdot 10^7 = 2876,04 + 3 \cdot \frac{16,288}{\lambda^2} + 5 \cdot \frac{0,136}{\lambda^4} \quad (3.4)$$

Die Wellenlänge  $\lambda$  ist in  $\mu\text{m}$  einzuführen.

Gleichung (3.4) liefert den Gruppenbrechungsindex in trockener Luft bei  $t = 0^\circ\text{C}$ ,  $p = 760 \text{ mmHg}$  und einem  $\text{CO}_2$  Gehalt von 0,03%.

Der Übergang auf die herrschende Atmosphäre geschieht nach KOHLRAUSCH mit:

$$n_L = 1 + \frac{n_G - 1}{1 + \alpha t} \frac{p}{760} - \frac{5,5 \cdot 10^{-8}}{1 + \alpha t} e \quad (3.5)$$

Der Ausdehnungskoeffizient der Luft beträgt:  $\alpha = 0,003661$ ; die übrigen Größen sind bereits oben angegeben.

Mit den angegebenen Gleichungen ist es möglich, die Brechzahlen bzw. den Brechungsindex aus den meteorologischen Messungen an den Endpunkten A bzw. B zu berechnen. Um jedoch einen repräsentativen mittleren Wert  $N_m$  für die gesamte Strecke zu erhalten, muß ein Atmosphärenmodell aufgestellt werden.

Das einfachste  $N_m = N_A = N_B = \text{const.}$  ist natürlich viel zu ungenau. Eine wesentliche Verbesserung bringt schon der Ansatz  $N_m = (N_A + N_B)/2$ . Dies läuft etwa auf eine lineare Änderung der Brechzahl mit der Höhe hinaus:  $N = A + B \cdot h$ .

Auch hier zeigt die Erfahrung, daß damit die wahren Verhältnisse nur unzureichend erfaßt werden können und daß eine nichtlineare Änderung vorzuziehen ist. Dafür werden vorzugsweise zwei Ansätze verwendet, ein exponentieller Ansatz und eine Parabel zweiter Ordnung:

$$N = A e^{-Kh} \quad (3.6)$$

$$N = A + Bh + Ch^2 \quad (3.7)$$

Beide Ansätze haben ihre Vor- und Nachteile. Der Vorteil des exponentiellen Ansatzes liegt darin, daß zur Bestimmung der beiden Unbekannten A und K lediglich zwei Messungen von N in verschiedenen Höhen notwendig sind. Das ist bei allen EDM-Messungen der Fall. Der Nachteil besteht darin, daß "ausgefallene" atmosphärische Verhältnisse nicht genügend genau erfaßt werden können. Für letzteres ist wiederum der parabolische Ansatz bestens geeignet; nur sind zur Bestimmung der drei Unbekannten A, B und C drei Messungen von N in verschiedenen Höhen nötig. Diese Messungen liegen normalerweise nicht vor, so daß man bei Verwendung des parabolischen Ansatzes gezwungenermaßen eine der Unbekannten als bekannt voraussetzen muß und dann das Modell natürlich nicht optimal den wahren Verhältnissen anpassen kann. Im Rahmen der Messungen im Basisvergrößerungsnetz Heerbrugg wurden auch Versuche unternommen, durch zusätzliche Messungen die Atmosphäre besser zu erfassen. Einmal wurden mittels Ballonsonden zusätzliche Messungen in verschiedenen Höhen ausgeführt, womit beispielsweise weitere Bestimmungsgleichungen für die Unbekannten des parabolischen Ansatzes aufgestellt werden können. Über diese Messungen ist im Abschnitt 6 berichtet. Ferner wurden entsprechend dem Vorschlag von SAASTAMOINEN (1962) bei Geodimetermessungen gleichzeitig Zenitwinkel gemessen, die es ebenfalls ermöglichen sollen, die Atmosphäre besser zu erfassen. Darüber ist im Abschnitt 7 berichtet.

Nachdem bei nahezu allen Messungen im Vergrößerungsnetz nur Messungen an den beiden Endpunkten vorlagen, wurde bei der Berechnung der physikalischen Reduktion der exponentielle Ansatz verwendet und die für die gesamte Strecke repräsentative Brechzahl  $N_m$  wurde nach DEICHL/REINHART (1971) berechnet zu:

$$N_m = N_A \left( 1 - \frac{\ln N_A - \ln N_B}{2} + \frac{(\ln N_A - \ln N_B)^2}{6} - \frac{(\ln N_A - \ln N_B)^3}{24} + K \frac{1-k}{12R} S_{AB}^2 \right) \quad (3.8)$$

Durch Reihenentwicklung erhält man den völlig gleichwertigen Ausdruck

$$N_m = \frac{N_A + N_B}{2} + \frac{N_A - N_B}{12} \cdot \Delta \left( 1 - \frac{\Delta}{2} \right) + N_A K \frac{1-k}{12R} S_{AB}^2 \quad (3.9)$$

mit

$$K = \frac{\ln N_A - \ln N_B}{H_B - H_A} \text{ km}^{-1} \quad (3.10)$$

und

$$\Delta = \frac{N_B - N_A}{N_A}$$

Es bedeuten:  $N_A$ ,  $N_B$  die für die Endpunkte A bzw. B nach (3.1), (3.2), (3.3) bzw. nach (3.4), (3.5) berechneten Brechzahlen und  $S_{AB}$  ist die horizontale Entfernung zwischen den Endpunkten A und B.

Der Faktor K wurde bei Höhenunterschieden  $|H_B - H_A| > 200$  m nach (3.10) berechnet, bei Höhenunterschieden kleiner 200 m wurde mit dem empirisch bzw. theoretisch abgeleiteten Wert

	$K[\text{km}^{-1}]$
Mikrowellen	0,136
Licht	0,103

gerechnet.

Es wird später gezeigt werden, daß das Korrektionsglied, in dem er auftritt, nichts anderes als die zweite Geschwindigkeitskorrektion von HÖPCKE ist. In analoger Weise dazu könnte man das erste, höhenabhängige Korrektionsglied auch als "dritte Geschwindigkeitskorrektion" bezeichnen. Die zweite wie die dritte Geschwindigkeitskorrektion sind bei Lichtwellen kleiner als bei Mikrowellen.

Gleichung (3.9) läßt erkennen, daß die beiden letzten Glieder eine Korrektion für das arithmetische Mittel der Brechzahlen der beiden Endpunkte darstellen, denn der Mittelwert allein würde einem sicher nicht zutreffenden linearen Verlauf der Brechzahl längs der Strecke entsprechen.

Das erste Korrektionsglied ist lediglich von den Brechzahlen der beiden Endpunkte abhängig. Es wird umso größer, je größer die Differenz zwischen den beiden Brechzahlen ist, das heißt natürlich auch, je größer der Höhenunterschied ist. Die Größenordnung dieses Gliedes läßt sich leicht abschätzen. Setzt man  $N_A = 300$ , so erhält man bei verschiedenen Differenzen  $N_A - N_B$  folgende Korrekturen

$$dN = \frac{N_A - N_B}{12} \Delta \left( 1 - \frac{\Delta}{2} \right)$$

$N_A - N_B$	20	40	60
dN	-0,1	-0,4	-0,9

Bei großen Höhenunterschieden, wenn die Differenz der Brechzahlen groß wird, nimmt dieses Glied also beachtliche Werte an.

Das zweite Korrektionsglied von (3.8) bzw. (3.9) ist die bekannte zweite Geschwindigkeitskorrektur von HÖPCKE (1964). Das läßt sich leicht durch Vergleich der entsprechenden Ausdrücke zeigen. Nach HÖPCKE hat die zweite Geschwindigkeitskorrektur folgende Form:

$$\Delta n = (k - k^2) \frac{D^2}{12 R^2} .$$

Das entsprechende Glied in (3.8) bzw. (3.9) lautet

$$\Delta N = N_A K \frac{1-k}{12 R} S_{AB}^2 .$$

Sollen die beiden Ausdrücke einander entsprechen, so muß wegen  $D = S_{AB}$  offensichtlich gelten

$$k = N_A K R \cdot 10^{-6} . \quad (3.11)$$

(3.11) folgt auch unmittelbar aus der Beziehung

$$\frac{1}{\rho} = - \frac{dn}{dh} = \frac{k}{R} .$$

Differenziert man (3.6), so erhält man

$$\frac{dN}{dh} = - K \cdot N$$

und eingesetzt

$$k = N K R \cdot 10^{-6} .$$

Setzt man nun beispielsweise für Mikrowellen die genäherten Werte  $N_A = 300$  und  $K = 0,136 \text{ km}^{-1}$  ein, so erhält man für  $R = 6378 \text{ km}$

$$k = 300 \cdot 0,136 \cdot 6378 \cdot 10^{-6} = 0,26 .$$

Dieser Wert stimmt sehr gut mit dem üblicherweise verwendeten Wert für  $k = 0,25$  überein, womit obige Aussage bestätigt ist.

Bei der Ableitung von (3.8) bzw. (3.9) wurde eine Exponentialatmosphäre zugrunde gelegt. Hat man jedoch die Möglichkeit, durch zusätzliche Messungen die drei Unbekannten des parabolischen Ansatzes (3.7) zu bestimmen, so ist dieser vorzuziehen.

Bildet man ganz analog dem Vorgehen in (DEICHL/REINHART 1971) einen integrierten Mittelwert für die ganze Strecke indem man setzt

$$N_m = \frac{1}{S_{AB}} \int_0^{S_{AB}} (A + Bh + Ch^2) ds,$$

wobei gilt

$$h = h_A + \left( \frac{h_B - h_A}{S_{AB}} - \frac{1-k}{2R} S_{AB} \right) s + \frac{1-k}{2R} s^2,$$

so erhält man nach Integration den Ausdruck

$$N_m = A + B \left( \frac{h_A - h_B}{2} - \frac{1-k}{12R} S_{AB}^2 \right) + C \left[ \frac{h_A^2 + h_B^2 + h_A h_B}{3} - \frac{(h_B - h_A)(1-k)}{12R} S_{AB}^2 - h_A \frac{1-k}{6R} S_{AB}^2 \right] .$$

Es sind dabei Glieder mit  $R^2$  vernachlässigt.

Formt man nun das erste Glied in der Klammer bei C so um, daß  $\frac{h_A^2 + h_B^2}{2}$  herausgezogen werden kann und faßt alle Glieder in geeigneter Weise zusammen, so erhält man endgültig:

$$N_m = \frac{N_A + N_B}{2} - C \frac{(h_A - h_B)^2}{6} - [B + C(h_A + h_B)] \frac{1-k}{12R} S_{AB}^2. \quad (3.12)$$

Dieser Ausdruck ist nun der Gleichung (3.9) völlig gleichwertig. Ein entsprechender Ausdruck findet sich schon in (JORDAN/EGGERT/KNEISSL, 1966, S. 580). Das zweite Glied ist wieder entfernungsunabhängig und berücksichtigt die nicht-lineare Änderung der Brechzahl mit der Höhe und das dritte Glied entspricht wieder der zweiten Geschwindigkeitskorrektur von HÖPCKE. Um dies zu zeigen sei mit (JORDAN/EGGERT/KNEISSL, 1966) angenommen, daß die Koeffizienten in (3.7) folgende Werte (bei Mikrowellen) haben. (Der Vergleich mit anderen angeführten Werten zeigt, daß diese Koeffizienten sehr unsicher sind.).

$$A = 333 \quad B = -43,5 \text{ km}^{-1} \quad C = 2,1 \text{ km}^{-2}.$$

Nun sei das erste Korrektionsglied betrachtet. Bei Annahme eines exponentiellen Gesetzes wurde dafür für  $N_A - N_B = 60$  eine Korrektur von  $-0,9$  erhalten. Um mit dem entsprechenden Glied in (3.12) vergleichen zu können, wird zuerst mit (3.7) und der Annahme  $h_A = 0,5 \text{ km}$  die Höhe  $h_B$  berechnet, für die dann gilt:

$$N_A - N_B = 60. \text{ Man erhält dafür } h_B = 2,1 \text{ km.}$$

Mit diesen beiden Höhen ist man auch in einem Höhenbereich, der im Basisnetz Heerbrugg vorherrscht. Berechnet man nun für diese Höhen das entsprechende Korrektionsglied, so ergibt sich

$$\Delta N = -C \frac{(h_A - h_B)^2}{6} = -2,1 \frac{1,6^2}{6} = 0,35 \cdot 1,6^2 = -0,9.$$

Dieser Wert stimmt mit dem aus (3.9) berechneten Wert überein, so daß damit erwiesen ist, daß bei einer "normalen" Atmosphäre beide Korrektionsglieder gleich sind. Für die überschlägige Handrechnung dürfte es am bequemsten sein, die mittlere Brechzahl mit  $N_m = \frac{N_A + N_B}{2} - 0,35 \cdot \Delta h_{\text{km}}^2$  (Mikrowellen) zu berechnen und die zweite Geschwindigkeitskorrektur nach HÖPCKE mit den folgenden Korrekturen  $k_1$  und  $k_2$  bzw. Gleichung (3.14) zusammenzufassen zu

$$K' = \frac{S_R^3}{24R^2} (1-k)^2.$$

Es ist noch zu zeigen, daß das zweite Korrektionsglied in (3.12) wieder gleich der zweiten Geschwindigkeitskorrektur von HÖPCKE ist. Durch Vergleich mit dem von HÖPCKE angegebenen Ausdruck erhält man analog wie oben

$$k = -R [B + C(h_A + h_B)] \cdot 10^{-6}.$$

Setzt man wie vorhin  $\frac{1}{p} = -\frac{dn}{dh} = \frac{k}{R}$  und differenziert (3.7):  $\frac{dN}{dh} = B + 2Ch$ , so erhält man durch Einsetzen ebenfalls

$$k = -R (B + 2Ch) \cdot 10^{-6}.$$

Damit ist auch die Gleichwertigkeit der Formeln (3.8) bzw. (3.9) und (3.12) gezeigt.

Ein prinzipieller Unterschied besteht lediglich darin, daß in (3.8) bzw. (3.9) die Korrektionsglieder praktisch nur aus den "gemessenen" Brechzahlen  $N_A$  und  $N_B$  berechnet werden, zumindest, wenn man den Faktor  $K$  nach (3.10) berechnet, während in (3.12) diese Glieder in der Regel mit Hilfe der Normalwerte für  $B$  und  $C$  berechnet werden müssen. Man kann das eine oder das andere nun sowohl als Vorteil wie auch als Nachteil werten. Die alleinige Verwendung von Meßwerten kann z.B. ein Vorteil sein, weil damit das Atmosphärenmodell den tatsächlichen Bedingungen angepaßt wird. Genau dasselbe kann man aber auch als Nachteil werten, weil dadurch eventuelle Meßfehler oder lokale Besonderheiten ungerechtfertigterweise auch die Korrekturglieder beeinflussen.

Wichtig ist, daß beide Korrektionsglieder unterschiedliche Vorzeichen haben. Das bedeutet, daß sie sich bei einem bestimmten Winkel  $\alpha$  gegenseitig aufheben. Das ist dann der Fall, wenn näherungsweise gilt:

$$C \frac{(n_A - n_B)^2}{6} = - B \frac{1-k}{12R} S_{AB}^2 .$$

Setzt man wieder ein:  $B = -43,5 \text{ km}^{-1}$ ,  $C = 2,1 \text{ km}^{-2}$ ,  $k = 0,25$   $R = 6378 \text{ km}$  so erhält man

$$\tan \alpha = \frac{\Delta h}{S} = \sqrt{-\frac{B(1-k)}{2R \cdot C}} = 0,035 \quad \alpha \approx 2^\circ .$$

Bei einem (Tiefen-) Höhenwinkel von  $\alpha = 2^\circ$  heben sich also bei Mikrowellen die Korrektionsglieder auf und die repräsentative Brechzahl wird allein durch das arithmetische Mittel der Brechzahlen der beiden Endpunkte erhalten. Setzt man für Licht näherungsweise  $B_L = -30 \text{ km}^{-1}$  und  $C_L = 1,5 \text{ km}^{-2}$ , so erhält man ebenfalls  $\tan \alpha_L \approx 0,037$ ,  $\alpha_L \approx 2^\circ$ .

### 3.2 Geometrische Reduktionen

Die gekrümmten schrägen Strecken  $S_S^1$  wurden zuerst auf die Sehne reduziert mit dem Ausdruck

$$k_1 = -\frac{S_S^3}{24R_A^2} k^2 .$$

Der Erdradius im Azimut  $A$  wurde nach der Formel

$$R_A = \frac{N_\varphi}{(1 + \eta^2 \cos^2 A)} \approx N_\varphi (1 - \eta^2 \cos^2 A)$$

berechnet. Siehe z.B. WUNDERLIN (1967).

Führt man in  $\eta^2 = e'^2 \cos^2 B$  den Kosinus der mittleren Breite des Basisvergrößerungsnetzes Heerbrugg  $B \approx 47^\circ 20'$  ein und für das HAYFORD-Ellipsoid  $e'^2 = 0,00676817$ , so erhält man

$$\eta^2 = 0,00311 .$$

$N_\varphi$  wurde berechnet nach

$$N_\varphi = \frac{a}{(1 - e^2 \sin^2 B)^{1/2}} .$$

Mit den Werten für das HAYFORD-Ellipsoid  $a = 6\,378\,388$  m und  $e^2 = 0,00672267$  erhält man dafür

$$N_{\varphi} = 6\,390\,012 \text{ m} .$$

Damit wird endgültig

$$R_A \approx 6390012 (1 - 0,00311 \cos^2 A) \text{ m} .$$

Natürlich ist bei der Berechnung von  $k_1$  die genaue Kenntnis des Erdradius nicht nötig, er ist jedoch wichtig bei der folgenden Reduktion der schrägen Strecke  $S_S$  auf die Sehne der Rechenfläche  $S_R$ , die nach der Iterationsformel von HÖPCKE (1964) erfolgte:

$$S_R - S_S = -\frac{(h_B - h_A)^2}{S_R + S_S} - \frac{h_A + h_B}{R_A(S_R + S_S)} S_R^2 - \frac{h_A h_B}{R_A^2(S_R + S_S)} S_R^2 . \quad (3.13)$$

Schließlich erfolgte noch die Reduktion von der Sehne der Rechenfläche  $S_R$  auf die Rechenfläche selbst nach

$$k_2 = \frac{S_R^3}{24 R_A^2} .$$

Setzt man mit hier ausreichender Genauigkeit  $S'_S = S_R$ , so lassen sich die beiden Reduktionen  $k_1$  und  $k_2$  zusammenfassen zu

$$K = \frac{S_R^3}{24 R_A^2} (1 - k^2) .$$

Nach Anbringung eventueller Exzentrizitäten wurden die so gewonnenen sphärischen Strecken wieder unter Verwendung von Gleichung (3.13) auf die gerade schräge Strecke  $S_S$  zwischen den Zentren der Punkte umgerechnet.

#### 4. Zusammenstellung der Meßdaten und der Rechenergebnisse

Sämtliche Daten und Ergebnisse sind in jeweils zwei Tabellen zusammengestellt. Die Tabelle 1 enthält die Meßergebnisse sowie die zur Auswertung und Reduktion nötigen Daten sowie weitere Angaben von Interesse wie z.B. Datum und Uhrzeit der Messung. Tabelle 2 enthält die gemessenen Strecken bzw. Laufzeiten sowie ihre Reduktionen auf NN bzw. auf die schräge Strecke.

Der Aufbau der Tabellen ist bei allen Messungen im wesentlichen gleich. Die Tabellen sind daher auch nicht fortlaufend nummeriert, sondern immer mit den Nummern 1 bzw. 2 versehen und enthalten jeweils die oben angegebenen Daten. Die Unterscheidung der Tabellen erfolgt dadurch, daß neben der Nummer der Tabelle jeweils die Institution, das Meßinstrument sowie das Jahr der Messung angegeben sind. Von diesem Schema mußte lediglich bei den Messungen mit elektrooptischen Geräten geringfügig abgewichen werden.

Die Tabellen sind wie folgt aufgebaut:

4.1 Mikrowellen

Tabelle 1 enthält folgende Angaben:

Spalte	Überschrift	Bedeutung
1	NR	Laufende Nummer
2	I-K	Nummern der Endpunkte der Strecke
3	DAT	Datum der Messung (Tag, Monat)
4	ZEIT	Zeitpunkt des Beginns der Messung
5	HI	Ellipsoidische Höhe der Punkte I bzw. K in Metern
6	HK	
7	INI	Instrumentenhöhen auf den Punkten I bzw. K in Metern
8	INK	
9	LZO	Unkorrigierte Laufzeit, am Instrument abgelesen in Nanosekunden
	bzw. SN	Unkorrigierte Strecke, am Instrument abgelesen in Metern
10	PI	Druck, Trocken- und Feuchttemperatur am Punkt I in mbar und °C
11	TTI	
12	TFI	
13	PK	Druck, Trocken- und Feuchttemperatur am Punkt K in mbar und °C
14	TTK	
15	TFK	
16	SW	Max. Swing in Nanosekunden bzw. in Zentimeter bei Distomat und Elektrotape
17	FV	Frequenzverbesserung in Nanosekunden bzw. in Meter
18	EX	Korrekturen wegen exzentrischer Aufstellungen in Meter
19	AZ	Azimut der Strecke von I nach K in Grad

In der Tabelle wurde nicht unterschieden, ob von I nach K oder in umgekehrter Richtung gemessen wurde.

Tabelle 2 enthält die aus den Angaben in Tabelle 1 errechneten Ergebnisse. Im einzelnen bedeuten:

Spalte	Überschrift	Bedeutung
1	NR	Laufende Nummer
2	I-K	Nummern der Endpunkte der Strecke
3	LZ	Wegen der Frequenzverbesserung korrigierte Laufzeit
	bzw. SN	Wegen der Frequenzverbesserung korrigierte Strecke
4	R	Radius der Rechenfläche im Azimut AZ in Kilometer
5	NM	Repräsentative Brechzahl
6	SSEX	Schräge Strecke exzentrisch in Meter
7	K1	Reduktion von SSEX auf SREX in Meter
8	SREX	Strecke auf der Rechenfläche, exzentrisch in Meter
9	EX	Korrektur wegen exzentrischer Aufstellung in Meter
10	SR	Strecke auf der Rechenfläche in Meter
11	K2	Reduktion von SR auf SS in Meter
12	SS	Schräge Strecke in Meter

## 4.2 Licht

Wie oben erwähnt, weichen bei Lichtwellen die Tabellen - besonders die Tabelle 1 - etwas von obigem Schema ab. Die Unterschiede werden an entsprechender Stelle angegeben bzw. ergeben sich von selbst.

## 5. Messungen der verschiedenen Institutionen

In diesem Abschnitt werden nun die Messungen der einzelnen Institutionen, etwa in Reihenfolge ihrer Bearbeitung, aufgeführt.

### 5.1 Messungen des Deutschen Geodätischen Forschungsinstitutes, gemeinsame Messungen der Abteilungen I und II

Von diesen Messungen liegen im Hinblick auf die geplante gemeinsame Veröffentlichung nur die schon erwähnten Kurzberichte von GERKE (1963a,b) und GROSSE (1970a) vor, die die Messungen der Abteilung II betreffen sowie das nicht veröffentlichte Manuskript von SIGL/ZÜLSDORF (1961), das die Messungen der Abteilung I behandelt. Der folgende Wortlaut folgt weitgehend letzterem Manuskript.

#### 5.11 Durchführung der Beobachtungen

##### Beobachtungsanordnung, zeitlicher Ablauf

Die Stationen wurden von beiden Meßgruppen gleichzeitig besetzt, jedoch voneinander unabhängig und in entgegengesetzter Richtung beobachtet. Diese meßtechnisch nicht sehr vorteilhafte Maßnahme erfolgte aus praktischen und wirtschaftlichen Gründen. Insgesamt wurden zwei Meßkampagnen durchgeführt. Es wurde mit den Mikrowellengeräten vom Typ Tellurometer MRA 1 gemessen. Das waren die ersten Mikrowellengeräte auf dem Markt. Sie arbeiteten mit einer Trägerwelle von 10 cm. Die Umschaltung von Master- auf Remotebetrieb und umgekehrt war noch nicht möglich. Eine ausführliche Beschreibung findet sich z.B. in GIGAS (1960). Die meteorologischen Daten wurden ständig während der Messungen notiert.

Die erste Messung erfolgte vom 13. - 28. Juni 1960. Dabei wurden zwischen den sieben Stationen des Netzes insgesamt 19 Seiten gemessen.

Der westliche Netzteil mit den Stationen Säntis, Pfänder, St. Anton, Basis Süd und Basis Nord wurde in der Zeit vom 10. - 15. Oktober 1960 ein zweites Mal gemessen. Bei dieser Messung war auf Veranlassung des Präsidenten der Schweizerischen Geodätischen Kommission, Herrn Professor Dr. F. Kobold, ein Ballontrupp der Schweizerischen Armee beteiligt, so daß die meteorologischen Daten auch in Zwischenpunkten der Profile gemessen werden konnten (vgl. Abschnitt 6).

Mit Ausnahme der Station St. Anton, die mit einem 7 m hohen Gerüst bebaut war, erfolgten die Beobachtungen von Bodenpfeilern aus, die zentrisch oder exzentrisch zu den Punktfestlegungen errichtet waren. Schwierigkeiten bereitete die Seite St. Anton-Basis Süd: Es zeigte sich ein erheblicher Swing. Ursache dafür dürfte eine unmittelbar neben dem Pfeiler Basis Süd vierzig Meter steil abfallende Wand eines Steinbruches sein. Es wurde deshalb für die weiteren Messungen der exzentrische, auf der Sohle des Steinbruches gelegene Pfeiler B benutzt, wodurch der Swing vermindert werden konnte. - Im übrigen bestätigte sich auch bei dieser Messung die Notwendigkeit, die Ausgangsstellung der Trägerfrequenzskala

um Viertelschritte zu variieren. Nur bei dieser Meßanordnung erhält man eindeutige Bodenwellendiagramme.

#### 5.12 Meteorologische Beobachtungen

Bei den Messungen im Sommer 1960 wurden die meteorologischen Daten wie üblich nur in den Streckenendpunkten gemessen. Das Wetter war während der Beobachtungen sonnig und windstill, so daß sich eine starke Einstrahlung ergab. Auch konnte in den meisten Stationen das Aspirationspsychrometer nicht im Schatten aufgehängt werden. Daß damit repräsentative Werte für Temperatur und Luftfeuchtigkeit nicht bestimmt werden konnten, zeigt der im allgemeinen wenig einheitliche Verlauf der Temperaturkurven.

Die benutzten Barometer wurden durch Vergleich mit dem Normalbarometer der Wetterwarte Säntis geeicht und durch Vergleich mit den Barometern der II. Abteilung des DGFI laufend überwacht.

#### 5.13 Instrumentelle Erfahrungen

Bei den Sommermessungen traten bei der Abstimmung der Frequenz A vom Remotegerät aus Schwierigkeiten auf: Bei dieser Frequenz ergab sich für den Ablesekreis auf dem Oszilloskop stets eine Ellipse, so daß eine Verstellung am Shapetrimmer notwendig wurde. Als Ursache dafür zeigte sich bei der Frequenzzeichnung nach den Feldarbeiten eine Abweichung des A-Kristalles von 100 Hz. Im übrigen zeigten sich trotz der teilweisen schwierigen Transporte keine weiteren Mängel an der Tellurometerausrüstung.

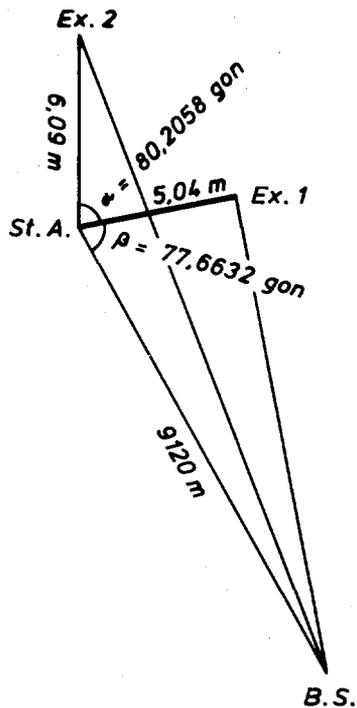
Erwähnt sei noch eine eigenartige Erscheinung auf der Seite Basis Nord - St. Anton: Der Beobachtungspfeiler Basis Nord steht auf dem Widerlager der großen Rheinbrücke bei Diepoldsau, die Richtung nach St. Anton fällt genau in die Längsachse der Brücke. Näherte sich im Rücken des Beobachters ein Fahrzeug auf der Brücke, so konnte man auf der Masterstation auf St. Anton beobachten, wie sich die Kreisform vielfasrig, gewissermaßen räumlich aufspaltete, so daß auf dem Oszilloskop das Bild eines Zylinders auftrat. Sobald das Fahrzeug den Brückenkörper verlassen hatte und etwa 4 m seitlich vor dem Beobachter auf Basis Nord war, hörte die Verzerrung auf. Es konnte sich hier keinesfalls um eine Reflexion vom Fahrzeug handeln, da dauernd andere Lastkraftfahrzeuge direkt vor dem Pfeiler die Sicht durchquerten. Derselbe Effekt wurde auch beobachtet, als das Master-Instrument auf Basis Nord stand. Es kann nur vermutet werden, daß sich die Eigenschwingungen der Brücke von wenigen Hertz auf das Antennensystem des Tellurometers übertragen und so eine zusätzliche Modulation der Trägerfrequenz entstand.

#### 5.14 Zentrierungen

Auf mehreren Punkten mußten die Geräte exzentrisch aufgestellt werden. In den folgenden Einmessungsskizzen wurden aus den Akten lediglich die für die Berechnung der Zentrierungsbeträge wichtigen Werte herausgezogen und angegeben bzw. in die Skizze eingetragen. Kleinere Zentrierungsbeträge, die bei nicht genauer "zentrischer" Aufstellung der Instrumente in der Größe von wenigen Zentimetern auftreten, sind gleich in Tabelle 1 eingetragen.

5.141 Strecke St. Anton - Basis Süd (5 - 6)

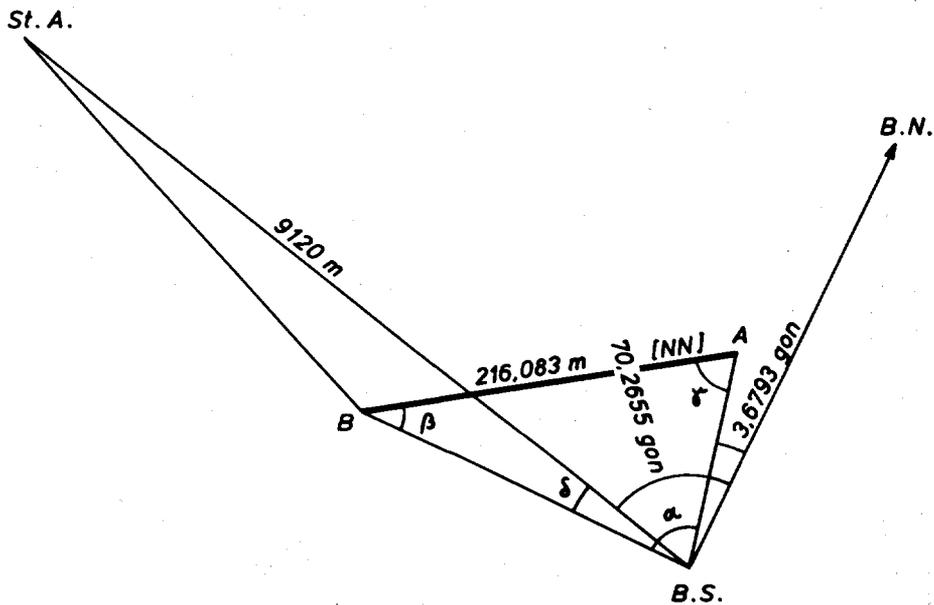
Diese Strecke wurde sowohl zentrisch als auch exzentrisch gemessen. Die Exzentren wurden zum Teil auf St. Anton, zum Teil auf Basis Süd angelegt.



Nach dem Kosinussatz erhält man damit folgende Zentrierungsverbesserungen:

$$z_1 = + 1,731 \text{ m}$$

$$z_2 = - 4,805 \text{ m}$$

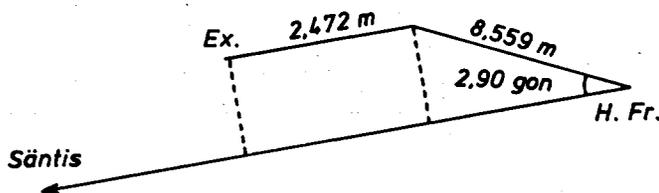


Aus den gegebenen Winkeln im Hilfsdreieck  $BS, B, A$  und der Strecke  $\overline{AB}$  erhält man für die Strecke  $\overline{BBS} = 162,371$  m. Den Winkel  $\delta$  errechnet man aus den gegebenen Größen zu:  $\delta = 16,6378$  gon. Damit erhält man wieder nach dem Kosinussatz folgende Zentrierungsverbesserung:

$$z_3 = 156,759 \text{ m} .$$

Bei den Messungen der Abteilung II des DGFI kommt dazu noch eine zusätzliche Exzentrizität von + 2 cm, so daß hier die Korrektur  $z_3 = 156,779$  m beträgt.

#### 5.142 Strecke Säntis - Hoher Freschen (1-3)



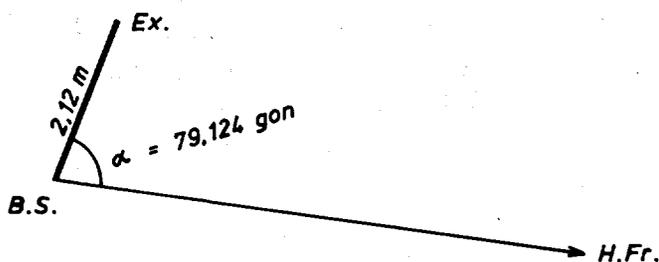
Aus den in der Skizze angegebenen Werten errechnet sich

$$z_4' = 2,472 \text{ m} + 8,559 \text{ m} \cdot \cos 2,90 \text{ gon} = 11,022 \text{ m} .$$

Diese Korrektur muß noch auf NN reduziert werden und lautet dann

$$z_4 = 11,019 \text{ m} .$$

#### 5.143 Strecke Basis Süd - Hoher Freschen (6-3)



Mit den in der Skizze eingetragenen Zahlen errechnet sich die anzubringende Korrektur zu

$$z = 2,12 \text{ m} \cdot \cos \alpha = 0,683 \text{ m} .$$

#### 5.15 Auswertung der Messungen

Bei den Tellurometern MRA 1 erhält man als Ergebnis der Messungen die Laufzeit  $t$  der Mikrowellen zur Gegenstation und zurück. Daraus ist dann die Entfernung zu berechnen nach

$$s = \frac{c \cdot t}{2} .$$

Die aktuelle Lichtgeschwindigkeit  $c$  wurde berechnet, indem entsprechend  $c = \frac{c_0}{n}$

die Lichtgeschwindigkeit im Vakuum  $c_0$  durch den nach (3.8) berechneten mittleren Brechungsindex dividiert wurde.

Eine gewisse Besonderheit tritt bei den ersten Tellurometern auf, weil bei diesen die Quarze noch nicht thermostatisiert waren und daher die Modulationsfrequenzen eine deutliche Abhängigkeit von der Temperatur zeigten. Es wurde daher bei diesen Geräten die "Kristalltemperatur" gemessen und an Hand einer Eich-tabelle eine Frequenzverbesserung FV abgelesen. Diese Frequenzverbesserung ist in der Spalte 17 der Tabelle 1 eingetragen.

#### 5.16 Zusammenstellung der Ergebnisse

Die Ergebnisse der Messungen sind in den Tabellen 1 und 2, wie im Abschnitt 4 beschrieben zusammengestellt.

#### 5.2 Messungen des Deutschen Geodätischen Forschungsinstituts, Abteilung II, und des Bundesamtes für Eich- und Vermessungswesen, Wien, mit Geodimetern NASM 2A im Jahre 1960

##### 5.21 Vorbemerkung

Über die Messungen des DGFI, Abt. II, Institut für Angewandte Geodäsie, Frankfurt, berichten GERKE (1963a) und GROSSE (1970a), in Anbetracht der vorgesehenen Veröffentlichung, wieder sehr kurz. Die Messungen des Bundesamtes für Eich- und Vermessungswesen wurden bisher nicht veröffentlicht, weil die Messungen "so systematische, aber ohne Sondenmessungen unerklärliche Einflüsse" zeigten (MITTER 1978).

Die Seiten der ersten Vergrößerungsstufe des Basisnetzes wurden gleichzeitig mit den beiden Geodimetern NASM 2A der beiden Institutionen gemessen. Der Abstand der beiden Geodimeter betrug etwa drei bis vier Meter. Beide Geodimeter benutzten den gleichen Reflektor. An beiden Endpunkten wurde etwa alle fünfzehn Minuten Trockentemperatur und Druck gemessen und ein oder zweimal auch die Feuchttemperatur zur Ermittlung des Partialdrucks des Wasserdampfes. Bei den Auswertungen des DGFI wurden die Mittelwerte dieser Beobachtungen eingeführt. Es wurde in der Regel mit allen drei Frequenzen gemessen. Die Meßdauer für eine Frequenz betrug beim Geodimeter des DGFI etwa eine Stunde. Die Reflektorstation war mit 21 Prismen ausgestattet. Eine genaue Beschreibung des Geodimeters NASM 2A befindet sich z.B. in GIGAS (1960).

##### 5.22 Auswertung der Messungen

Um die in der folgenden Tabelle 1 nachgewiesenen Zahlenwerte besser verstehen zu können, ist es wohl zweckmäßig, einige Worte über die Auswertung von Messungen mit dem Geodimeter NASM 2A voranzuschicken.

Im Prinzip wird die Grundgleichung der elektromagnetischen Entfernungsmessung aufgelöst:

$$S = n\lambda + d\lambda$$

Das Geodimeter NASM 2A hat drei Frequenzen zur Verminderung der Vieldeutigkeit, die kleiner  $\pm 1500$  m sein muß. Im folgenden wird angenommen, daß die Grobentfernung bereits bekannt ist, z.B. durch Messungen mit Mikrowellengeräten, so daß auch der Faktor  $n$  in obiger Gleichung bekannt ist.

Zur Bestimmung der Wellenlängen  $\lambda$  wurden vor und nach den Feldarbeiten Frequenzmessungen durchgeführt, die im Mittel folgende Werte lieferten:







NR	I-K	SN	R	HM	SSEX	K1	SREX	EX	SR	K2	SS
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	6-7	48411.294	6377	305.75	7254.452	-0.770	7253.682	0.000	7253.682	0.770	7254.452
2	6-7	48411.372	6377	302.62	7254.487	-0.770	7253.717	0.000	7253.717	0.770	7254.486
3	6-7	48412.892	6377	340.87	7254.437	-0.770	7253.667	0.000	7253.667	0.770	7254.437
4	6-7	48412.843	6377	337.27	7254.456	-0.770	7253.686	0.000	7253.686	0.770	7254.456
5	6-7	48411.319	6377	305.08	7254.461	-0.770	7253.691	0.000	7253.691	0.770	7254.461
6	6-7	48411.014	6377	303.51	7254.427	-0.770	7253.657	0.000	7253.657	0.770	7254.426
7	5-6	61038.881	6375	234.97	9144.892	-24.289	9122.604	-0.010	9122.594	23.806	9144.399
8	5-6	61036.926	6375	284.33	9146.604	-24.293	9122.311	-0.010	9122.301	23.806	9146.108
9	5-6	61023.607	6375	285.35	9144.599	-23.903	9120.696	1.731	9122.427	23.806	9146.233
10	5-6	61065.701	6375	291.14	9150.854	-23.837	9127.017	-4.805	9122.212	23.806	9146.019
11	5-6	60021.958	6375	290.91	8994.449	-28.938	8965.511	156.779	9122.290	23.806	9146.095
12	5-6	60022.222	6375	290.10	8994.495	-28.939	8965.558	156.779	9122.337	23.806	9146.143
13	5-6	60021.292	6375	280.49	8994.443	-28.939	8965.505	156.779	9122.284	23.806	9146.090
14	5-6	60021.528	6375	281.69	8994.467	-28.939	8965.529	156.779	9122.308	23.806	9146.115
15	5-7	58470.046	6389	298.74	8761.822	-30.051	8731.771	0.000	8731.771	29.495	8761.266
16	5-7	58469.656	6389	302.01	8761.735	-30.052	8731.683	0.000	8731.683	29.496	8761.179
17	5-7	58469.471	6389	294.24	8761.775	-30.051	8731.724	0.007	8731.731	29.495	8761.226
18	5-7	58469.544	6389	294.35	8761.785	-30.051	8731.734	0.007	8731.741	29.495	8761.236
19	5-7	58470.000	6389	292.31	8761.871	-30.051	8731.820	0.010	8731.830	29.495	8761.325
20	5-7	58470.071	6389	291.73	8761.887	-30.051	8731.836	0.010	8731.846	29.495	8761.341
21	5-7	58470.032	6389	290.32	8761.894	-30.051	8731.843	0.010	8731.853	29.495	8761.348
22	5-7	58469.625	6389	291.67	8761.821	-30.051	8731.769	0.010	8731.779	29.495	8761.275
23	5-7	58469.861	6389	290.82	8761.964	-30.051	8731.812	0.010	8731.822	29.495	8761.318
24	5-7	58469.569	6389	290.95	8761.819	-30.051	8731.767	0.010	8731.777	29.495	8761.273
25	1-4	198656.943	6388	255.01	29770.335	-21.995	29748.340	0.000	29748.340	21.991	29770.331
26	1-4	198656.733	6388	257.95	29770.216	-21.994	29748.222	0.000	29748.222	21.991	29770.213
27	4-5	107905.711	6385	274.85	16170.215	-11.795	16158.419	0.000	16158.419	12.005	16170.425
28	4-5	107904.722	6385	275.02	16170.074	-11.795	16158.279	0.000	16158.279	12.005	16170.295
29	4-7	55445.726	6379	289.41	8308.701	-92.874	8215.806	0.000	8215.806	92.894	8308.700
30	4-7	55445.840	6379	290.23	8308.711	-92.874	8215.817	0.000	8215.817	92.894	8308.711
31	2-4	131930.107	6371	298.14	19769.931	-12.754	19757.177	0.000	19757.177	12.753	19769.930
32	2-4	131931.493	6371	298.86	19770.125	-12.755	19757.370	0.000	19757.370	12.753	19770.124
33	4-6	64239.502	6390	302.74	9626.345	-72.728	9553.617	0.000	9553.617	72.728	9626.344
34	4-6	64239.466	6390	304.91	9626.319	-72.728	9553.590	0.000	9553.590	72.728	9626.318
35	3-4	37687.632	6384	266.25	5647.730	-13.023	5634.707	0.000	5634.707	13.023	5647.730
36	3-4	37688.160	6384	270.63	5647.715	-13.023	5634.762	0.000	5634.762	13.023	5647.714
37	2-3	148895.005	6370	286.11	22312.416	-25.194	22287.222	0.000	22287.222	25.193	22312.415
38	2-3	148894.538	6370	283.87	22312.396	-25.194	22287.202	0.000	22287.202	25.193	22312.395
39	3-6	98225.674	6389	284.08	14719.477	-82.285	14637.191	0.683	14637.874	82.259	14720.133
40	3-6	98225.235	6389	283.16	14719.424	-82.286	14637.139	0.683	14637.822	82.259	14720.091
41	3-5	145549.223	6385	274.30	21811.297	-22.956	21788.341	0.000	21788.341	23.218	21811.559
42	3-5	145549.529	6385	273.20	21811.367	-22.956	21788.411	0.000	21788.411	23.218	21811.629
43	1-3	223514.114	6389	238.27	33496.941	-15.486	33480.455	11.019	33491.474	15.484	33506.959
44	1-3	223514.399	6389	237.19	33496.021	-15.486	33480.533	11.019	33491.552	15.484	33507.035
45	1-2	291946.577	6381	268.29	43749.953	-35.830	43714.123	0.000	43714.123	35.822	43749.945
46	1-2	291947.804	6381	272.90	43749.936	-35.830	43714.105	0.000	43714.105	35.822	43749.927
47	1-2	291943.403	6381	255.15	43750.052	-35.828	43714.224	0.015	43714.239	35.822	43750.061
48	1-2	291943.486	6381	254.72	43750.083	-35.828	43714.256	0.015	43714.271	35.822	43750.093
49	1-5	152903.897	6377	270.02	22913.531	-47.835	22865.695	0.000	22865.695	48.232	22913.927
50	1-5	15203.759	6377	154.53	2278.634	-462.778	1815.856	0.000	1815.856	466.895	2282.752
51	1-5	152898.986	6377	250.09	22913.251	-47.836	22865.415	0.015	22865.430	48.232	22913.662
52	1-5	152899.306	6377	250.85	22913.232	-47.836	22865.446	0.015	22865.461	48.232	22913.693
53	1-7	185379.063	6383	286.28	27779.670	-84.894	27694.776	0.000	27694.776	84.892	27779.668
54	1-7	185379.260	6383	290.26	27779.866	-84.895	27694.972	0.000	27694.972	84.892	27779.864
55	2-5	144127.726	6384	299.44	21597.735	-3.785	21593.950	0.000	21593.950	3.753	21597.793
56	2-5	144129.365	6384	309.66	21597.955	-3.785	21594.169	0.000	21594.169	3.753	21597.922
57	2-5	144126.069	6384	279.57	21597.916	-3.785	21594.131	0.005	21594.136	3.753	21597.889
58	2-5	144126.264	6384	279.63	21597.944	-3.785	21594.159	0.005	21594.164	3.753	21597.917
59	2-7	110115.290	6376	322.44	16509.546	-14.640	16485.907	0.000	16485.907	14.639	16509.546
60	2-7	110115.360	6376	319.66	16509.603	-14.640	16485.963	0.000	16485.963	14.639	16509.602
61	2-6	158441.285	6377	323.16	23742.079	-10.086	23731.992	0.000	23731.992	10.085	23742.077
62	2-6	158441.148	6377	326.10	23741.999	-10.087	23731.902	0.000	23731.992	10.085	23741.997

Tabelle 2, DGFI Abt. II, Tellurometer MRA1, 1960

f	Hz
1	9 999 995,9
2	10 049 997,7
3	10 299 541,9 .

Die maximale Differenz zwischen den beiden Eichungen betrug 0,6 Hz. Aus diesen Frequenzen berechnen sich die effektiven Wellenlängen  $\lambda$  zu:

$$\lambda = \frac{c_0}{4n_G f} .$$

Hierbei ist:

$c_0 = 299\,792\,458$  m/s, Lichtgeschwindigkeit im Vakuum

$n_G = 1,0003036$ , Gruppengeschwindigkeit einer Lichtwellenlänge von  $0,565 \mu\text{m}$  bei  $0^\circ\text{C}$ ,  $760$  mmHg und einem  $\text{CO}_2$  Gehalt der Luft von  $0,03\%$ , berechnet nach der Formel von BARREL & SEARS.

Die tatsächliche Wellenlänge weicht von den hier zugrundegelegten  $0,565 \mu\text{m}$  in der Regel ab. Sie hängt ab von der verwendeten Lichtquelle, den optischen Bauteilen (Optik, Modulator, eventuelle Filter) und der verwendeten Photozelle. Der Hersteller mißt im Werk die tatsächliche effektive Wellenlänge aus und gibt eine entsprechende Korrektur COL an. Sie ist in Tabelle 1 in Spalte 20 eingetragen. Die Wellenlänge ändert sich durch Alterung. Damit erhält man die effektiven Wellenlängen

f	$\lambda$
1	7,492 739 8 m
2	7,455 262 1 m
3	7,274 631 0 m .

Diese Werte weichen geringfügig von den von GERKE (1963a) veröffentlichten ab, weil hier der derzeitig empfohlene Wert für  $c_0$  eingeführt wurde, während GERKE naturgemäß den damals empfohlenen Wert von  $c_0 = 299\,792,5$  km/s benutzte.

Die eigentliche Meßgröße ist das "Reststück"  $d\lambda$ . Es wird durch den Phasenvergleich der ausgesendeten und der reflektierten Welle ermittelt. Dazu wird mittels eines Phasenschiebers die Phase des geräteinternen Signals so verschoben, daß am Nullinstrument eine Nullanzeige erhalten wird. Am Phasenschieber wird die Meßgröße abgelesen. Infolge der Nichtlinearität des Phasenschiebers ist es jedoch nötig, diesen zu eichen. Dies geschieht beim Geodimeter NASM 2A durch eine Eichmessung, bei der der Lichtstrahl über einen definierten Weg variabler Länge im Inneren des Gerätes unmittelbar zum Empfänger geführt wird. Dieser innere Lichtweg kann in Stufen um den Betrag  $L$  und für die genaue Einstellung stufenlos innerhalb  $L$  geändert werden. Die Größe  $L$  wird wieder durch Eichmessung bestimmt.  $L$  und die Additionskonstante  $K$  sind bei GERKE (1963a) angegeben zu

	L	K
vor	0,8028m	1,1450m
nach	0,8032m	1,1376m
Mittel	0,8030m	1,1413m .

Wertvolle Hinweise über die Konstanz der Gerätekonstanten des Geodimeters des DGFI finden sich bei GROSSE (1970 b).

Die gesamte Strecke berechnet sich demnach wie folgt:

$$SO = n_1\lambda + n_2L + K + dL \quad .$$

In der Tabelle 1 sind nun die Summe  $SOO = n_1\lambda + n_2L + K$  und das Reststück  $dL$  angegeben. Am Beispiel der ersten Strecke:

$n_1\lambda$	9 545,4957 m
$n_2L$	1,6060
K	1,1413
SOO	9 548,2430
dL	0,0075 .

Die Summe  $SOO + dL = SO$  ergibt die gekrümmte schräge Strecke für den zugrundegelegten Brechungsindex von  $n_G = 1,0003036$ . Sie ist in Tabelle 2 in der Spalte 3 aufgelistet. Neben den genannten Werten enthält die Tabelle 1 folgende Angaben, die sich nur wenig von den im Abschnitt 4 gemachten Angaben unterscheiden:

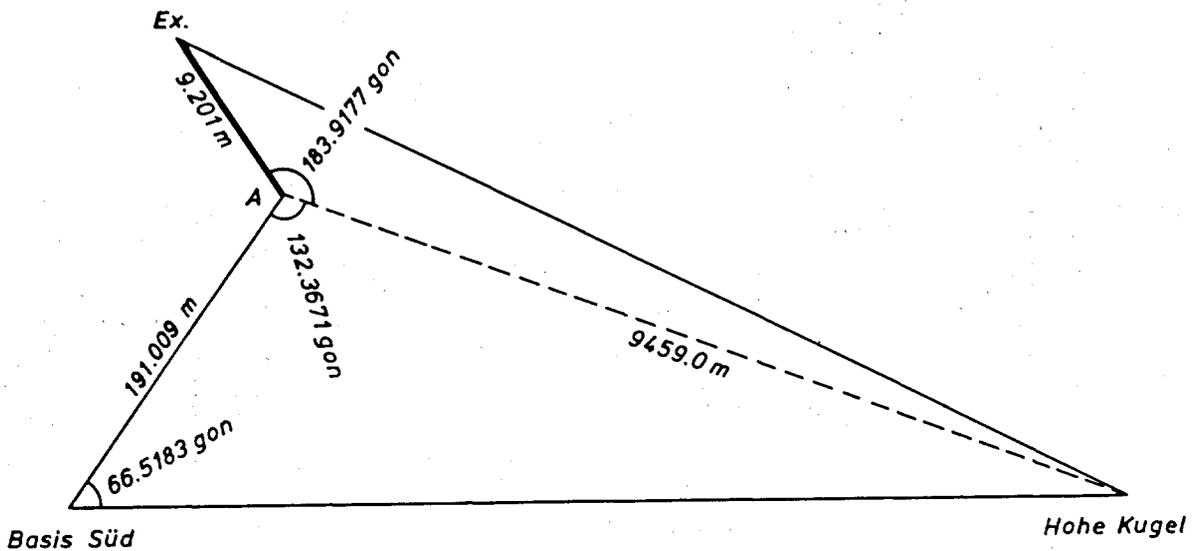
Tabelle 1

Spalte	Überschrift	Bedeutung
1	NR	Laufende Nummer
2	I-K	Nummern der Endpunkte der Strecke
3	DAT	Datum der Messung (Tag, Monat)
4	ZEIT	Zeitpunkt des Beginns der Messung
5	IHI	Ell. Höhen des Instruments auf den Punkten I bzw. K
6	IHK	
7	F	Meßfrequenz
8	N	Zahl der Wiederholungsmessungen von $dL$ , deren Mittel dann in Spalte 10 angegeben ist
9	SOO	$SOO = n_1\lambda + n_2L + K$
10	dL	Phasenreststück
11	TI	Trockentemperatur und Luftdruck am Punkt I
12	PI	
13	TTI	
14	TFI	
15	TK	wie 11 - 14, aber für den Punkt K
16	PK	
17	TTK	
18	TFK	
19	EX	Korrekturen wegen exzentrischer Aufstellungen
20	COL	Farbkorrektur ( $COL \cdot 10^{-6} \cdot S$ )
21	AZ	Azimet der Strecke

### 5.23 Zentrierungen

Infolge der Größe des Geodimeters NASM 2A ist eine zentrische Aufstellung nur in wenigen Fällen möglich. Auch im Basisnetz Heerbrugg wurden daher alle Strecken exzentrisch gemessen. Im folgenden werden die in den Tabellen 1 und 2 angegebenen Zentrierungsbeträge einzeln nachgewiesen.

5.231 Zentrierung Basis Süd



Der auf dem Montlinger Berg gelegene südliche Endpunkt der Basis konnte infolge des Steilabfalls nicht mit Invardrähten angemessen werden. Es wurde daher eine Hilfsbasis mit den Endpunkten A bzw. B am Fuß des Montlinger Berges mit Invardrähten ausgemessen und durch Winkelmessung auf den Endpunkt Basis Süd übertragen. Das Geodimeter wurde bei der Messung der Strecke zur Hohen Kugel in der Nähe des Hilfspunktes A aufgestellt. Es sind daher zwei Zentrierungen hintereinander durchzuführen. Die Skizze zeigt die Verhältnisse.

Die Strecke  $\overline{A \cdot BS}$  erhält man aus den Angaben im Abschnitt 5.141 zu  $\overline{A \cdot BS} = 191,009\text{m}$ ; die zweite Exzentrizität wurde direkt gemessen.

Die im Punkt A eingezeichneten Winkel wurden vom DGFI im Rahmen der Zentrierungsmessungen gemessen, der im Punkt BS eingetragene Winkel stammt von schweizerischen Messungen. Damit ist im Dreieck A.BS.HK eine Überbestimmung vorhanden, die bei der Berechnung der Zentrierung zu einem Widerspruch von 8 mm führt. Dieser Widerspruch konnte nicht geklärt werden, es wurde daher der Mittelwert in die weitere Rechnung eingeführt.

Die zweimalige Anwendung des Kosinussatzes in den Dreiecken A.Ex.HK bzw. A.BS.HK ergibt folgende Zentrierungen

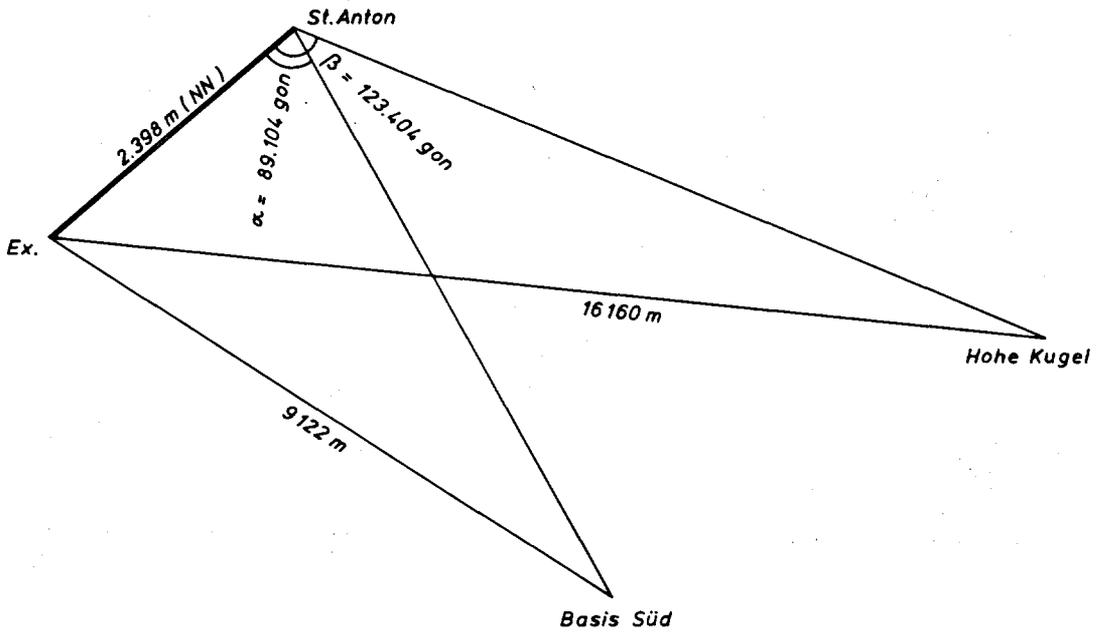
$$z_1 = - 8,909 \text{ m}$$

$$z_2 = 94,444 \text{ m} .$$

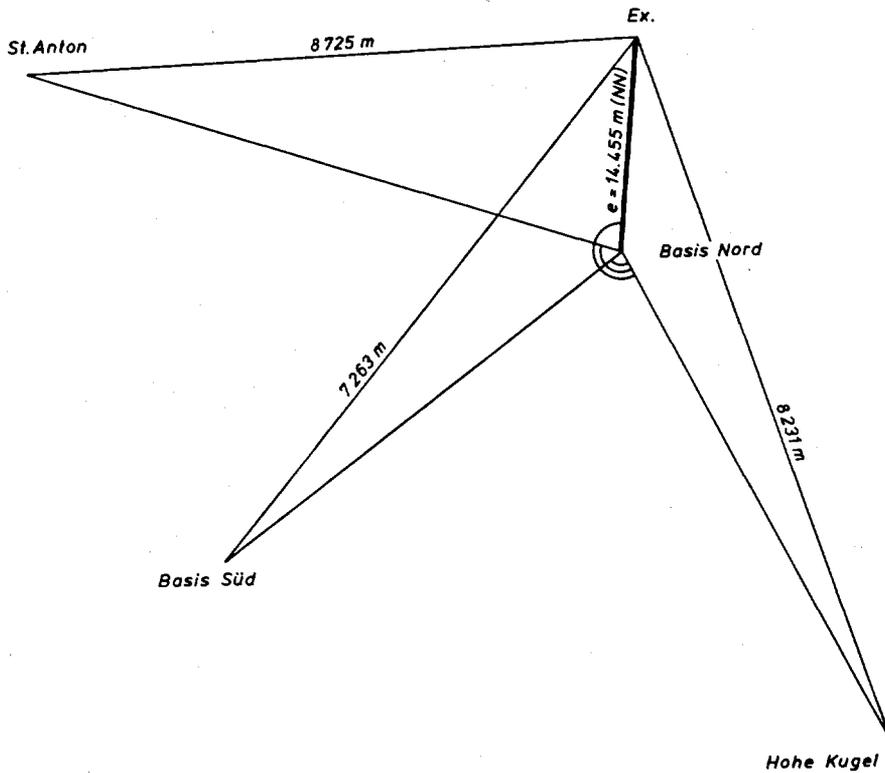
5.232 Zentrierung St. Anton

Das Exzentrum des Punktes St. Anton lag um 2,398 m neben dem Zentrum. Die Skizze zeigt die Lage und die zur Zentrierung nötigen Winkel. Der Kosinussatz liefert wieder die Zentrierungen

Richtung	Zentrierung
HK	- 0,862 m
BS	0,408 m .



5.233 Zentrierung Basis Nord



Die Skizze zeigt die Verhältnisse. Die verebnete Exzentrizität beträgt 14,455 m. Der Richtungssatz im Zentrum wurde zweimal in den Jahren 1959 und 1960 gemessen. Im Mittel ergab sich:

BN - HK	0 gon
- BS	84,4400
- St. A.	160,9743
- Ex	225,6383 .

Mit Hilfe des Kosinussatzes errechnen sich die einzelnen Zentrierungsbeträge zu:

Richtung	Zentrierung
HK	- 13,301 m
St.A.	7,611 m
BS	- 8,722 m .

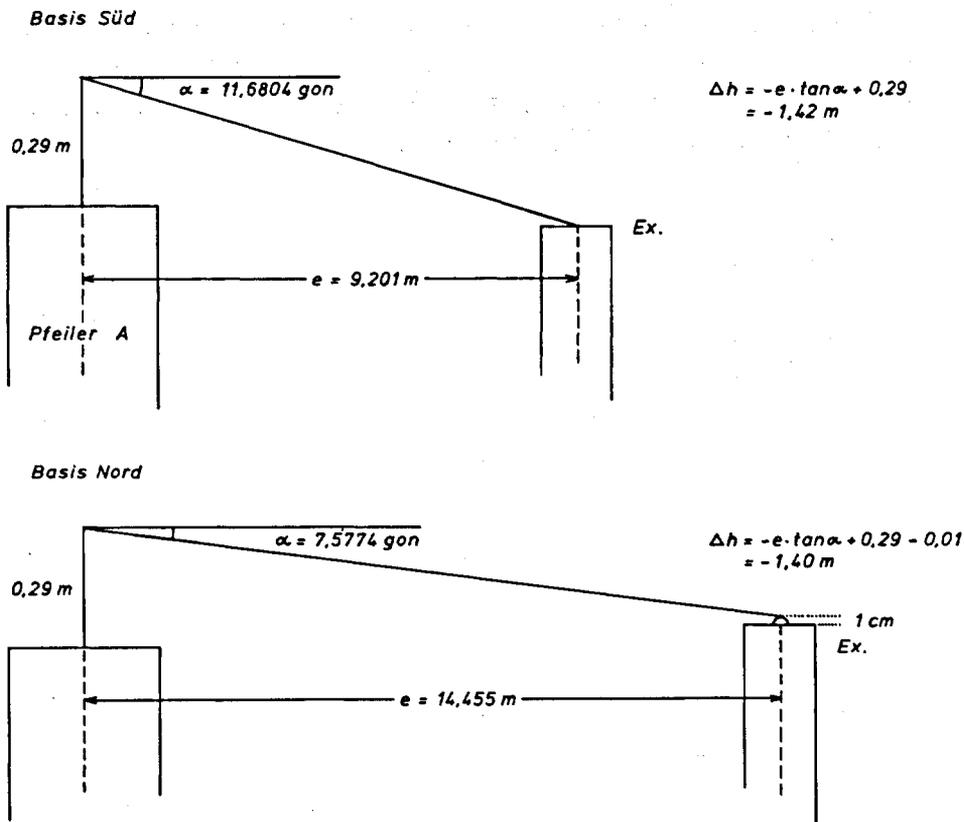
5.234 Weitere Zentrierungsbeträge

Neben den eben nachgewiesenen größeren Zentrierungsbeträgen sind noch einige weitere Korrekturen wegen der fast unvermeidlichen exzentrischen Aufstellungen des Geodimeters  $z_G$ , die jeweils im Feldbuch nachgewiesen sind, und wegen der Reflektorkonstanten  $z_R$  anzubringen. Folgende Tabelle faßt alle diese Korrekturen zusammen.

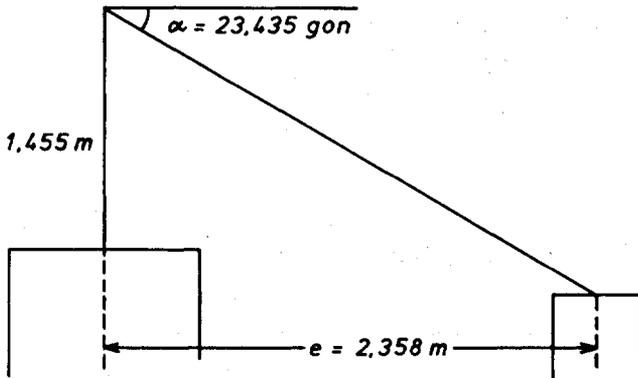
Zentr.	Strecke	BS - HK	StA - HK	StA - HK	StA - BS	BN - HK	BN - StA	BN - BS
z		+85.535	-0.862	-0.862	0.408	-13.301	7.611	-8.722
$z_G$		0.054	0.089	0.079	0.106	0.015	0.100	0.082
$z_R$		- 0.028	-0.028	-0.028	-0.028	- 0.028	-0.028	-0.028
		85.561	-0.801	-0.811	0.486	-13.314	7.683	-8.668

5.235 Höhenübertragungen

Die Höhen der Exzentren wurden durch Höhenwinkelmessungen übertragen. Die folgenden Skizzen und Berechnungen bedürfen keiner weiteren Erläuterung.



St. Anton



$$\Delta h = -e \cdot \tan \alpha + 1,455$$
$$= 0,53 \text{ m}$$

#### 5.236 Reduktion wegen Neigung des Reflektors

Nach einer Mitteilung von MITTER (1978) müssen an die Geodimeterseiten noch Reduktionen wegen Neigung des Reflektors angebracht werden:

"Die Messungen erfolgten gleichzeitig auf den österreichischen Reflektor, der jeweils damals mittels eines festmontierten Zielfernrohres zur Zielrichtung senkrecht gestellt wurde und zwar, da keine horizontale Kippachse an der Halterung vorhanden, durch Kippung mittels der Stellschrauben der schweren Unterlagsplatte für Pfeileraufstellung. Dadurch entstanden Exzentrizitäten für den Reflektor,...".

Nachdem die Exzentrizitäten nicht mitgeteilt wurden, mußte versucht werden, sie im Rahmen der Ausgleichung mitzubestimmen. Darüber ist im Abschnitt 8.2 berichtet.

#### 5.24 Zusammenfassung

In den Tabellen 1 und 2 sind wieder die Meß- und Rechenergebnisse zusammengefaßt. Tabelle 1 weicht infolge der besonderen Verhältnisse beim Geodimeter NASM 2A von der im Abschnitt 4 angegebenen Form ab. Sie wurde daher im Abschnitt 5.22 erläutert. Tabelle 2 weist keine Besonderheiten auf.

NR	I-K	DAT	ZEIT	IHK	FH	S00	DL	TI	PI	TTI	TFI	TK	PK	ITK	YFK	EX	COL	AZ		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
1	6-4	23.6.	21.40	416.91	1643.73	1	3	9548.243	0.0075	17.8	726.4	18.4	15.4	15.1	630.3	15.8	12.6	85.565	-3.0	90
2	6-4	23.6.	22.50	416.91	1643.73	2	3	9547.892	0.3725	17.5	726.4	18.4	15.4	14.7	630.4	15.8	12.6	85.565	-3.0	90
3	6-4	23.6.	24.00	416.91	1643.73	3	3	9547.866	0.3966	18.1	726.7	18.4	15.4	14.0	630.4	15.8	12.6	85.565	-3.0	90
4	7-4	20.6.	22.20	412.82	1643.73	1	3	8321.073	0.6222	15.3	751.4	14.3	14.1	6.6	631.2	6.4	5.4	-13.314	-3.0	137
5	7-4	20.6.	0.20	412.82	1643.73	2	3	8321.214	0.5010	14.1	731.9	14.3	14.1	5.9	631.2	6.4	5.4	-13.314	-3.0	137
6	7-4	20.6.	1.45	412.82	1643.73	3	3	8321.666	0.0583	14.1	731.9	14.3	14.1	6.0	631.2	6.4	5.4	-13.314	-3.0	137
7	5-4	22.6.	1.45	1120.31	1643.73	1	2	16169.777	0.4895	10.6	670.6	10.1	8.4	9.2	631.1	9.2	8.0	-0.801	-3.0	120
8	5-4	22.6.	22.30	1120.31	1643.73	1	3	16169.777	0.4514	16.4	670.7	15.7	10.8	13.8	631.2	13.0	8.8	-0.911	-3.0	120
9	5-4	22.6.	23.45	1120.31	1643.73	2	3	16169.771	0.4671	15.4	670.5	15.7	10.8	13.2	631.0	13.0	8.8	-0.911	-3.0	120
10	5-4	22.6.	0.55	1120.35	1643.73	3	3	16170.189	0.0456	15.3	670.6	15.7	10.8	13.1	630.5	13.0	8.8	-0.811	-3.0	120
11	5-6	18.6.	22.00	1120.35	475.53	1	3	9145.252	0.1161	17.0	673.8	16.4	13.4	18.8	725.7	18.1	15.5	0.486	-3.0	150
12	5-6	18.6.	23.40	1120.35	475.53	1	2	9145.252	0.1202	16.2	673.8	16.4	13.4	17.5	725.7	18.1	15.5	0.486	-3.0	150
13	5-6	18.6.	0.55	1120.35	475.53	2	3	9145.308	0.0791	16.1	673.4	16.4	13.4	16.0	725.7	18.1	15.5	0.486	-3.0	150
14	5-6	18.6.	2.05	1120.35	475.53	3	3	9145.305	0.0791	16.1	673.4	16.4	13.4	15.5	725.3	18.1	15.5	0.486	-3.0	150
15	7-5	16.6.	22.50	412.84	1126.07	1	3	8753.231	0.6267	11.1	735.9	10.1	9.6	12.0	676.8	12.3	9.1	7.683	-3.0	293
16	7-5	16.6.	1.40	412.84	1126.07	2	3	8753.391	0.4954	10.4	736.2	10.1	9.6	10.9	676.6	12.3	9.1	7.683	-3.0	283
17	7-5	16.6.	2.45	412.84	1126.07	3	2	8753.225	0.5442	10.3	736.2	10.1	9.6	11.1	676.3	12.3	9.1	7.683	-3.0	283
18	7-6	17.6.	23.40	412.85	475.53	1	3	7262.215	0.5938	14.3	734.8	14.8	13.2	16.6	729.3	15.8	12.5	-8.668	-3.0	215
19	7-6	17.6.	0.45	412.85	475.53	2	3	7262.567	0.2135	14.3	734.7	14.8	13.2	16.1	729.3	15.8	12.5	-8.668	-3.0	215
20	7-6	17.6.	2.10	412.85	475.53	3	3	7262.026	0.7718	13.2	734.9	14.8	13.2	14.7	729.3	15.8	12.5	-8.668	-3.0	215

Tabelle 1 DGFI, Abt. II, Geodimeter NASM 2A, 1960

NR	I-K	SN	R	M	SSEX	K1	SREX	EX	SR	K2	SS
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	6-4	9548.251	6390	254.62	9548.690	-80.665	9468.025	85.565	9553.590	72.728	9626.318
2	6-4	9548.264	6390	255.94	9548.700	-80.665	9468.036	95.565	9553.601	72.728	9626.329
3	6-4	9548.263	6390	255.03	9548.698	-80.665	9468.033	85.565	9553.598	72.728	9626.326
4	7-4	8321.725	6379	264.31	8322.027	-92.861	8229.166	-13.314	8215.852	92.893	8308.745
5	7-4	8321.715	6379	261.67	8322.039	-92.861	8229.178	-13.314	8215.864	92.893	8308.757
6	7-4	8321.734	6379	261.61	8322.059	-92.861	8229.198	-13.314	8215.884	92.893	8308.777
7	5-4	16170.267	6385	250.50	16171.077	-11.967	16159.110	-0.801	16158.309	12.005	16170.315
8	5-4	16170.228	6385	246.03	16171.111	-11.967	16159.144	-0.811	16158.333	12.005	16170.339
9	5-4	16170.238	6385	246.64	16171.111	-11.967	16159.144	-0.811	16159.333	12.005	16170.339
10	5-4	16170.235	6385	246.65	16171.107	-11.967	16159.140	-0.811	16159.329	12.005	16170.335
11	5-6	9145.368	6375	261.66	9145.724	-23.901	9121.823	0.486	9122.309	23.806	9146.116
12	5-6	9145.372	6375	262.61	9145.720	-23.901	9121.819	0.486	9122.305	23.806	9146.111
13	5-6	9145.370	6375	263.23	9145.721	-23.901	9121.820	0.486	9122.306	23.806	9146.112
14	5-6	9145.384	6375	263.43	9145.724	-23.901	9121.823	0.486	9122.309	23.806	9146.115
15	7-5	8753.858	6389	270.18	8754.124	-30.153	8723.971	7.683	8731.654	29.496	8761.150
16	7-5	8753.886	6389	271.05	8754.145	-30.153	8723.976	7.683	8731.675	29.496	8761.171
17	7-5	8753.866	6389	270.94	8754.129	-30.153	8723.976	7.683	8731.659	29.495	8761.154
18	7-6	7262.769	6377	276.28	7262.945	-0.776	7262.169	-8.668	7253.501	0.770	7254.271
19	7-6	7262.781	6377	276.50	7262.956	-0.776	7262.180	-8.668	7253.512	0.770	7254.281
20	7-6	7262.798	6377	277.74	7262.964	-0.776	7262.188	-8.668	7253.520	0.770	7254.290

Tabelle 2 DGFI, Abt. II, Geodimeter NASM 2A, 1960

### 5.3 Messungen des DGFI, Abteilung I, in den Jahren 1963 und 1964

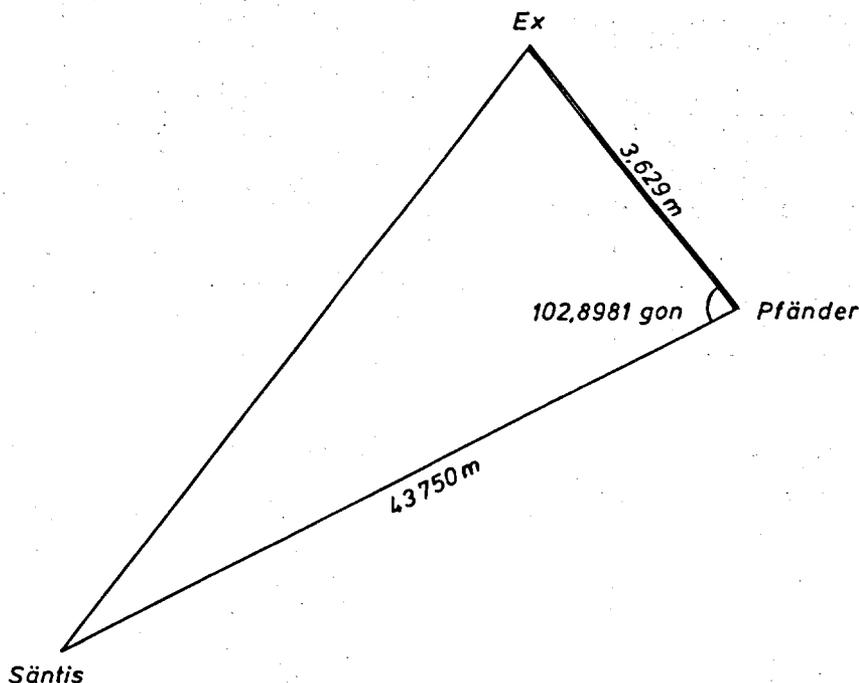
In den Jahren 1963 und 1964 wurden von der Abteilung I des DGFI Messungen im Bodenseenetz vorgenommen. In diesem Netz liegen auch die Punkte Pfänder und Säntis des Basisvergrößerungsnetzes Heerbrugg. Die Messungen wurden mit den Mikrowellengeräten Tellurometer MRA 1 und Electrotape DM 20 vorgenommen. Hierbei bot sich in diesem Netz erstmals ein Vergleich zwischen 10 cm und 3 cm Geräten, das allerdings auf einer relativ wenig problematischen Strecke. Eine Beschreibung des Electrotapes gibt A.H. SCHENDEL (1963).

#### 5.31 Durchführung und Auswertung der Messungen

Die Messungen mit den beiden Geräten wurden stets unmittelbar hintereinander durchgeführt. Sämtliche Messungen auf dem Pfänder wurden exzentrisch durchgeführt. Die Frequenzprüfungen ergaben, daß die Frequenz des Tellurometers bei den Messungen im Jahr 1963 um 24 Hz zu tief war. Es wurde daher eine entsprechende Korrektur angebracht. Die meteorologischen Daten wurden während der Messungen ständig notiert. Beim Electrotape ist ein Brechungsindex von  $n_o = 1,000320$  bei den Meßfrequenzen berücksichtigt. Dies allerdings bei einer angenommenen Lichtgeschwindigkeit von  $c_o = 299\,793\text{ km/s}$  (MESSERSCHMIDT/KEPPKE 1968). Stellt man den derzeit empfohlenen Wert  $c_o = 299\,792\,458\text{ m/s}$  in Rechnung, so erhält man für den entsprechenden "instrumentellen Brechungsindex" den Wert  $n_o = 1,0003182$ . Dieser Wert wurde bei den Berechnungen angehalten.

Keine Angaben über Instrumentenhöhen waren in folgenden Fällen vorhanden: Tellurometermessungen 1964 auf dem Säntis bei den Messungen von  $13^{30} - 14^{00}$ , keine auf beiden Punkten bei den Messungen nach  $17^h$ , ferner bei den Electrotapemessungen des Jahres 1963 auf dem Säntis. Die in den folgenden Tabellen 1 angegebenen Werte wurden daher wie angegeben festgesetzt. Ebenfalls festgesetzt werden mußten die Zeitpunkte einiger Messungen, weil dafür ebenfalls keine Angaben zu finden waren.

#### 5.32 Zentrierungen



Die Instrumente waren auf dem Pfänder stets exzentrisch aufgestellt. Aus den in der Skizze eingetragenen Größen errechnet man eine Korrektur von

$$z = -0,165 \text{ m}$$

Bei den Messungen mit dem Electrotape im Jahre 1963 ist noch eine Additionskonstante von +0,02 m anzubringen. Die Korrektur wurde mit der Zentrierungsverbesserung zusammengefaßt, so daß in der folgenden Tabelle 1 eine Zentrierungsverbesserung von  $-0,165 \text{ m} + 0,02 \text{ m} = -0,145 \text{ m}$  ausgewiesen ist.

### 5.33 Zusammenstellung der Ergebnisse

In den folgenden Tabellen 1 und 2 sind wieder die Meßdaten sowie die Rechenergebnisse aufgelistet. Die Erläuterung der Tabellen wurde bereits im Abschnitt 4.1 gegeben.

### 5.4 Messungen des Geodätischen Instituts der Technischen Hochschule Karlsruhe

Das Geodätische Institut der Technischen Hochschule Karlsruhe hat vom 7. bis 13. April 1964 im Basisnetz Heerbrugg elektronische Entfernungsmessungen durchgeführt, über die DRAHEIM/LICHTE (1965) ausführlich berichtet haben. Folgender Text wurde weitgehend dieser Arbeit entnommen.

Der Hauptzweck dieser Arbeiten war, allen wissenschaftlichen Mitarbeitern des Instituts Gelegenheit zu geben, sich mit den elektronischen Entfernungsmeßgeräten vertraut zu machen. Da mit dem Basisvergrößerungsnetz Heerbrugg ein ausgezeichnetes Testfeld für elektronische Streckenmessungen geschaffen wurde und außerdem - besonders zum Studium der meteorologischen Probleme - in Verbindung mit diesen Arbeiten möglichst umfangreiche Messungen bei verschiedenen Wetterlagen erwünscht sind, fiel die Wahl für die Durchführung der Beobachtungen auf das "Freiluftlabor" Heerbrugg.

Eingesetzt wurden das Geodimeter NASM 4B Nr. 184 (mit Normallampe) und drei Tellurometer MRA 2, Nr. 313, 316, 319 des Geodätischen Instituts. Außerdem stellte die Firma Wild Heerbrugg AG für die Dauer der Messungen eine komplette Distomatausrüstung (Instr. Nr. 19 und 20) zur Verfügung. Hierfür, besonders aber für die unermüdliche Betreuung durch die Herren GEIER und ZEUGIN, sei auch an dieser Stelle herzlich gedankt.

Ursprünglich war beabsichtigt, alle Seiten des Basisnetzes mit Tellurometern zu messen, wegen der besonders ungünstigen Schneeverhältnisse konnten jedoch nicht alle Stationen besetzt werden. Wir haben aus diesem Grunde unsere Arbeiten auf wenige Strecken konzentriert und zur besseren Erfassung der meteorologischen Einflüsse auf jeder Strecke über einen ganzen oder zwei Tage hinweg fortlaufend Messungen durchgeführt. Eine solche Arbeitseinteilung kam auch dem Wunsche entgegen, die noch nicht mit den Geräten vertrauten Institutsangehörigen einzuarbeiten.

### 5.41 Frequenzkontrollen

Das Geodimeter ist Mitte März 1964, also kurz vor Beginn der Messungen, von der Herstellerfirma AGA/Stockholm repariert und überholt worden. Bei dieser Gelegenheit wurden die Frequenzen überprüft und auf ihre Sollwerte abgestimmt; außerdem

NR	I-K	DAT	ZEIT	HI	HK	INI	INK	SN	PI	TTI	TFI	PK	TTK	TFK	SW	FV	EX	AZ
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
1	1-2	18. 9.	16.10	2501.52	1061.51	0.26	0.55	43748.669	562.8	7.1	6.9	671.3	18.7	15.4	25.0	0.000	-0.145	47
2	1-2	18. 9.	16.20	2501.52	1061.51	0.26	0.55	43748.574	562.3	7.4	6.9	671.2	18.8	15.3	23.0	0.000	-0.145	47
3	1-2	18. 9.	16.30	2501.52	1061.51	0.26	0.55	43748.573	561.8	7.3	6.9	671.2	18.6	15.0	31.0	0.000	-0.145	47
4	1-2	18. 9.	16.40	2501.52	1061.51	0.26	0.55	43748.489	561.8	7.3	7.0	671.2	18.3	15.0	24.0	0.000	-0.145	47

Tabelle 1, DGFI Abt. I Electrotape 1963

NR	I-K	LZ	P	HM	SSEX	K1	SREX	EX	SR	K2	SS
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	1-2	43748.669	6381	279.43	43750.365	-35.822	43714.543	-0.145	43714.398	35.822	43750.220
2	1-2	43748.574	6381	278.24	43750.322	-35.822	43714.500	-0.145	43714.355	35.822	43750.177
3	1-2	43748.573	6381	277.64	43750.347	-35.822	43714.526	-0.145	43714.381	35.822	43750.202
4	1-2	43748.489	6381	278.48	43750.226	-35.822	43714.405	-0.145	43714.260	35.822	43750.082

Tabelle 2, DGFI Abt. I Electrotape 1963

NR	I-K	DAT	ZEIT	HI	HK	INI	INK	LZO	PI	TTI	TFI	PK	TTK	TFK	SW	FV	EX	AZ
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
1	1-2	10.	10.40	2501.52	1061.59	0.24	0.55	291944.950	559.3	5.9	2.9	670.3	11.4	10.2	5.0	0.701	-0.165	47
2	1-2	10.	10.55	2501.52	1061.59	0.24	0.55	291945.250	559.3	6.3	3.2	670.4	11.7	10.7	6.0	0.701	-0.165	47
3	1-2	10.	11.05	2501.52	1061.59	0.24	0.55	291944.923	559.3	6.4	3.4	670.4	12.1	11.2	5.0	0.701	-0.165	47
4	1-2	10.	11.15	2501.52	1061.59	0.24	0.55	291944.173	559.3	6.3	3.3	670.4	12.0	11.0	5.8	0.701	-0.165	47
5	1-2	18.	15.05	2501.52	1061.59	0.24	0.55	291950.597	562.8	9.1	7.6	670.7	19.6	15.8	7.5	0.701	-0.165	47
6	1-2	18.	15.15	2501.52	1061.59	0.24	0.55	291951.069	562.8	9.0	7.5	670.7	19.7	16.0	5.2	0.701	-0.165	47
7	1-2	18.	15.25	2501.52	1061.59	0.24	0.55	291951.639	562.8	9.7	8.1	670.8	19.5	16.0	7.5	0.701	-0.165	47
8	1-2	18.	15.35	2501.52	1061.59	0.24	0.55	291951.875	562.8	8.9	7.8	670.6	19.2	15.8	4.8	0.701	-0.165	47

Tabelle 1, DGFI Abt. I, Tellurometer MRA 1, 1963

NR	I-K	SN	R	NIM	SSEX	K1	SREX	EX	SR	K2	SS
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	1-2	291945.651	6381	266.06	43749.912	-35.821	43714.091	-0.165	43713.926	35.822	43749.748
2	1-2	291945.951	6381	267.14	43749.910	-35.821	43714.089	-0.165	43713.924	35.822	43749.746
3	1-2	291945.624	6381	268.30	43749.810	-35.821	43713.988	-0.165	43713.823	35.822	43749.645
4	1-2	291944.874	6381	267.78	43749.721	-35.821	43713.899	-0.165	43713.734	35.822	43749.556
5	1-2	291951.298	6381	277.61	43750.253	-35.819	43714.434	-0.165	43714.269	35.822	43750.091
6	1-2	291951.770	6381	278.02	43750.306	-35.819	43714.486	-0.165	43714.321	35.822	43750.143
7	1-2	291952.340	6381	278.95	43750.351	-35.819	43714.531	-0.165	43714.366	35.822	43750.188
8	1-2	291952.576	6381	279.27	43750.372	-35.819	43714.553	-0.165	43714.388	35.822	43750.210

Tabelle 2, DGFI Abt. I, Tellurometer MRA 1, 1963

NR	I-K	DAT	ZEIT	HI	HK	INI	INK	SN	PI	TTI	TFI	PK	TTK	TFK	SW	FV	EX	AZ	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	
1	1-2	23.	6.	14.10	2501.52	1061.51	0.26	0.53	43747.734	565.2	8.5	7.0	671.8	15.8	13.1	9.0	0.000	-0.165	47
2	1-2	23.	6.	14.20	2501.52	1061.51	0.26	0.53	43747.754	565.3	8.0	6.7	671.9	15.9	13.3	16.0	0.000	-0.165	47
3	1-2	23.	6.	14.25	2501.52	1061.51	0.26	0.53	43747.867	565.3	7.8	6.8	671.9	15.9	13.0	14.0	0.000	-0.165	47
4	1-2	23.	6.	14.35	2501.52	1061.51	0.26	0.53	43747.813	565.1	8.0	7.1	671.9	15.8	12.7	9.0	0.000	-0.165	47
5	1-2	23.	6.	19.05	2501.52	1061.51	0.26	0.53	43747.879	565.5	3.6	2.9	672.2	13.6	10.9	16.0	0.000	-0.165	47
6	1-2	23.	6.	19.10	2501.52	1061.51	0.26	0.53	43747.699	565.6	3.6	3.0	672.2	13.5	10.5	17.0	0.000	-0.165	47
7	1-2	23.	6.	19.20	2501.52	1061.51	0.26	0.53	43747.752	565.6	3.9	3.4	672.2	13.5	10.3	25.0	0.000	-0.165	47
8	1-2	23.	6.	19.30	2501.52	1061.51	0.26	0.53	43747.571	565.6	4.0	3.5	672.2	13.5	10.1	22.0	0.000	-0.165	47
9	1-2	4.	7.	8.40	2501.52	1061.51	0.26	0.56	43747.891	565.5	5.6	4.3	671.4	14.5	10.4	15.0	0.000	-0.165	47
10	1-2	4.	7.	8.45	2501.52	1061.51	0.26	0.56	43747.934	565.7	5.7	4.4	671.4	14.5	10.4	16.0	0.000	-0.165	47
11	1-2	4.	7.	8.50	2501.52	1061.51	0.26	0.56	43747.957	565.6	5.6	4.3	671.4	14.5	10.4	14.0	0.000	-0.165	47
12	1-2	4.	7.	8.55	2501.52	1061.51	0.26	0.56	43747.995	565.5	5.5	4.2	671.4	14.6	10.4	15.0	0.000	-0.165	47

Tabelle 1, DGFI Abt. I, Electrotape 1964

NR	I-K	LZ	R	NM	SSEX	K1	SREX	EX	SR	K2	SS
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	1-2	43747.734	6381	275.21	43749.614	-35.822	43713.792	-0.165	43713.627	35.822	43749.449
2	1-2	43747.754	6381	275.75	43749.611	-35.822	43713.788	-0.165	43713.623	35.822	43749.445
3	1-2	43747.867	6381	275.39	43749.739	-35.822	43713.918	-0.165	43713.753	35.822	43749.575
4	1-2	43747.813	6381	275.05	43749.700	-35.821	43713.879	-0.165	43713.714	35.822	43749.536
5	1-2	43747.879	6381	269.76	43749.998	-35.822	43714.176	-0.165	43714.011	35.822	43749.833
6	1-2	43747.699	6381	268.97	43749.852	-35.822	43714.031	-0.165	43713.866	35.822	43749.688
7	1-2	43747.752	6381	268.86	43749.910	-35.821	43714.089	-0.165	43713.924	35.822	43749.746
8	1-2	43747.571	6381	268.33	43749.752	-35.821	43713.931	-0.165	43713.766	35.822	43749.588
9	1-2	43747.891	6381	266.55	43750.150	-35.820	43714.330	-0.165	43714.165	35.822	43749.987
10	1-2	43747.934	6381	266.68	43750.188	-35.820	43714.368	-0.165	43714.203	35.822	43750.025
11	1-2	43747.957	6381	266.57	43750.215	-35.820	43714.396	-0.165	43714.231	35.822	43750.052
12	1-2	43747.995	6381	266.27	43750.266	-35.820	43714.446	-0.165	43714.281	35.822	43750.103

Tabelle 2, DGFI Abt. I, Electrotape 1964

NR	I-K	DAT	ZEIT	HI	HK	INI	INK	LZO	PI	TTI	TFI	PK	TTK	TFK	SW	FV	EX	AZ
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
1	1-2	23.	6.	13.30	2501.52	1061.59	0.23	291945.625	565.1	7.1	6.3	671.9	15.1	12.4	3.5	0.000	-0.165	47
2	1-2	23.	6.	13.40	2501.52	1061.59	0.23	291946.182	565.2	7.0	6.0	671.9	15.2	12.5	3.5	0.000	-0.165	47
3	1-2	23.	6.	13.50	2501.52	1061.59	0.23	291944.725	565.3	7.6	6.4	671.9	15.3	12.4	4.8	0.000	-0.165	47
4	1-2	23.	6.	14.00	2501.52	1061.59	0.23	291945.325	565.3	8.0	6.8	671.9	15.3	12.6	5.0	0.000	-0.165	47
5	1-2	23.	6.	17.25	2501.52	1061.59	0.23	291946.150	565.4	5.4	5.3	672.0	13.6	10.7	4.8	0.000	-0.165	47
6	1-2	23.	6.	17.35	2501.52	1061.59	0.23	291946.025	565.4	5.1	5.1	672.0	13.6	10.5	4.2	0.000	-0.165	47
7	1-2	23.	6.	17.45	2501.52	1061.59	0.23	291946.225	565.4	5.0	5.0	672.0	13.5	10.6	3.5	0.000	-0.165	47
8	1-2	23.	6.	17.55	2501.52	1061.59	0.23	291946.650	565.4	5.0	5.0	672.0	13.6	10.7	2.0	0.000	-0.165	47
9	1-2	4.	7.	8.00	2501.52	1061.59	0.22	291947.800	565.5	5.4	4.5	671.3	14.4	11.5	2.5	0.000	-0.165	47
10	1-2	4.	7.	8.15	2501.52	1061.59	0.22	291946.875	565.5	5.4	4.3	671.3	14.3	11.2	5.5	0.000	-0.165	47
11	1-2	4.	7.	8.20	2501.52	1061.59	0.22	291947.450	565.4	5.6	4.4	671.3	14.3	11.1	5.5	0.000	-0.165	47
12	1-2	4.	7.	8.30	2501.52	1061.59	0.22	291947.225	565.4	5.6	4.4	671.3	14.5	11.0	2.8	0.000	-0.165	47

Tabelle 1, DGFI Abt. I, Tellurometer MRA 1 1964

NR	I-K	SN	R	NM	SSEX	K1	SREX	EX	SR	K2	SS
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	1-2	291945.625	6381	274.66	43749.532	-35.819	43713.713	-0.165	43713.548	35.822	43749.371
2	1-2	291946.182	6381	274.16	43749.638	-35.819	43713.819	-0.165	43713.654	35.822	43749.476
3	1-2	291944.725	6381	273.73	43749.438	-35.818	43713.619	-0.165	43713.454	35.822	43749.276
4	1-2	291945.325	6381	274.82	43749.480	-35.819	43713.661	-0.165	43713.496	35.822	43749.318
5	1-2	291946.150	6381	272.29	43749.715	-35.817	43713.897	-0.165	43713.732	35.822	43749.554
6	1-2	291946.025	6381	271.64	43749.724	-35.817	43713.907	-0.165	43713.742	35.822	43749.564
7	1-2	291946.225	6381	272.05	43749.736	-35.817	43713.919	-0.165	43713.754	35.822	43749.576
8	1-2	291946.650	6381	272.17	43749.794	-35.817	43713.977	-0.165	43713.812	35.822	43749.634
9	1-2	291947.800	6381	271.06	43750.015	-35.817	43714.198	-0.165	43714.033	35.822	43749.855
10	1-2	291946.875	6381	269.75	43749.934	-35.817	43714.117	-0.165	43713.952	35.822	43749.774
11	1-2	291947.450	6381	269.33	43750.038	-35.817	43714.221	-0.165	43714.056	35.822	43749.878
12	1-2	291947.225	6381	268.65	43750.035	-35.817	43714.218	-0.165	43714.053	35.822	43749.875

Tabelle 1, DGFI Abt. I, Tellurometer MRA 1 1964

wurde die Verzögerungslinie des Gerätes neu geeicht. Eine nach den Messungen durchgeführte Frequenzkontrolle ergab Abweichungen von den Sollfrequenzen  $< 30$  Hz, die bei der Größenordnung der Sollfrequenzen von 30 MHz einer Maßstabsunsicherheit  $< 1 \cdot 10^{-6}$  entsprechen.

Die Frequenzkontrolle der drei Tellurometer, wurde Anfang März 1964 beim Institut für Angewandte Geodäsie vorgenommen. Dabei sind die - offenbar durch Alterung der Quarze eingetretenen - Abweichungen von den Sollfrequenzen in der Größenordnung von 50 Hz beseitigt worden. Eine spätere, nach den Heerbrugger Messungen bei der gleichen Stelle durchgeführte Frequenzprüfung ergab Abweichungen der Feinmeßfrequenzen  $< 10$  Hz, die bei einer Sollfrequenz von 10 MHz ebenfalls einer Maßstabsunsicherheit von  $< 1 \cdot 10^{-6}$  entsprechen.

Die Distomatausrüstung wurde von der Fa. WILD betreut und überwacht.

#### 5.42 Die Bestimmung der meteorologischen Daten

Entsprechend dem bereits genannten Zweck unserer Arbeiten wurde kein über die normalen Messungen hinausgehendes meteorologisches Beobachtungsprogramm aufgestellt, sondern lediglich zur Kontrolle der Meßwerte an den Streckenendpunkten die übliche instrumentelle Ausrüstung verstärkt. Für die Geodimeter- und Tellurometermessungen standen zur Verfügung:

7 Aneroide verschiedener Konstruktion (darunter 1 Baromec), 1 Hypsometer, 3 Aspirationspsychrometer mit Federwerkventilation und 2 Geräte mit elektrischer Ventilation. Für die Distomatmessungen wurden die von der Fa. Wild zur Verfügung gestellten 2 Thommenbarometer sowie zwei kleinere Lambrecht-Aspirationspsychrometer verwendet.

Alle Barometer wurden sowohl in Heerbrugg wie auch auf den Hochpunkten Pfänder und St. Anton durch Vergleichsmessungen mit dem Hypsometer überprüft, die auf dem Säntis eingesetzten Instrumente mit dem Quecksilberbarometer der Wetterstation.

Bei den Geodimetermessungen wurden die erforderlichen meteorologischen Daten sowohl an der Geodimeter- als auch an der Reflektorstation bestimmt und die meteorologischen Reduktionen unter Verwendung des Nomogramms der Geodimeteranweisung aus den entsprechenden Mittelwerten berechnet.

Im Rahmen der Tellurometermessungen konnten häufig die meteorologischen Messungen durch Zweitinstrumente kontrolliert werden. Für die Auswertung wurden alle meteorologischen Meßergebnisse graphisch aufgetragen und zur strengen Berechnung der Brechungskoeffizienten ausgeglichene Werte herangezogen.

#### 5.43 Messungen mit dem Geodimeter NASM 4

Neben der Messung einer Seite des Basispolygons wurden noch zwei Seiten des Basisvergrößerungsnetzes gemessen.

Die Strecke Basis Nord - Basis Süd wurde am 8.4. zwischen 21 und 23 Uhr insgesamt 5 mal gemessen. Die Streuung der Einzelergebnisse beträgt 11 mm. Die Messung der Strecke Basis Süd - St. Anton-Ost am 9.4. fand in der Zeit zwischen 22 und 24 Uhr statt. Die insgesamt 7 Einzelergebnisse streuen in einem Intervall von 26 mm.

#### 5.431 Auswertung der Messungen

Aus der Gleichung (3.4) errechnet sich bei gegebener Wellenlänge des Lichts von  $\lambda = 0,565 \mu\text{m}$  für den Gruppenbrechungsindex ein Wert von  $n_G = 1,00030358$ . Die Auswertungen nach dem Formblatt beruhen auf einer Lichtgeschwindigkeit im Vakuum von  $c_0 = 299793 \text{ km/s}$  und einem genäherten Brechungsindex der Luft von  $n_{L0} = 1,0003104$ . Letzterer Wert errechnet sich aus Gleichung (3.5) unter der Annahme, daß  $e = 0 \text{ mmHg}$  und  $t = -6^\circ\text{C}$ .

Bei den vorliegenden Auswertungen wurde der tatsächliche Wert des Brechungsindex  $n_L$  nach Gleichung (3.5) berechnet, wobei infolge fehlender Messung der Feuchttemperatur  $e = 10 \text{ mmHg}$  gesetzt wurde. Ferner wurde eine Korrektur wegen des inzwischen genauer bekannten Wertes der Lichtgeschwindigkeit im Vakuum angebracht.

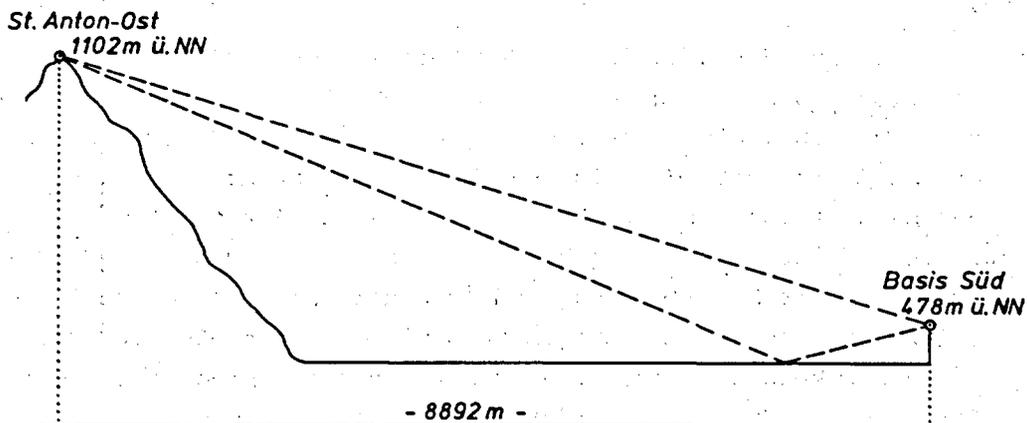
#### 5.432 Zusammenstellung der Ergebnisse

Die Tabellen 1 und 2 bringen wieder die Meßdaten und die Ergebnisse. Während Tabelle 2 der im Abschnitt 4 dargestellten Form entspricht, weicht Tabelle 1 etwas davon ab, weil bei den Geodimetermessungen keine Feuchttemperaturen gemessen werden und weil zusätzlich die Reflektorkonstante RKONST und die Geodimeterkonstante GKONST anzuführen sind.

#### 5.44 Messungen mit dem Tellurometer MRA 2

##### 5.441 Beschreibung der Messungen

Bei den Tellurometermessungen bereitete die Strecke Basis Süd - St. Anton-Ost besondere Schwierigkeiten.



Es traten derart starke Bodenreflektionen auf, daß eine Swing-Breite von  $70 \text{ nsec } \Delta$  (10,5 m) gemessen wurde und bei bestimmten Trägerfrequenzeinstellungen überhaupt kein Kreis oder nur ein stark deformierter Kreis zu erhalten war, eine Erscheinung, die in ähnlicher Form schon vom DGFI\* bei Tellurometerexperimenten am Starnberger See festgestellt wurde und auf eine Auslöschung des direkten und reflektierten Strahles zurückzuführen ist. Da diese Messungen nicht zu verwenden waren, wurde das dritte zur Verfügung stehende Tellurometer von Basis Süd aus

\* R. SIGL "Leistung und Stand der Elektronischen Entfernungsmessung" in DGK, Reihe B, Heft Nr. 95/II, 1963.

in der Gegend der theoretisch ermittelten Reflexionszone in die Richtung nach St. Anton-Ost eingewiesen, um die Gesamtstrecke aus den entsprechenden Teilstrecken abzuleiten. Wie zu erwarten, war der Swing der Teilstrecken sehr klein. Er betrug nur 2 nsec.

Diese Messungen zum "Reflexionspunkt" 6' sind in den Tabellen 1 und 2 mit dem Datum 8.4. und unter den laufenden Nummern 12 bis 15 eingetragen. In der Tabelle 2 sind für diese Teilstrecken keine Korrekturen K2 und keine schrägen Strecken SS ausgewiesen. Die entsprechenden Gesamtstrecken auf der Rechenfläche SR können leicht durch Summierung und Mittelung der Teilstrecken gebildet werden. Bringt man daran die bei den folgenden Strecken nachgewiesenen Korrekturen  $K2 = 23,806$  m an, so hat man auch die entsprechenden schrägen Strecken SS. Die in den Tabellen ausgewiesenen Messungen stellen "Einfachmessungen" dar, also ohne Vertauschung der Master-Remote-Funktion!

Am 13.4. wurde die Strecke in mehreren Varianten erneut gemessen. Zunächst ergab allein schon die bodennahe Aufstellung des Instrumentes auf Basis Süd bei jeder Abstimmung einen einwandfreien Kreis mit deutlicher Unterbrechung. Allerdings blieb der Swing extrem hoch, zeigte aber gut ausgeprägte Perioden. Auf der Suche nach günstigeren Meßbedingungen für die Strecke wurden die drei Exzentren A, B und C festgelegt. A und B auf Station St. Anton-Ost so, daß die Reflektionszone in der Ebene durch entsprechende Geländeformen abgedeckt war. Exzentrum A lag etwa 100 m in nahezu rückwärtiger Verlängerung, Exzentrum B etwa 70 m genähert rechtwinklig zur Strecke St. Anton-Ost - Basis Süd. Exzentrum C gehört zur Station Basis Süd. Das Zentrum dieser Station liegt am Rande eines Steinbruchs, ca. 60 m über der Ebene. Exzentrum C wurde am Fuße des Steinbruchs, ca. 40 m vor dem Zentrum von Basis Süd entfernt, festgelegt. (Siehe folgenden Abschnitt 5.442 Zentrierungen).

Die Messungen von den Exzentren aus waren durchweg störungsfrei bei jeder Abstimmung. Extrem große Swings zeigten aber auch hier die Messungen von A und B nach dem Zentrum Basis Süd. Eine Verkleinerung des Swings wurde erst durch Verwendung des Exzentrums C erreicht. Wir sind uns im klaren darüber, daß der in den Tabellen angegebene Wert für die Strecke Basis Süd - St. Anton-Ost wegen der großen Swings nur eine beschränkte Aussagekraft besitzen kann, was auch in dem großen mittleren Fehler einer Einzelmessung zum Ausdruck kommt. Andererseits dürfte das Ergebnis dafür sprechen, daß Messungen auch mit extrem großen Swings, wenn ausgeprägte Perioden erkennbar sind, nicht von vornherein verworfen werden müssen. Die maximale Streuung der Strecken beträgt 60 cm.

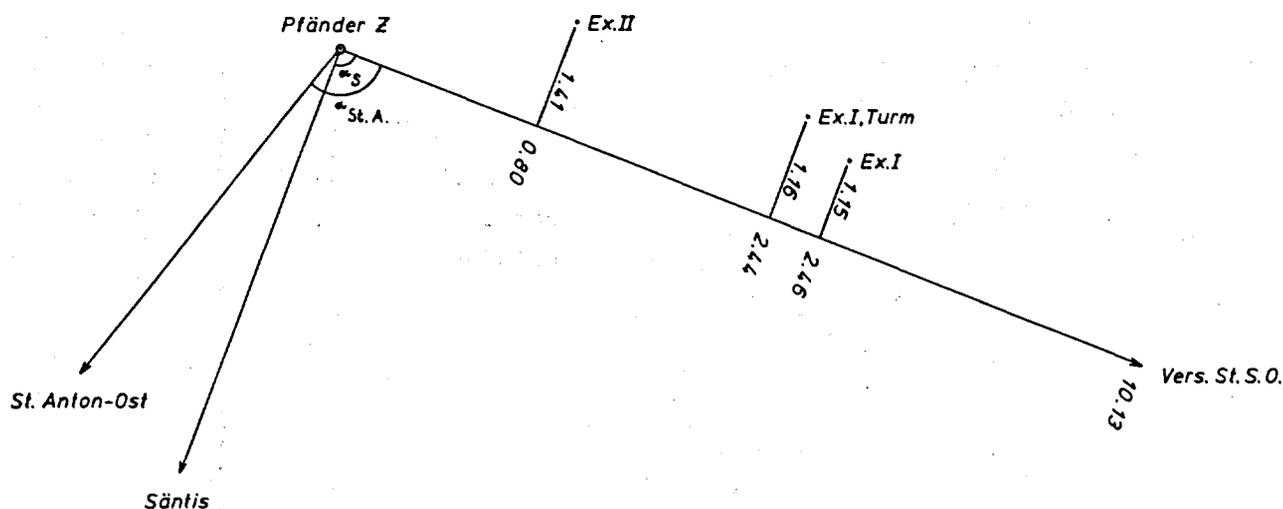
Die Messungen im Dreieck Säntis - St. Anton-Ost - Pfänder fanden am 11. und 12.4. statt. Da drei Tellurometer zur Verfügung standen, konnten alle drei Stationen gleichzeitig besetzt und die Strecken im Wechsel gemessen werden. Auf der Station Säntis wurde vom Exzentrum, Bolzen A, gemessen, St. Anton-Ost war zentrisch besetzt und auf Station Pfänder stand das Instrument am 11.4. ca. 3 m exzentrisch, am 12.4. anfangs zentrisch; dann auf einem ca. 5 m hohen Stahlurm. Die größte Streuung für die Strecke Säntis-Pfänder liegt hier bei dem beachtlichen Wert von 75 cm, der wiederum durch die verhältnismäßig großen Swings auf dieser Strecke verursacht sein dürfte. Als sehr gut können wohl die Meßergebnisse der Strecken Säntis - St. Anton-Ost und Pfänder - St. Anton-Ost angesehen werden. Die Swings

sind klein und die Messungen streuen maximal bei der einen Strecke um 24 cm, bei der anderen um nur 17 cm.

5.442 Zentrierungen

Es wurden sämtliche Strecken von und zu den Punkten St. Anton (Punktnummer 5) und Säntis (Punktnummer 1) sowie die meisten Strecken zum Punkt Pfänder (Punktnummer 2) exzentrisch beobachtet. Dazu kommt noch der "Reflexionspunkt" und ein Exzentrum C bei der Basis Süd. Bei den Berechnungen wurden die Millimeter mitgeführt. In den Tabellen 1 und 2 wurden jedoch nur die Zentimeter ausgewiesen, weil die Zentrierungselemente in der Regel auch nur auf Zentimeter gemessen wurden.

5.4421 Zentrierung Pfänder



Die Exzentren Ex.I und Ex.I, Turm wurden am 11.4. bzw. am 12.4. bei den Tellurometermessungen benutzt. Der Bodenpunkt Ex.I liegt 1,08 m unter der Pfeileroberkante. Beim Ex.I, Turm wurde darüber der oben erwähnte Stahlurm mit einer Höhe von 5,59 m aufgestellt. Zur Höhe des Turms kommt noch die Instrumentenhöhe von 0,24 cm. Die Summe dieser beiden Höhen - 5,83 m - ist als Instrumentenhöhe in Tabelle 1 eingetragen.

Das Ex.II wurde bei den Distomatmessungen verwendet und liegt 1,14 m unter der Pfeileroberkante. Diese Zentrierung wird der Einfachheit halber gleich hier mitgenommen.

Die Winkel  $\alpha_S$  und  $\alpha_{St.A.}$  werden aus den Koordinaten der Punkte berechnet (siehe Abschnitt 2) und ergeben sich zu:

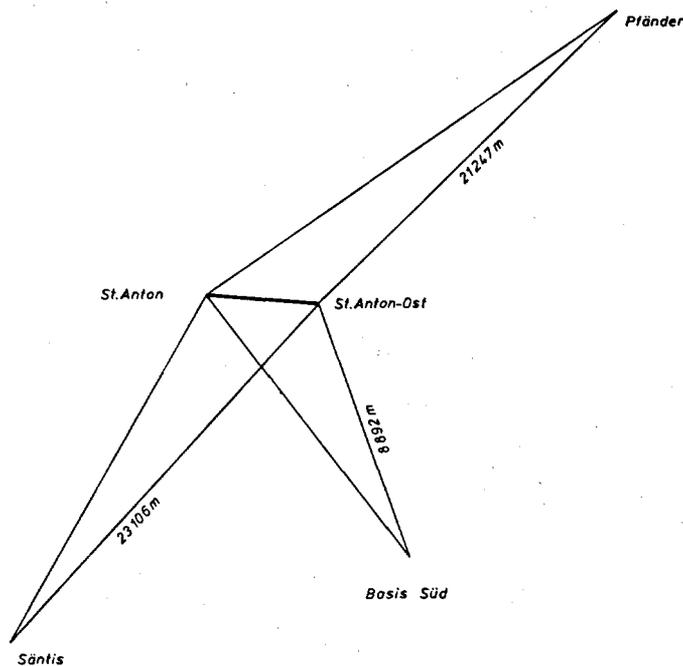
$$\alpha_S = 100,5473 \text{ gon} \quad \alpha_{St.A.} = 111,8149 \text{ gon.}$$

Mit den in der Skizze eingetragenen Werten erhält man folgende Zentrierungen:

	Richtung		
	Säntis	St. Anton	
$z_{Ex.I}$	-1,181 m	-1,590 m	$z_1$
$z_{Ex.I, Turm}$	-1,171 m	-1,584 m	$z_2$
(Distomat) $z_{Ex.II}$	-1,417 m	-1,533 m	$z_3$

5.4422 Zentrierung St. Anton

Es sind hier zwei Zentrierungen zu unterscheiden. Einmal die Zentrierung von St. Anton-Ost auf das Zentrum und dann die Zentrierungen von den Exzentren A, B und C auf St. Anton-Ost.

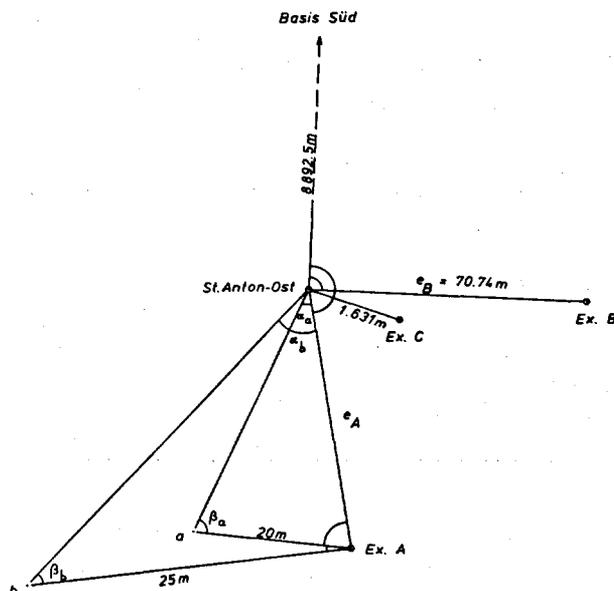


Zentrierung

Basis Süd	+230,084m	$z_4$
Säntis	-239,478m	$z_5$
Pfänder	+348,010m	$z_6$

Aus den wieder im Abschnitt 2 angegebenen Koordinaten lassen sich die Zentrierungen berechnen.

Von St. Anton-Ost aus wurden drei weitere Exzentren eingemessen. Die Strecken zu den Exzentren B und C wurden direkt gemessen (siehe Skizze), das Exzentrum A wurde indirekt über die Hilfspunkte a und b eingemessen (siehe Skizze).



Mit dem Richtungssatz im Exzentrum A

a	0°
b	0° 02' 04"
St. Anton-Ost	76° 44' 01"

und den auf St. Anton-Ost gemessenen Winkeln

$$\alpha_a = 10^\circ 51' 45,7''$$
$$\alpha_b = 13^\circ 38' 23,3''$$

erhält man für  $e_A$  den gemittelten Wert

$$e_A = 106,02 \text{ m,}$$

und reduziert auf Meereshöhe

$$e_{A \text{ NN}} = 106,00 \text{ m.}$$

Mit dem in St. Anton-Ost gemessenen Richtungssatz

Basis Süd	0°
Ex. B	96° 09' 29"
Ex. C	104° 31'
Ex. A	174° 56' 44"

erhält man nach dem Kosinussatz folgende Zentrierungsverbesserungen für die Strecke nach Basis Süd in Meereshöhe:

	Zentrierung	
Ex. A	- 105,593 m	$z_7$
Ex. B	- 7,866 m	$z_8$
Ex. C	- 0,408 m	$z_9$

#### Höhe der Exzentren A und B

In St. Anton-Ost wurden die beiden Zenitdistanzen

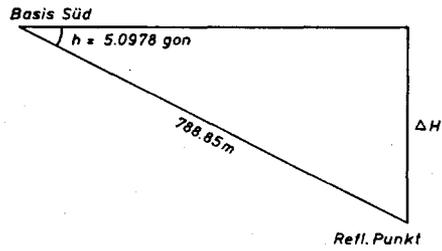
$$z_A = 87^\circ 35' 59''$$
$$z_B = 99^\circ 40' 10''$$

gemessen, bei einer Instrumentenhöhe von  $i = 1,50 \text{ m}$  und einer Zielhöhe von  $z = 0,00 \text{ m}$ . Damit erhält man für die Exzentren folgende Höhenunterschiede gegenüber St. Anton-Ost

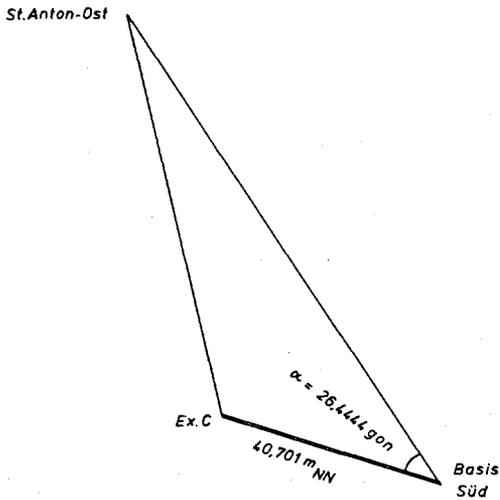
$$\Delta H_A = + 5,94 \text{ m}$$
$$\Delta H_B = -10,55 \text{ m .}$$

#### 5.4423 Zentrierung Basis Süd

Hier ist zunächst die Höhe des Reflexionspunktes festzulegen, der zwischen Basis Süd und St. Anton-Ost eingefluchtet wurde. Aus dem in der Skizze angegebenen Tiefenwinkel  $h$  und der gemessenen schrägen Strecke ergibt sich unter Beachtung der Instrumentenhöhe  $i = 0,30 \text{ m}$ , der Zielhöhe  $z = 0,00 \text{ m}$  und unter Berücksichtigung der Erdkrümmung der Höhenunterschied zu Basis Süd zu  $\Delta H = - 62,76 \text{ m}$ .



Exzentrum C der Basis Süd



Mehrere Strecken wurden vom Exzentrum C aus gemessen, das durch einen geschlossenen Polygonzug von den bereits bestehenden Hilfspunkten A und B und unter Einschaltung eines weiteren Punktes H aus eingemessen wurde. Aus dieser Einmessung resultieren die in der Skizze angegebenen Werte. Nach dem Kosinussatz erhält man daraus den Zentrierungsbetrag zu:

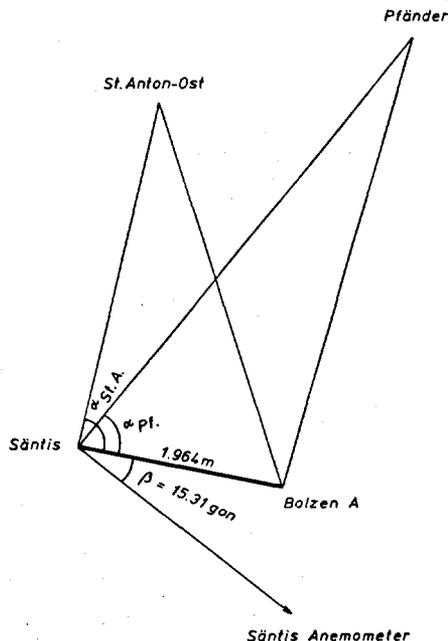
$$z_{10} = + 37,225 \text{ m .}$$

Die Höhe des Exzentrums C wurde eingemessen zu:

$$H_C = 416,92 \text{ m .}$$

Bei den Messungen mit den laufenden Nummern 16, 17 und 18 wurde das Tellurometer um 0,41 m vor dem Pfeiler aufgestellt, so daß noch eine entsprechende Korrektur  $z_{11}$  anzubringen ist. Bei den Messungen mit den laufenden Nummern 27 und 28 wurde das Instrument stark nach hinten geneigt; hier ist eine Korrektur von  $z_{12} = - 0,22 \text{ m}$  anzubringen.

5.4424 Zentrierung Säntis



Sämtliche Beobachtungen auf dem Säntis wurden auf dem Bolzen A durchgeführt. Der in der Skizze eingetragene Winkel  $\beta$  wurde gemessen. Die Winkel zwischen Säntis Anemometer und St. Anton-Ost bzw. Pfänder wurden aus Koordinaten berechnet. Zieht man davon den Winkel  $\beta$  ab, so erhält man:

$$\begin{aligned} \alpha_{\text{St.A.}} &= 98,04 \text{ gon} \\ \alpha_{\text{Pf}} &= 87,69 \text{ gon} . \end{aligned}$$

Daraus ergeben sich die Zentrierungen:

$$\begin{aligned} z_{13} &= + 0,060 \text{ m} \\ z_{14} &= + 0,377 \text{ m} . \end{aligned}$$

#### 5.4425 Zusammenfassung der Zentrierungen der Strecke Basis Süd - St. Anton

In den Tabellen 1 und 2 wurde aus praktischen Gründen darauf verzichtet, die verschiedenen exzentrischen Aufstellungen namentlich aufzuführen; statt dessen wurde nur die Summe der Zentrierungsbeträge angegeben. Im Fall der Strecke Basis Süd - St. Anton können dabei allerdings auch Unklarheiten auftreten, weil bis zu vier Zentrierungen angebracht werden mußten. Es werden daher in diesem Abschnitt für diese Strecke die einzelnen Zentrierungen aufgelistet, deren Summe dann in Tabelle 1, Spalte 18 und noch einmal in Tabelle 2, Spalte 9, angegeben ist. Die Zentrierungen der anderen Strecken können leicht an Hand der in den vorhergehenden Abschnitten angegebenen Zahlen nachvollzogen werden. Die Zentrierungen mit den Nummern 1,2,3 bzw. 5 und 6 tauchen in dieser Zusammenstellung nicht auf, weil sie Strecken in Richtung Säntis und Pfänder betreffen.

Lfd.Nr.	$z_1$	$z_2$	$z_3$	$z_4$	$z_5$	$z_6$	$z_7$	$z_8$	$z_9$	$z_{10}$	$z_{11}$	$z_{12}$
14				X					X			
15				X					X			
16				X							X	
17				X							X	
18				X							X	
19				X			X					
20				X			X					
21				X				X				
22				X				X				
23				X				X		X		
24				X				X		X		
25				X						X		
26				X						X		
27				X			X			X		X
28				X			X			X		X

#### 5.443 Zusammenstellung der Ergebnisse

In den beiden folgenden Tabellen sind wieder die Ergebnisse der Messungen, entsprechend dem im Abschnitt 4 angegebenen Schema, zusammengestellt. Es ist lediglich zu beachten, daß bei den laufenden Nummern 12 bis 15 in der Tabelle 2 keine Werte für K2 und SS ausgewiesen sind - es sind lauter Nullen ausgedruckt -. Das ist deshalb der Fall, weil dies Messungen zu Reflexionspunkt 6' sind. Es müssen daher hier die in Spalte 10 aufgeführten Teilstrecken SR aufsummiert bzw. gemittelt und dann die bei den folgenden Strecken angegebene Reduktion  $K2 = 23,806 \text{ m}$  angebracht werden, um die Strecken SS zu erhalten. Siehe auch Abschnitt 5.441.

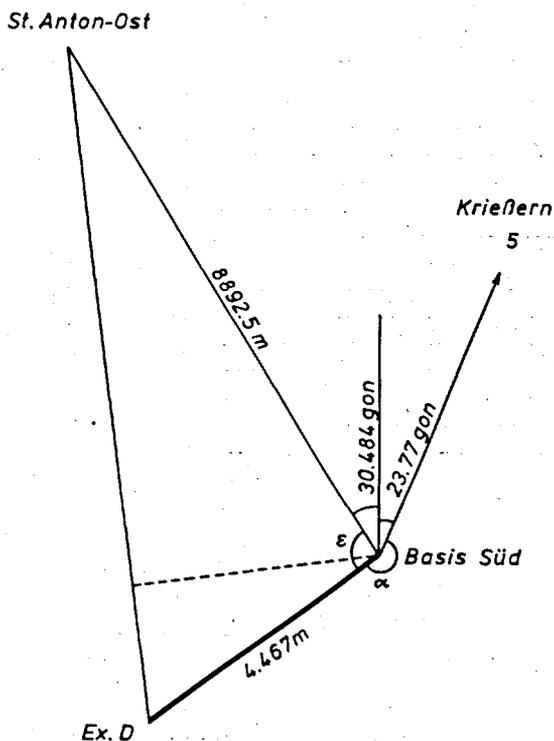
### 5.45 Messungen mit dem Distomat DI 50

Die Distomatmessungen wurden im allgemeinen parallel neben den Tellurometermessungen ausgeführt. Es hat sich bei diesen Messungen klar der Vorteil der 3cm - Welle gegenüber der 10cm - Welle gezeigt. Die Strecke St. Anton-Ost - Basis Süd, deren Messung mit dem Tellurometer wegen der starken Bodenreflexion nur unter großen Schwierigkeiten möglich war, konnte mit dem Distomat ohne weiteres gemessen werden.

Bei der Auswertung ist zu beachten, daß bei der Festlegung der Meßfrequenzen im Gerät ein runder Brechungsindex von 1.000 320 angenommen wurde. Dieser Wert bezieht sich auf eine Lichtgeschwindigkeit im Vakuum von  $c_0 = 299\,792,5$  km/s. Berücksichtigt man den neuesten Wert, so ist für den "eingebauten" Brechungsindex 1.000 319 86 anzuhalten. Eine kurze Beschreibung des Distomat ist in (Allg. Vermess.-Nachr.(1963)3) zu finden.

### 5.451 Zentrierungen

Mit dem Distomat wurde lediglich die Strecke Basis Süd - St. Anton-Ost und zum Teil die Strecke Säntis - Pfänder exzentrisch gemessen. Ein Teil dieser Zentrierungen wurde bereits im Abschnitt 5.442 bei den Tellurometermessungen nachgewiesen unter den Nummern  $z_3 = -1,417$  m und  $z_4 = 230,084$  m. Es ist nur noch eine Zentrierung auf Basis Süd für den Distomat anzubringen, weil dieser auf dem Exzentrum D aufgestellt wurde, das 0,52 m unter dem Pfeiler lag und einen Abstand von 4,467 m hatte. Dieses Exzentrum wurde durch einen Holzpflöck mit Nagel bodengleich vermarktet.



Aus der Einmessungsskizze der Basis Süd Nr. 4587 entnimmt man für die Kirche Krießern das Azimut

$$A = 23,77 \text{ gon.}$$

Aus den Koordinaten von Basis Süd und St. Anton Ost errechnet man den Richtungswinkel

$$t = -30,484 \text{ gon.}$$

Mit diesen beiden Winkeln und dem gemessenen Winkel

$$\alpha = 234,4771 \text{ gon}$$

erhält man den Zentrierungswinkel zu

$$\epsilon = 111,27 \text{ gon.}$$

Mit diesem Winkel und der Exzentrizität von 4,467 m erhält man nach dem Kosinussatz eine Zentrierungsverbesserung von

$$z = -0,788 \text{ m.}$$

Zusammen mit  $z_4$  erhält man damit eine Verbesserung von +229,30 m, die wieder in den Tabellen 1 und 2 eingetragen sind.

#### 5.452 Zusammenstellung der Ergebnisse

In den beiden folgenden Tabellen sind wieder die Meßdaten und die Rechenergebnisse so dargestellt, wie es bereits im Abschnitt 4 erläutert wurde. Hier stellen die Messungen "Doppelmessungen" dar; d.h. es wurde eine Hin- und Rückmessung mit ver- tauschter Haupt- und Gegenstation gemittelt.

Summarisch läßt sich folgendes aussagen: Die größeren Differenzen der Tellurome- termessungen bei den Strecken Basis-Süd - St. Anton-Ost und Säntis - Pfänder sind wohl in erster Linie auf die starken Bodenreflexionen zurückzuführen. Sie sind im Vergleich zu den Swings dieser Strecken immer noch gering. Die Erfahrungen des DGFI\*, nach denen bei wachsenden Laufwegunterschieden von direkter und reflektier- ter Welle die Entfernung stets zunimmt, scheinen sich zu bestätigen. Die positive Abweichung auf der Basis wird zum größten Teil nicht richtig erfaßten meteorologi- schen Einflüssen zuzuschreiben sein. Am 10.4. wurden auf dieser Strecke gegenüber dem 7.4. extrem hohe Dampfdruckunterschiede gemessen, deren Mittelwert sicher nicht repräsentativ für die gesamte Strecke war. Besondere Beachtung verdienen die ausgezeichneten Ergebnisse der Distomatmessungen auf den Strecken Basis Süd - Basis Nord und Basis Süd - St. Anton-Ost. Bei den Messungen am 11. und 12.4. auf der Strecke Säntis - Pfänder traten leider Gerätestörungen auf. Das angegebene Er- gebnis dieser Strecke sollte mit Vorbehalt betrachtet werden. Eine eingehende Diskussion der Ergebnisse bleibt weiteren Veröffentlichungen vorbehalten.

#### 5.5 Schweizerische Messungen

Einleitend sei erwähnt, daß von schweizerischer Seite verschiedentlich elektroni- sche Distanzmessungen zwischen Punkten des Basispolygons gemacht wurden mit dem Zweck, aus dem Vergleich mit Streckenlängen aus der Basismessung instrumentelle Konstanten zu bestimmen. Dazu zählen Versuchsmessungen mit dem Geodimeter NASM 4B No. 347 vom September/Oktober 1963 sowie mehrere Meßreihen zu verschiedenen Jah- reszeiten mit dem Geodimeter Modell 8 Nr. 80059. Da alle diese Teilmessungen keinen direkten Beitrag an das Basisvergrößerungsnetz liefern, sollen sie hier nicht weiter behandelt werden.

Im Basisvergrößerungsnetz waren von schweizerischer Seite ursprünglich keine elektronischen Distanzmessungen vorgesehen, nachdem von Österreich wie von Deutschland solche geplant waren (vgl. Schweiz. Geod. Komm. 1960). Hingegen kamen bei späteren Gelegenheiten doch noch einige Messungen zustande, die sich aller- dings auf einzelne Seiten beschränkten und somit nie das vollständige Netz umfaß- ten.

#### 5.51 Tellurometer- und Distomat-Messungen vom Oktober 1963

Anlaß zu den ersten schweizerischen Messungen gab der Vorschlag des Präsidenten der Permanenten Kommission für die Neuausgleichung der Europäischen Hauptdreiecks- netze, Prof. Dr. mult. M. Kneissl, gemeinsame Seiten des deutschen und schweize- rischen Netzes im Gebiet des Bodensees zwischen Pfänder und Hörnli elektronisch zu messen. Über diese Arbeiten gibt der nachfolgend wiedergegebene Auszug aus dem Bericht von W. Fischer (1965) Auskunft.

\* Siehe Fußnote zum Abschnitt 5.441

NR	I-MK	DAT	ZEIT	HI	HK	INI	INH	S00	PI	TI	PK	TK	FV	EX	RKONST	GKONST	AZ
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
1	6m7	8	4	0.00	475.35	413.39	0.32	0.24	7253.939	970.0	4.8	977.5	5.0	0	-0.030	0.225	35
2	6m7	8	4	21.40	475.35	413.39	0.32	0.24	7253.941	970.0	4.9	977.5	5.1	0	-0.030	0.225	35
3	6m7	8	4	22.00	475.35	413.39	0.32	0.24	7253.941	970.0	4.8	977.6	5.0	0	-0.030	0.225	35
4	6m7	8	4	22.30	475.35	413.39	0.32	0.24	7253.932	970.1	4.8	977.7	5.0	0	-0.030	0.225	35
5	6m7	8	4	22.45	475.35	413.39	0.32	0.24	7253.938	970.1	4.6	977.7	4.8	0	-0.030	0.225	35
6	5m6	9	4	21.45	1099.54	475.35	1.40	0.32	8914.753	897.9	6.4	967.1	8.4	0	-0.030	0.225	150
7	5m6	9	4	22.00	1099.54	475.35	1.40	0.32	8914.760	897.9	6.4	967.0	8.4	0	-0.030	0.225	150
8	5m6	9	4	22.20	1099.54	475.35	1.40	0.32	8914.755	897.0	6.8	967.2	7.5	0	-0.030	0.225	150
9	5m6	9	4	22.40	1099.54	475.35	1.40	0.32	8914.753	898.0	6.8	967.4	7.0	0	-0.030	0.225	150
10	5m6	9	4	22.45	1099.54	475.35	1.40	0.32	8914.740	897.9	6.9	967.2	7.2	0	-0.030	0.225	150
11	5m6	9	4	23.00	1099.54	475.35	1.40	0.32	8914.736	897.9	7.1	967.0	7.0	0	-0.030	0.225	150
12	5m6	9	4	23.20	1099.54	475.35	1.40	0.32	8914.752	897.5	6.8	967.0	6.8	0	-0.030	0.225	150

Tabelle 1, TH Karlsruhe, Geodimeter NASM 4B, 1964

NR	I-MK	SN	R	NH	SSEX	K1	SREX	EX	SR	K2	SS
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	6m7	7253.939	6377	286.08	7254.297	-0.771	7253.527	0.000	7253.527	0.770	7254.296
2	6m7	7253.941	6377	285.98	7254.300	-0.771	7253.529	0.000	7253.529	0.770	7254.299
3	6m7	7253.941	6377	286.09	7254.299	-0.771	7253.528	0.000	7253.528	0.770	7254.298
4	6m7	7253.932	6377	286.12	7254.290	-0.771	7253.519	0.000	7253.519	0.770	7254.289
5	6m7	7253.938	6377	286.33	7254.294	-0.771	7253.524	0.000	7253.524	0.770	7254.293
6	5m6	8914.753	6375	271.37	8915.280	-23.052	8892.227	230.080	9122.307	23.806	9146.114
7	5m6	8914.760	6375	271.36	8915.287	-23.052	8892.235	230.080	9122.315	23.806	9146.121
8	5m6	8914.755	6375	271.50	8915.281	-23.052	8892.228	230.080	9122.308	23.806	9146.114
9	5m6	8914.753	6375	271.92	8915.275	-23.052	8892.222	230.080	9122.302	23.806	9146.109
10	5m6	8914.740	6375	271.73	8915.264	-23.052	8892.211	230.080	9122.291	23.806	9146.097
11	5m6	8914.736	6375	271.71	8915.260	-23.052	8892.207	230.080	9122.287	23.806	9146.094
12	5m6	8914.752	6375	271.89	8915.274	-23.052	8892.222	230.080	9122.302	23.806	9146.108

Tabelle 2, TH Karlsruhe, Geodimeter NASM 4B, 1964



NR	I-K	SH	R	HIM	SSEX	K1	SREX	EX	SR	K2	SS
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	6-7	48409.792	6377	303.48	7254.244	-0.770	7253.474	0.000	7253.474	0.770	7254.243
2	6-7	48409.771	6377	303.70	7254.239	-0.770	7253.469	0.000	7253.469	0.770	7254.239
3	6-7	48409.500	6377	302.89	7254.204	-0.770	7253.434	0.000	7253.434	0.770	7254.204
4	6-7	48409.469	6377	302.20	7254.205	-0.770	7253.435	0.000	7253.435	0.770	7254.204
5	6-7	48409.500	6377	303.75	7254.198	-0.770	7253.428	0.000	7253.428	0.770	7254.198
6	6-7	48409.865	6377	310.82	7254.201	-0.770	7253.431	0.000	7253.431	0.770	7254.201
7	6-7	48409.594	6377	310.37	7254.164	-0.770	7253.394	0.000	7253.394	0.770	7254.164
8	6-7	48408.823	6377	310.08	7254.051	-0.770	7253.281	0.000	7253.281	0.770	7254.050
9	6-7	48409.376	6377	307.86	7254.138	-0.770	7253.368	0.000	7253.368	0.770	7254.138
10	6-7	48409.232	6377	307.54	7254.130	-0.770	7253.360	0.000	7253.360	0.770	7254.130
11	6-7	48403.885	6377	308.09	7254.074	-0.770	7253.304	0.000	7253.304	0.770	7254.074
12	6-6	5264.240	6375	302.14	788.851	-2.470	788.381	0.000	788.381	0.000	0.000
13	6-6	5264.625	6375	300.45	788.910	-2.470	786.441	0.000	786.441	0.000	0.000
14	6-6	54296.162	6375	293.96	8136.398	-30.015	8106.384	229.690	8336.064	0.000	0.000
15	6-6	54296.344	6375	291.88	8136.442	-30.015	8106.428	229.690	8336.108	0.000	0.000
16	6-6	59491.670	6375	289.39	8914.997	-23.147	8891.850	230.490	9122.340	23.806	9146.146
17	6-6	59494.266	6375	287.60	8915.402	-23.146	8892.256	230.490	9122.746	23.805	9146.230
18	6-6	59491.470	6375	286.63	8914.992	-23.058	8891.934	230.490	9122.424	23.806	9146.230
19	6-6	60201.398	6375	291.29	9021.726	-23.230	8998.436	124.490	9122.986	23.805	9146.790
20	6-6	59540.909	6375	291.62	9021.332	-23.231	8998.101	124.490	9122.591	23.806	9146.396
21	6-6	59543.135	6375	290.93	8922.696	-22.293	8900.403	222.220	9122.623	23.805	9146.428
22	6-6	59322.460	6375	294.46	8889.399	-26.481	8862.918	259.440	9122.558	23.806	9146.164
23	6-6	59274.575	6375	293.02	8882.433	-27.323	8855.109	267.310	9122.419	23.806	9146.361
24	6-6	59276.500	6375	293.54	8882.716	-27.322	8855.393	267.310	9122.703	23.805	9146.225
25	6-6	59980.375	6375	294.49	8988.185	-27.484	8960.701	161.500	9122.201	23.806	9146.007
26	6-6	59979.625	6375	294.69	8988.071	-27.485	8960.586	161.500	9122.086	23.807	9145.893
27	1-2	291952.479	6381	293.49	43721.266	-35.825	43715.442	-0.850	43714.592	35.822	43750.414
28	1-2	291950.302	6381	260.31	43750.861	-35.824	43715.036	-0.850	43714.186	35.822	43750.008
29	1-2	291952.104	6381	258.27	43751.220	-35.824	43715.396	-0.790	43714.606	35.822	43750.428
30	1-2	291949.482	6381	257.36	43750.867	-35.825	43715.043	-0.790	43714.253	35.822	43750.075
31	1-2	291952.354	6381	260.91	43751.142	-35.825	43715.317	-0.790	43714.527	35.822	43750.349
32	1-2	291952.670	6381	261.65	43751.128	-35.825	43715.303	-0.790	43714.513	35.822	43750.335
33	1-2	291945.770	6381	261.80	43750.116	-35.827	43714.289	0.380	43714.669	35.822	43750.491
34	1-2	291944.645	6381	262.34	43749.924	-35.828	43714.096	0.380	43714.476	35.822	43750.298
35	1-2	291950.723	6381	259.03	43751.010	-35.677	43715.313	-0.800	43714.762	35.822	43750.584
36	1-2	291952.180	6381	257.64	43751.259	-35.696	43715.562	-0.800	43714.745	35.822	43750.567
37	1-2	291951.500	6381	255.71	43751.241	-35.696	43715.545	-0.800	43714.941	35.822	43750.763
38	1-2	291953.050	6381	256.55	43751.437	-35.676	43715.741	-0.800	43714.941	35.822	43750.763
39	1-2	291944.781	6381	256.28	43750.209	-35.825	43714.384	0.380	43714.764	35.822	43750.586
40	1-2	154506.312	6377	260.02	23153.893	-48.926	23104.967	-239.420	22865.547	48.232	22913.779
41	1-5	154505.917	6377	257.30	23153.897	-48.926	23104.971	-239.420	22865.551	48.232	22913.783
42	1-5	154506.250	6377	262.22	23153.833	-48.929	23104.904	-239.420	22865.484	48.232	22913.716
43	1-5	154505.740	6377	263.07	23153.737	-48.929	23104.808	-239.420	22865.399	48.232	22913.620
44	1-5	154506.600	6377	257.00	23153.938	-48.929	23105.059	-239.420	22865.639	48.232	22913.871
45	1-5	154506.270	6377	259.18	23153.906	-48.929	23104.977	-239.420	22865.557	48.232	22913.790
46	2-5	141812.698	6384	278.71	21251.266	-3.626	21247.640	346.430	21594.070	3.753	21597.823
47	2-5	141811.998	6384	276.89	21251.193	-3.626	21247.567	346.430	21593.997	3.753	21597.750
48	2-5	141812.636	6384	275.72	21251.320	-3.626	21247.694	346.430	21594.124	3.753	21597.877
49	2-5	141812.554	6384	277.20	21251.276	-3.626	21247.650	346.430	21594.090	3.753	21597.833
50	2-5	141812.687	6384	283.03	21251.172	-3.626	21247.546	346.430	21593.966	3.753	21597.720
51	2-5	141813.220	6384	283.46	21251.243	-3.626	21247.617	346.420	21594.037	3.753	21597.790
52	2-5	141801.830	6384	277.37	21249.666	-3.622	21246.044	348.010	21594.054	3.753	21597.807
53	2-5	141801.125	6384	279.01	21249.525	-3.622	21245.903	348.010	21593.913	3.753	21597.666

Tabelle 2, TH Karlsruhe, Tellurometer MRA 2, 1964

NR	I-K	DAT	ZEIT	HI	HK	INI	INK	SN	PI	TTI	TFI	PK	TTK	TFK	SW	FV	EX	AZ
1	6-7	7. 4.	11.25	475.35	413.39	0.30	0.30	7254.164	720.2	2.8	2.0	726.7	3.1	2.3	26.0	0.000	0.000	35
2	6-7	7. 4.	12.10	475.35	413.39	0.30	0.30	7254.162	720.5	3.1	2.1	726.7	4.0	3.3	25.0	0.000	0.000	35
3	6-7	7. 4.	14.35	475.35	413.39	0.30	0.30	7254.144	721.4	2.3	1.5	727.3	3.8	2.7	26.0	0.000	0.000	35
4	6-7	7. 4.	15.10	475.35	413.39	0.30	0.30	7254.154	721.7	2.4	2.0	727.6	3.7	2.7	25.0	0.000	0.000	35
5	6-7	7. 4.	15.50	475.35	413.39	0.30	0.30	7254.160	721.9	2.8	2.2	727.7	3.5	2.9	25.0	0.000	0.000	35
6	6-7	7. 4.	16.25	475.35	413.39	0.30	0.30	7254.161	722.0	3.0	2.1	728.0	3.4	2.5	24.0	0.000	0.000	35
7	5-6	8. 4.	11.15	1099.54	474.83	1.65	1.08	8915.716	672.2	-0.7	-2.3	728.1	6.0	3.0	27.0	0.000	229.300	150
8	5-6	8. 4.	14.10	1099.54	474.83	1.65	1.08	8915.692	672.5	0.3	-1.3	727.6	7.4	3.6	28.0	0.000	229.300	150
9	5-6	8. 4.	14.45	1099.54	474.83	1.65	1.08	8915.705	672.4	0.8	-0.8	727.3	7.6	3.5	27.0	0.000	229.300	150
10	5-6	8. 4.	15.25	1099.54	474.83	1.65	1.08	8915.706	672.5	1.2	-0.3	727.1	8.0	3.5	26.0	0.000	229.300	150
11	5-6	8. 4.	15.50	1099.54	474.83	1.65	1.08	8915.704	672.4	1.1	-0.1	727.1	8.0	3.3	27.0	0.000	229.300	150
12	5-6	8. 4.	16.50	1099.54	474.83	1.65	1.08	8915.710	672.3	1.1	-0.4	727.2	7.7	2.9	27.0	0.000	229.300	150
13	5-6	8. 4.	17.20	1099.54	474.83	1.65	1.08	8915.702	672.4	0.8	-0.6	727.2	7.7	2.8	26.0	0.000	229.300	150
14	5-6	8. 4.	17.45	1099.54	474.83	1.65	1.08	8915.710	672.4	0.6	-0.8	727.2	7.2	2.9	25.0	0.000	229.300	150
15	1-2	11. 4.	12.20	2501.52	1060.45	0.30	1.62	43748.831	564.0	-0.2	-0.7	672.7	12.3	7.8	19.0	0.000	-1.420	47
16	1-2	11. 4.	12.30	2501.52	1060.45	0.30	1.62	43748.826	563.9	-0.6	-1.2	672.7	12.4	7.9	17.0	0.000	-1.420	47
17	1-2	11. 4.	14.15	2501.52	1060.45	0.30	1.62	43748.866	563.6	0.3	0.0	672.3	14.0	8.0	19.0	0.000	-1.420	47
18	1-2	11. 4.	14.35	2501.52	1060.45	0.30	1.62	43748.851	563.4	0.3	0.1	672.3	14.0	7.9	24.0	0.000	-1.420	47
19	1-2	11. 4.	15.00	2501.52	1060.45	0.30	1.62	43748.847	563.4	0.3	0.0	672.2	13.8	7.8	21.0	0.000	-1.420	47
20	1-2	11. 4.	15.15	2501.52	1060.45	0.30	1.62	43748.823	563.3	0.2	-0.1	672.2	13.7	7.9	22.0	0.000	-1.420	47
21	1-2	12. 4.	11.35	2501.52	1061.59	0.30	0.24	43747.482	562.5	-1.6	-1.9	673.2	10.9	7.3	49.0	0.000	0.000	47
22	1-2	12. 4.	12.55	2501.52	1061.59	0.30	0.24	43747.482	561.6	-0.6	-0.9	672.5	13.5	8.6	45.0	0.000	0.000	47
23	1-2	12. 4.	13.40	2501.52	1061.59	0.30	0.24	43747.450	561.5	-0.3	-0.7	672.2	14.0	8.6	43.0	0.000	0.000	47
24	1-2	12. 4.	14.30	2501.52	1061.59	0.30	0.24	43747.390	561.3	0.0	-0.6	671.8	14.3	8.7	50.0	0.000	0.000	47
25	1-2	12. 4.	15.10	2501.52	1061.59	0.30	0.24	43747.377	561.1	-0.1	-0.6	671.5	12.9	8.1	44.0	0.000	0.000	47
26	1-2	12. 4.	16.00	2501.52	1061.59	0.30	0.24	43747.300	561.0	-0.1	-0.7	671.5	11.9	6.8	47.0	0.000	0.000	47

Tabelle 1, TH Karlsruhe, Distomat 1964

NR	I-K	LZ	R	MM	SSEX	K1	SREX	EX	SR	K2	SS
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	6-7	7254.164	6377	303.16	7254.285	-0.770	7253.515	0.000	7253.515	0.770	7254.285
2	6-7	7254.162	6377	303.73	7254.279	-0.770	7253.509	0.000	7253.509	0.770	7254.279
3	6-7	7254.144	6377	302.81	7254.268	-0.770	7253.498	0.000	7253.498	0.770	7254.267
4	6-7	7254.154	6377	304.30	7254.267	-0.770	7253.497	0.000	7253.497	0.770	7254.267
5	6-7	7254.160	6377	305.04	7254.268	-0.770	7253.497	0.000	7253.497	0.770	7254.267
6	6-7	7254.161	6377	303.50	7254.280	-0.770	7253.510	0.000	7253.510	0.770	7254.279
7	5-6	8915.716	6375	286.31	8916.015	-23.052	8892.963	229.300	9122.263	23.806	9146.070
8	5-6	8915.692	6375	285.50	8915.998	-23.052	8892.947	229.300	9122.247	23.806	9146.053
9	5-6	8915.705	6375	284.99	8916.016	-23.052	8892.964	229.300	9122.264	23.806	9146.070
10	5-6	8915.706	6375	284.62	8916.020	-23.052	8892.968	229.300	9122.268	23.806	9146.075
11	5-6	8915.704	6375	284.76	8916.017	-23.052	8892.965	229.300	9122.265	23.806	9146.071
12	5-6	8915.710	6375	283.51	8916.034	-23.052	8892.982	229.300	9122.282	23.806	9146.089
13	5-6	8915.702	6375	283.36	8916.027	-23.052	8892.976	229.300	9122.276	23.806	9146.082
14	5-6	8915.710	6375	284.55	8916.025	-23.052	8892.973	229.300	9122.273	23.806	9146.079
15	1-2	43748.831	6381	260.49	43751.428	-35.821	43715.608	-1.420	43714.188	35.822	43750.010
16	1-2	43748.826	6381	260.12	43751.440	-35.821	43715.619	-1.420	43714.199	35.822	43750.021
17	1-2	43748.866	6381	258.58	43751.547	-35.820	43715.727	-1.420	43714.307	35.822	43750.129
18	1-2	43748.851	6381	258.49	43751.536	-35.820	43715.716	-1.420	43714.296	35.822	43750.118
19	1-2	43748.847	6381	258.31	43751.540	-35.820	43715.720	-1.420	43714.300	35.822	43750.122
20	1-2	43748.823	6381	258.70	43751.499	-35.820	43715.679	-1.420	43714.259	35.822	43750.081
21	1-2	43747.482	6381	261.14	43750.051	-35.829	43714.222	0.000	43714.222	35.822	43750.044
22	1-2	43747.482	6381	260.36	43750.085	-35.828	43714.257	0.000	43714.257	35.822	43750.079
23	1-2	43747.450	6381	259.31	43750.099	-35.828	43714.271	0.000	43714.271	35.822	43750.093
24	1-2	43747.390	6381	258.66	43750.067	-35.828	43714.239	0.000	43714.239	35.822	43750.061
25	1-2	43747.377	6381	259.55	43750.015	-35.828	43714.187	0.000	43714.187	35.822	43750.009
26	1-2	43747.300	6381	257.41	43750.032	-35.828	43714.204	0.000	43714.204	35.822	43750.026

Tabelle 2, TH Karlsruhe, Distomat 1964

"Die Schweizerische Geodätische Kommission beschloß an ihrer Sitzung vom 20. April 1963, im Jahre 1963 erstmals die Länge einiger Seiten der Triangulation erster Ordnung mit elektronischen Geräten zu messen. Hauptzweck dieser Messungen war die Überprüfung des schweizerischen Triangulationsnetzes bei dessen Zusammenschluß mit dem deutschen Landesnetz im Gebiet des Bodensees. Als zusätzliche Aufgabe stellte sich die praktische Erprobung des neuen elektronischen Distanzmeßgerätes Wild DI 50 Distomat. Da es sich um die ersten derartigen Messungen der SGK handelte, waren sie außerdem zur Einführung ihrer Ingenieure in die elektronische Distanzmessung gedacht.

Vorgesehen war die Messung der Dreiecksreihe Lägern - Hohentwiel (Singen) - Hörnli - Hersberg (Kippenhausen) - Säntis - Pfänder (Bregenz). Da eine solche Kette keine einzige überschüssige Seite aufweist, wurden zusätzlich die Punkte 2. Ordnung Nollen A und Hohentannen-West eingehängt, die beide zum Basisvergrößerungsnetz Weinfeldern gehören, ferner der Punkt St. Anton des Basisvergrößerungsnetzes Heerbrugg.

In der Zeit vom 8. bis 17. Oktober 1963 wurden 18 Seiten gemessen. Unmittelbar an die Messung mit dem Distomat (Nr. 13 und 14) wurde jeweils eine solche mit dem Tellurometer (Master Nr. MA 191, Remote Nr. RA 257) angeschlossen. Diese praktisch bei gleichen meteorologischen Verhältnissen erfolgenden Messungen sollten direkt miteinander verglichen werden können. Für die Bedienung des Distomats stellte die Firma Wild Heerbrugg AG die zwei Beobachter H. Geier und F. Zeugin zur Verfügung, während am Tellurometer die Ingenieure N. Wunderlin und W. Fischer als Beobachter wirkten. Die Messungen konnten weitgehend programmgemäß durchgeführt werden.

Bei allen Strecken schwankten die Distomat-Ablesungen bei Veränderung der Trägerfrequenz von 10 230 bis 10 510 MHz im Bereich  $\pm 10$  cm. Beide Geräte zeigten etwa die gleiche, nahezu sinusförmige Kurve der Abweichungen vom maßgebenden Mittelwert, die offenbar durch den Aufbau der Geräte bedingt und auch schon andernorts festgestellt worden war. Daneben traten bei einzelnen Strecken auch geländebedingte Swing-Kurven auf; die größten Streuungen im Bereich  $\pm 55$  cm wiesen solche über den Bodensee auf, bei denen offenbar der See als Reflexionsfläche wirkte.

Die auf den tatsächlichen Brechungskoeffizienten der Luft umgerechneten und auf das Ellipsoid reduzierten Distomat- und Tellurometer-Messungen wurden unter sich und mit den entsprechenden Seiten der Triangulation verglichen. Die Vergleichsergebnisse wurden nicht absolut schlüssig, da die elektronisch gemessenen Strecken wegen der geringen Zahl der überschüssigen Messungen nur schwach kontrolliert waren und wegen der großen Unterschiede der meteorologischen Elemente auf den bis zu 2000 m Höhendifferenz aufweisenden Seiten zusätzliche Unsicherheiten in sich schlossen. Immerhin lieferten sie einige Angaben, die für weitergehende Untersuchungen auf diesem Gebiet wertvoll sein dürften:

Distomat- und Tellurometermessungen führten innerhalb  $10^{-5} \cdot D$  auf die gleichen Streckenlängen. Hingegen sind die Seiten des Triangulationsnetzes erster Ordnung der Schweizerischen Geodätischen Kommission und des darauf basierenden Netzes zweiter Ordnung um einen Faktor  $10-15 \cdot 10^{-6}$  größer. Dies dürfte darauf zurückzuführen sein, daß bei der Bestimmung des mittleren Maßstabs des Netzes erster Ordnung aus den drei schweizerischen Basen die aus der Basis Weinfeldern abgeleitete Seite Hörnli-Hersberg um 77 cm oder  $17 \cdot 10^{-6} \cdot D$  vergrößert wurde. Die aus der ursprünglichen Basislänge abgeleiteten Seitenlängen des Basisvergrößerungsnetzes Weinfeldern zeigen hingegen eine gute Übereinstimmung mit den elektronisch gemessenen Strecken. Auch die drei Seiten des Basisvergrößerungsnetzes Heerbrugg stimmen innerhalb  $10^{-5}$  mit den gemessenen Strecken überein, wobei sie aber eher etwas zu groß sind. Das Triangulationsnetz erster Ordnung von 1910-16, das in einem Teilnetz auf Grund der aus der Basis Heerbrugg abgeleiteten Seite Säntis-Pfänder ausgeglichen wurde, paßt ebenfalls gut mit den elektronischen Messungen zusammen."

Dank dem Einbezug des Punktes St. Anton wurden somit immerhin die drei Seiten Säntis - Pfänder, Säntis - St. Anton und St. Anton - Pfänder gemessen.

#### 5.52 Versuchsmessungen mit dem Geodimeter 8 vom Oktober 1969

In der Zeit vom 17. bis zum 24. Oktober 1969 stand ein neues Geodimeter Modell 8 für Versuchsmessungen zur Verfügung (Fischer 1971). Das Gerät mit der Nummer 80004 wurde von zwei Mitarbeitern der Herstellerfirma AGA, Jan Stenström und Paul Neuhauser, bedient. Von den Punkten 1. Ordnung Lägern, Gurten, Chasseral,

Rigi und Säntis sollten insgesamt 20 Strecken gemessen werden, deren Länge früher schon mit anderen Geräten bestimmt worden war. Zu Vergleichszwecken sollten diese Strecken zudem mit dem Distomat DI 50 gemessen werden. Zum Einsatz kamen die beiden Geräte Nr. 81 und 82 sowie die zwei zusätzlich von der Albiswerk Zürich AG zur Verfügung gestellten Geräte Nr. 4 und 7, die von Mitarbeitern des Instituts für Geodäsie und Photogrammetrie der ETH Zürich betreut wurden. An der Kampagne beteiligten sich zudem zwei Ingenieure der Eidg. Landestopographie, E. Gubler und F. Jeanrichard.

Im Basisvergrößerungsnetz Heerbrugg gelang einzig am 23. Oktober die Messung der Seite Säntis - St. Anton-Ost, da ein rascher Wetterumschlag an diesem Tag dem aufgestellten Meßprogramm ein vorzeitiges Ende setzte. Die Seite Säntis - Pfänder konnte daher nicht mehr gemessen werden.

#### 5.53 Geodimeter-Messungen vom Juni 1970

Nachdem mit der Anschaffung des Laser-Geodimeters Modell 8 Nr. 80059 ein Gerät zur Verfügung stand, das höhere Genauigkeiten liefert als die bisher verwendeten elektronischen Distanzmeßgeräte, sah die Schweizerische Geodätische Kommission 1970 vor, in den Basisvergrößerungsnetzen Aarberg und Heerbrugg sowie im Triangulationsnetz 1. Ordnung neue Messungen durchzuführen. Die Arbeiten im Basisvergrößerungsnetz Heerbrugg wurden jedoch gegenüber den anderen Aufgaben (Traverse Feldberg - Zimmerwald, Basisvergrößerungsnetz Aarberg, Ergänzungen im Netz 1. Ordnung) als weniger dringlich betrachtet (Schweiz. Geod. Komm. 1971).

Demzufolge wurden im Verlauf des Jahres 1970 nur zwei Seiten des Basisvergrößerungsnetzes Heerbrugg mit dem Geodimeter 8 gemessen, nämlich die Seite BS - St. Anton-Ost sowie die Basis BS - BN selbst. Diese Messungen erfolgten im Rahmen von Erprobungs- und Testmessungen im Basispolygon im Juni 1970.

#### 5.54 Geodimeter-Messungen vom September/Oktober 1971

Weitere Messungen im Basisvergrößerungsnetz Heerbrugg umfaßte das Programm der elektronischen Distanzmessungen im Mittelland von 1971. Diese hatten gleichzeitig verschiedenen Zwecken zu dienen (FISCHER 1975). Dem ausführlicheren Bericht an die Schweizerische Geodätische Kommission vom April 1972 ist darüber folgendes zu entnehmen:

6.9.-10.9.: Bei Nordostwind herrschte weiterhin sonniges und dunstiges Sommerwetter. Dabei waren einige Messungen im Streckennetz Aarberg möglich, während im Netz 1. Ordnung bei zwei Versuchen auf dem Napf keine Messungen zustandekamen.

13.9.-17.9.: Der starke Dunst verwandelte sich zusehends in Bewölkung, die jede Messung verunmöglichte. Nach der Dislokation nach Heerbrugg konnte hingegen auf der Basis gemessen werden sowie nach plötzlicher Aufhellung auch im Basisvergrößerungsnetz; allerdings kam die Messung der Seite St. Anton - Säntis wegen Umwölkung des Säntisgipfels nicht mehr zustande.

20.9.-24.9.: Die klare Sicht in der Höhe (bei starkem Dunst in den Niederungen) begünstigte die Messungen im Streckennetz 1. Ordnung, die leider wegen eines plötzlichen Schlechtwettereinbruchs gegen Ende der Woche vorzeitig abgebrochen werden mußten.

Unter diesen Umständen konnten im Basisvergrößerungsnetz Heerbrugg folgende Strecken gemessen werden:

- 17.9. St. Anton-Ost - Pfänder, St. Anton-Ost - BS,
- 20.9. Säntis - St. Anton-Ost, Säntis - Pfänder,
- 21.9. Säntis - Pfänder.

Zum Abschluß der Kampagne von 1971 wurde am 29. Oktober nochmals eine Meßreihe im Basispolygon von Heerbrugg angeordnet, wobei eine weitere Messung der Basis BS - BN zustande kam.

Über die Durchführung dieser Messungen im einzelnen kann (FISCHER 1973) folgendes entnommen werden:

"Normalerweise wurden auf jeder Strecke zwei vollständige Beobachtungsreihen mit den drei Meßfrequenzen  $U_1$ ,  $U_2$ ,  $U_3$  gemessen. Auf die vierte Meßfrequenz  $U_4$  konnte verzichtet werden, da sie keinen Beitrag an das Meßresultat liefert und das Vielfache von 2000 m aus der Lage der Stationspunkte hinreichend bekannt war. Die beiden Beobachtungsreihen folgten meist unmittelbar aufeinander, doch wurden sie wenn immer möglich von zwei verschiedenen Beobachtern erledigt. Bei schwachem Empfangssignal wurden die Messungen zur Sicherheit öfters wiederholt, doch mußte man sich gelegentlich auch mit einer einzigen Reihe begnügen. Hingegen wurde prinzipiell darauf verzichtet, die Messungen über den ganzen Tag zu verteilen, wie dies 1970 zu einem großen Teil gemacht worden war, weil dadurch der Fortgang der Arbeiten zu stark gehemmt worden wäre.

Die meteorologischen Elemente wurden auf beiden Endpunkten der Strecke während der ganzen Dauer einer Geodimeter-Messung erhoben. Die Ablesungen am Psychrometer erfolgten alle fünf Minuten und wurden in ein separates Feldbuch eingetragen. Beobachtungen über den allgemeinen Wetterverlauf sowie über den Luftdruck wurden in größeren Zeitabständen im Feldbuch vermerkt.

Alle Distanzmessungen erfolgten mit dem Laser-Geodimeter AGA Modell 8 Nr. 80059 des Instituts für Geodäsie und Photogrammetrie der ETH Zürich und der Schweizerischen Geodätischen Kommission. Ferner wurden insgesamt 60 Reflektorprismen eingesetzt, die jeweils entsprechend der Länge der zu messenden Strecken auf die Reflektor-Stationen verteilt wurden. Das Institut für Geodäsie und Photogrammetrie der ETH Zürich besitzt selbst 39 Prismen, während 12 vom Geodätischen Institut der EPF Lausanne und 9 von der Eidg. Landestopographie leihweise zur Verfügung gestellt wurden.

Die Meßfrequenzen des Geodimeters wurden vor, während und nach der Kampagne mit dem portablen 50 MHz-Universal-Zähler General Radio Typ 1192-9720 der Schweizerischen Geodätischen Kommission überprüft. Übereinstimmend mit den Messungen von 1970 wurde dabei gefunden, daß die drei Frequenzen  $U_1$ ,  $U_2$ ,  $U_3$  im Mittel um etwa 15 Hz oder  $0.5 \cdot 10^{-6}$  zu tief lagen. Diese Abweichung wurde dann bei der Reduktion der gemessenen Distanzen berücksichtigt.

Das übrige Instrumentarium für die verschiedenen Equipen, wie Theodolite DKM2-A Kern, Aneroid-Barometer Thommen, Psychrometer Lambrecht oder Haenni, wurde aus Beständen des Instituts für Geodäsie und Photogrammetrie zusammengestellt. Wie üblich wurden die meteorologischen Geräte vor und nach der Kampagne verglichen, die Barometer wenn immer möglich auch zwischenhinein."

#### 5.55 Auswertung der Messungen und Zusammenfassung

Die Auswertung der Messungen erfolgte, wie in den vorhergehenden Kapiteln beschrieben. Die Messungen mit den verschiedenen Instrumenten wurden jeweils in getrennten Tabellen 1 und 2, unabhängig vom Jahr der Messung, ausgewiesen. Während die Tellurometermessungen alle im gleichen Jahr (1963) stattfanden, wurden die Distomat- und Geodimetermessungen in verschiedenen Jahren durchgeführt. In den Tabellen für die Distomatmessungen sind die ersten 5 Messungen im Jahr 1963 durchgeführt worden, die letzte Messung im Jahr 1969. Bei den Geodimetermessungen erfolgten die beiden ersten im Jahr 1969, die nächsten vier Messungen fanden 1970 statt und alle folgenden im Jahr 1971.

NR	I-K	DAT	ZEIT	HI	HK	INI	INK	LZO	PI	TTI	TFI	PK	TTK	TFK	SW	FV	EX	AZ
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
1	1-5	8.10.	9.10	2501.52	1099.54	0.24	1.40	154506.660	755.2	-3.0	-0.9	897.7	5.9	5.0	3.5	0.300	-239.478	37
2	1-5	8.10.	10.10	2501.52	1099.54	0.24	1.40	154507.450	755.4	-2.5	-0.6	898.2	6.5	5.3	2.0	0.000	-239.478	37
3	1-2	16.10.	11.00	2501.52	1061.59	0.24	0.25	291940.120	757.5	5.0	0.0	900.4	8.9	5.5	4.0	0.000	0.000	47
4	2-5	16.10.	14.55	1061.77	1118.92	0.23	1.62	144093.100	899.4	12.1	7.7	894.9	12.2	10.0	2.5	0.290	4.784	238

Tabelle 1, SGK Tellurometer MRA 1, 1963

NR	I-K	SN	R	NH	SSEX	K1	SREX	EX	SR	K2	SS
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	1-5	154506.960	6377	264.54	23153.886	-48.928	23104.958	-239.478	22865.480	48.232	22913.712
2	1-5	154507.450	6377	264.54	23153.959	-48.928	23105.031	-239.478	22865.553	48.232	22913.785
3	1-2	291940.120	6381	254.10	43749.606	-35.828	43713.778	0.000	43713.778	35.822	43749.600
4	2-5	144093.390	6384	286.87	21592.862	-3.760	21589.102	4.784	21593.886	3.753	21597.639

Tabelle 2, SGK Tellurometer MRA 1, 1963

NR	I-K	DAT	ZEIT	HI	HK	INI	INK	SN	PI	TTI	TFI	PK	TTK	TFK	SW	FV	EX	AZ
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
1	1-5	8.10.	9.15	2501.52	1099.54	0.29	1.41	23152.567	755.0	-4.2	-2.4	896.6	4.3	4.1	22.0	0.000	-239.478	37
2	1-2	16.10.	10.05	2501.52	1060.45	0.28	0.24	43746.747	757.4	4.7	-0.3	900.5	8.0	5.3	32.0	0.000	0.000	47
3	1-2	16.10.	10.25	2501.52	1060.45	0.28	0.24	43746.744	757.4	4.9	-0.2	900.6	8.4	5.5	31.0	0.000	0.000	47
4	2-5	16.10.	14.25	1061.77	1118.92	0.24	1.63	21592.118	894.9	12.2	10.0	899.7	13.2	8.4	15.0	0.000	4.784	238
5	2-5	16.10.	15.35	1061.77	1118.92	0.24	1.63	21592.219	894.6	12.0	9.4	899.2	12.9	8.7	12.0	0.000	4.784	238
6	1-5	23.10.	11.30	2500.37	1099.54	1.66	1.60	23153.882	757.1	5.2	2.6	897.5	14.4	11.7	15.0	0.000	-240.795	37

Tabelle 1, SGK DISTOMAT, 1963/69

NR	I-K	LZ	R	NH	SSEX	K1	SREX	EX	SR	K2	SS
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	1-5	23152.567	6377	264.48	23153.849	-48.931	23104.918	-239.478	22865.440	48.232	22913.673
2	1-2	43746.747	6381	255.03	43749.583	-35.864	43713.719	0.000	43713.719	35.822	43749.541
3	1-2	43746.744	6381	254.73	43749.593	-35.864	43713.729	0.000	43713.729	35.822	43749.551
4	2-5	21592.118	6384	286.92	21592.829	-3.760	21589.069	4.784	21593.853	3.753	21597.606
5	2-5	21592.219	6384	286.82	21592.933	-3.760	21589.173	4.784	21593.957	3.753	21597.710
6	1-5	23153.882	6377	267.32	23155.098	-48.931	23106.167	-240.795	22865.372	48.232	22913.604

Tabelle 2, SGK DISTOMAT, 1963/69

NR	I-K	DAT	ZEIT	HI	HK	INI	INK	S00	PI	TTI	TFI	PK	TTK	TFK	FV	EX	KONST	AZ
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
1	1-5	23.10.	11.30	2501.52	1099.54	0.31	1.53	23152.106	757.1	5.3	2.7	897.5	14.4	11.8	0.000	-239.478	0.209	37
2	1-5	23.10.	11.50	2501.52	1099.54	0.31	1.53	23152.097	756.9	5.4	2.7	897.4	14.9	11.5	0.000	-239.478	0.209	37
3	5-6	11. 6.	11.25	1099.54	475.35	1.50	0.32	8914.672	894.3	14.8	13.8	963.1	20.5	17.8	0.004	230.084	0.186	150
4	5-6	11. 6.	11.40	1099.54	475.35	1.59	0.32	8914.671	894.3	14.9	14.0	963.0	20.7	17.7	0.004	230.084	0.186	150
5	6-7	11. 6.	14.55	475.35	412.02	0.32	1.89	7253.763	961.3	21.6	17.3	968.7	24.3	18.1	0.004	0.000	0.186	35
6	6-7	11. 6.	14.05	475.35	412.02	0.32	1.89	7253.766	961.3	21.1	16.9	968.5	24.0	18.3	0.004	0.000	0.186	35
7	2-5	17. 9.	10.05	1058.81	1099.54	1.75	1.50	21245.680	904.0	6.4	3.4	900.3	5.6	2.3	0.011	350.903	0.186	238
8	2-5	17. 9.	10.45	1058.81	1099.54	1.75	1.50	21245.674	903.8	7.1	3.8	900.1	5.6	2.8	0.011	350.903	0.186	238
9	2-5	17. 9.	11.10	1058.81	1099.54	1.75	1.50	21245.678	903.3	6.1	3.6	900.1	5.8	2.7	0.011	350.903	0.186	238
10	5-6	17. 9.	14.45	1099.54	475.35	1.50	0.43	8914.736	899.2	7.5	4.0	969.1	12.6	7.2	0.004	230.084	0.186	150
11	5-6	17. 9.	15.10	1099.54	475.35	1.50	0.43	8914.744	899.3	6.9	3.7	969.3	12.4	6.8	0.004	230.084	0.186	150
12	1-5	20. 9.	12.05	2501.52	1099.54	0.30	1.46	23152.077	761.1	6.3	1.2	899.4	15.1	11.3	0.012	-239.478	0.186	37
13	1-5	20. 9.	12.20	2501.52	1099.54	0.30	1.46	23152.045	761.1	6.2	0.9	899.4	15.0	11.1	0.012	-239.478	0.186	37
14	1-5	20. 9.	12.35	2501.52	1099.54	0.30	1.46	23152.076	761.3	6.2	0.9	899.4	14.4	10.5	0.012	-239.478	0.186	37
15	1-2	20. 9.	15.40	2501.52	1058.81	0.30	1.77	43745.316	761.0	7.0	5.0	903.5	16.6	11.6	0.022	1.607	0.186	47
16	1-2	20. 9.	15.55	2501.52	1058.81	0.30	1.77	43745.315	761.0	6.9	5.1	903.6	16.7	11.9	0.022	1.607	0.186	47
17	1-2	21. 9.	9.15	2501.52	1058.81	0.30	1.72	43745.292	761.9	9.8	2.0	905.2	14.4	10.8	0.022	1.607	0.186	47
18	1-2	21. 9.	9.25	2501.52	1058.81	0.30	1.72	43745.289	762.0	9.7	2.0	905.2	14.7	11.0	0.022	1.607	0.186	47
19	6-7	27.10.	15.30	475.35	412.02	0.30	1.81	7253.895	974.1	7.4	5.9	981.6	8.3	6.7	0.004	0.000	0.186	35
20	6-7	27.10.	15.45	475.35	412.02	0.30	1.81	7253.902	974.1	7.3	5.8	981.6	8.1	6.6	0.004	0.000	0.186	35

Tabelle 1 SGK Geodimeter 8 1969, 70, 71

NR	I-K	SN	R	NH	SSEX	K1	SREX	EX	SR	K2	SS
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	1-5	23152.106	6377	235.73	23154.000	-48.924	23105.076	-239.478	22865.598	48.232	22913.830
2	1-5	23152.097	6377	235.45	23153.997	-48.924	23105.073	-239.478	22865.595	48.232	22913.827
3	5-6	8914.676	6375	257.71	8915.315	-23.066	8892.249	230.084	9122.333	23.806	9146.139
4	5-6	8914.675	6375	257.56	8915.315	-23.066	8892.249	230.084	9122.333	23.806	9146.139
5	6-7	7253.767	6377	263.15	7254.282	-0.768	7253.514	0.000	7253.514	0.770	7254.284
6	6-7	7253.770	6377	263.47	7254.283	-0.768	7253.514	0.000	7253.514	0.770	7254.284
7	2-5	21245.691	6384	261.48	21246.876	-3.625	21243.251	350.903	21594.154	3.753	21597.910
8	2-5	21245.685	6384	261.08	21246.879	-3.625	21243.253	350.903	21594.156	3.753	21597.910
9	2-5	21245.689	6384	261.38	21246.876	-3.625	21243.251	350.903	21594.154	3.753	21597.907
10	5-6	8914.740	6375	266.60	8915.300	-23.052	8892.248	230.084	9122.332	23.806	9146.138
11	5-6	8914.748	6375	267.02	8915.304	-23.052	8892.248	230.084	9122.336	23.806	9146.142
12	1-5	23152.089	6377	235.95	23153.995	-48.928	23105.027	-239.478	22865.549	48.232	22913.781
13	1-5	23152.057	6377	236.04	23153.921	-48.928	23104.993	-239.478	22865.515	48.232	22913.747
14	1-5	23152.088	6377	236.34	23153.945	-48.928	23105.017	-239.478	22865.539	48.232	22913.771
15	1-2	43745.338	6381	235.83	43748.703	-35.865	43712.838	1.607	43714.445	35.822	43750.267
16	1-2	43745.337	6381	235.83	43748.702	-35.865	43712.837	1.607	43714.444	35.822	43750.266
17	1-2	43745.314	6381	236.10	43748.667	-35.867	43712.800	1.607	43714.407	35.822	43750.229
18	1-2	43745.311	6381	236.02	43748.668	-35.867	43712.801	1.607	43714.408	35.822	43750.230
19	6-7	7253.899	6377	281.32	7254.282	-0.769	7253.513	0.000	7253.513	0.770	7254.293
20	6-7	7253.906	6377	281.47	7254.288	-0.769	7253.519	0.000	7253.519	0.770	7254.289

Tabelle 2 SGK Geodimeter 8 1969, 70, 71

## 6. Ballonsondenaufstiege

Die Erfahrungen zeigen, daß die Bestimmung der meteorologischen Daten im Gebirge besondere Schwierigkeiten bereitet. Deshalb war der Vorschlag von Herrn Professor KOBOLD, die meteorologischen Daten in den Zwischenpunkten der Visuren durch einen schweizerischen Ballontrupp zu messen, sehr interessant.

Bei der Verwirklichung dieses Plans traten jedoch Schwierigkeiten auf, so daß die Messungen nicht wie vorgesehen schon im Juni, sondern erst im Herbst durchgeführt werden konnten. Ferner konnte nur eine sehr beschränkte Anzahl von Sondenaufstiegen erfolgen, weil das Eidgenössische Luftamt gemäß internationaler Vorschriften den Raum für Sondenaufstiege zuerst gar nicht, und dann eben nur mit sehr eingegengtem Programm freigeben wollte, weil das untere Rheintal im internationalen Flugverkehr stark beflogen wird.

Das bewilligte Programm bestand darin, daß für jede der zu beobachtenden Strecken während ein bis zwei Tagen eine Fesselballonstation erlaubt wurde. Auf Grund dieser Bewilligung hat Herr Professor KOBOLD nach Rücksprache mit Meteorologen die in der Abb. 2.1 eingetragenen Stationen vorgesehen. Nach Auskunft der dortigen Meteorologen und Klimatologen sollten die vorgesehenen Ballonaufstiege genügen, um zusammen mit den Messungen auf den Bodenstationen den Luftzustand einwandfrei ermitteln zu können.

Neben den Sondenmessungen wurden die meteorologischen Daten noch ständig auf den Punkten Säntis und Pfänder gemessen und natürlich an den jeweiligen Endpunkten der Strecken.

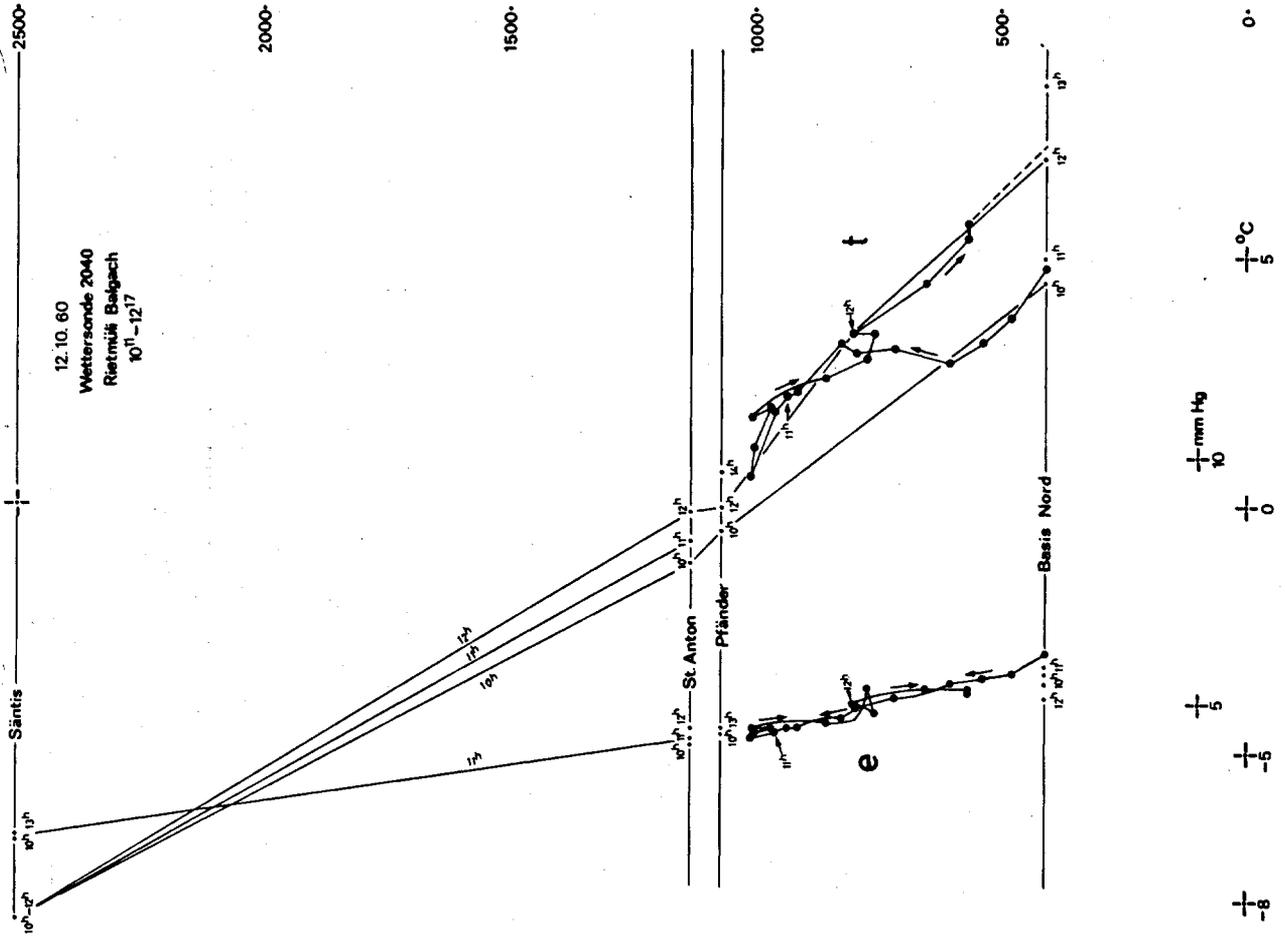
In den folgenden Tabellen 6.1 sind die Messungen der Sonden, mit zusätzlichen Angaben von Interesse, angegeben. Die zugehörigen graphischen Darstellungen Abb. 6.1 zeigen wieder diese Meßwerte sowie zusätzlich die Messungen an den beiden Endpunkten der Strecke und die Ergebnisse der beiden "ständigen" Stationen Säntis und Pfänder.

Bei den Messungen wurde die Radiosonde THOMMEN/HASLER J-R 3 eingesetzt, die durch folgende Zahlen charakterisiert wird (DÜRST, 1961):

	Bereich	Toleranzen
Druck	1100 mb - 50 mb	besser als $\pm 3$ mb
Temperatur	$-60^{\circ}\text{C}$ - $+40^{\circ}\text{C}$	besser als $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$
Rel. Feuchte	5% - 100%	besser als $\pm 10\%$

Die Meßperiode betrug 30 Sekunden. Alle Sonden waren sehr gut geeicht.

Als Peilempfänger wurde der Radiotheodolit HASLER M 58 eingesetzt. Die Aufzeichnung der von der Sonde übermittelten Impulse erfolgte mit dem Sondenschreiber HASLER H 95. Als Ballone wurden vorgekochte Neoprene-Ballone, 300 g, verwendet, wobei der abgefüllte Wasserstoff so dosiert wurde, daß, je nach Wetterlage, Wind und voraussichtlich benötigter Nylonleine 1 - 1,5 kg freier Auftrieb garantiert war.



Sondenaufstiegsort: Rietmüllig, Balgach, 407 m ü.M. 12. Oktober 60

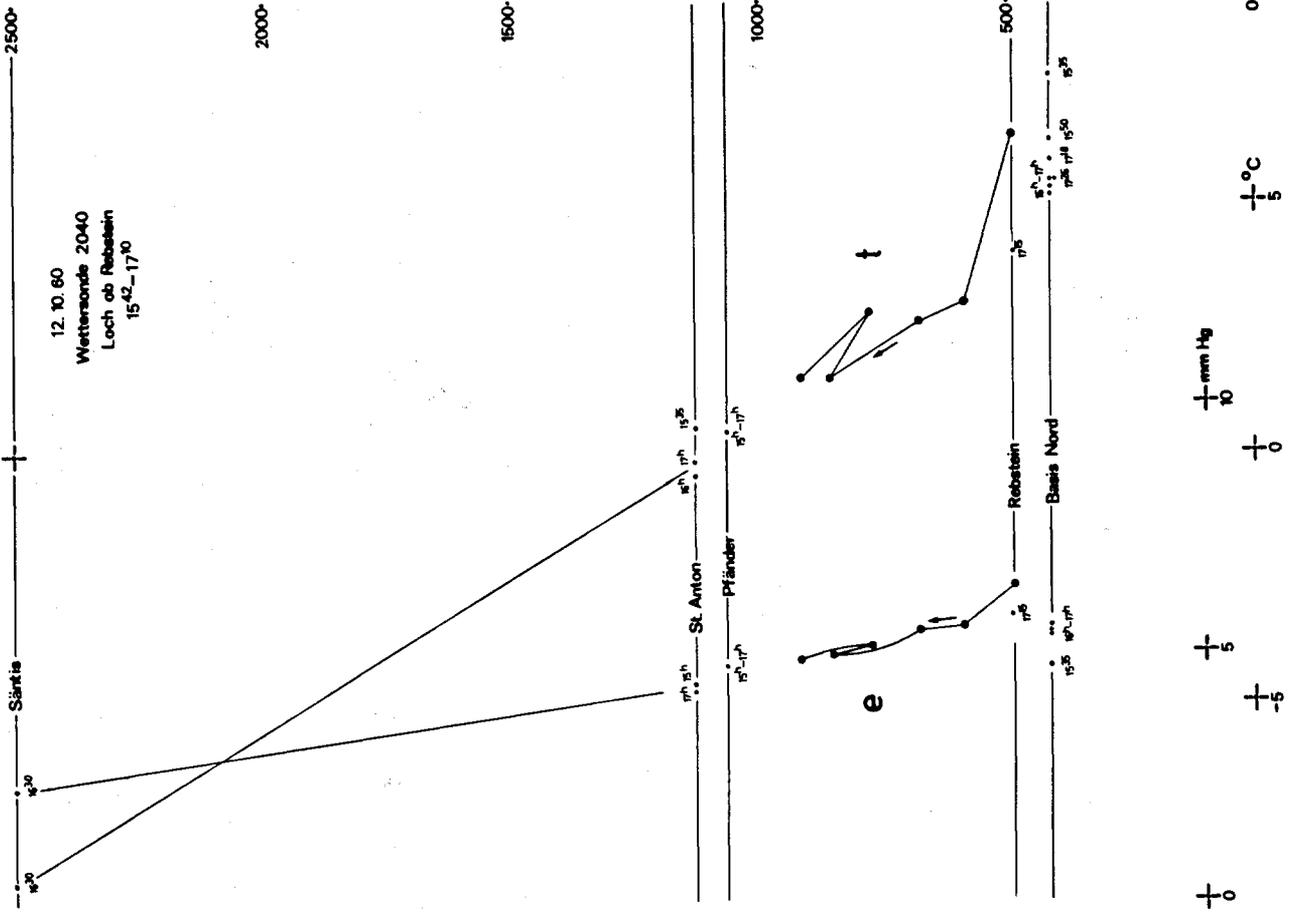
Zeit	Höhe in Metern		Druck		Temp		Rel.F.		e	Anzahl Messw.
	ü.Grund	ü.Meer	mbar	mm Hg	°C	%	mm Hg			
1011	1	408	966	724,6	4,8	92	6,0	7		
21	71	478	958	715,6	3,8	92,5	5,6	7		
27	129	536	951	713,3	3,3	93,5	5,5	8		
33	197	604	943	707,3	2,9	96	5,4	8		
40	309	716	930	697,6	3,2	89,5	5,1	6		
46	387	794	921	690,8	3,1	86,5	4,9	7		
52	418	825	918	688,6	3,3	82	4,7	7		
56	507	914	908	681,1	2,3	85	4,5	6		
1102	528	935	905	678,8	2,2	83	4,5	9		
07	553	960	903	677,3	1,9	85	4,4	6		
13	602	1009	896	672,1	0,6	89,5	4,3	7		
19	594	1001	899	674,3	1,2	89	4,4	7		
26	560	967	902	676,6	2,0	86,5	4,5	7		
32	599	1006	898	673,6	1,8	86,5	4,5	6		
37	448	855	914	685,6	2,6	84,5	4,6	6		
44	364	771	924	693,1	3,0	93	5,3	6		
50	349	756	926	694,6	3,5	82,5	4,8	5		
57	395	802	920	690,1	3,5	86	5,0	6		
1205	245	652	938	703,6	4,5	83,5	5,3	4		
11	160	567	948	711,1	5,4	78	5,3	8		
17	160	567	948	711,1	5,7	75	5,2	5		

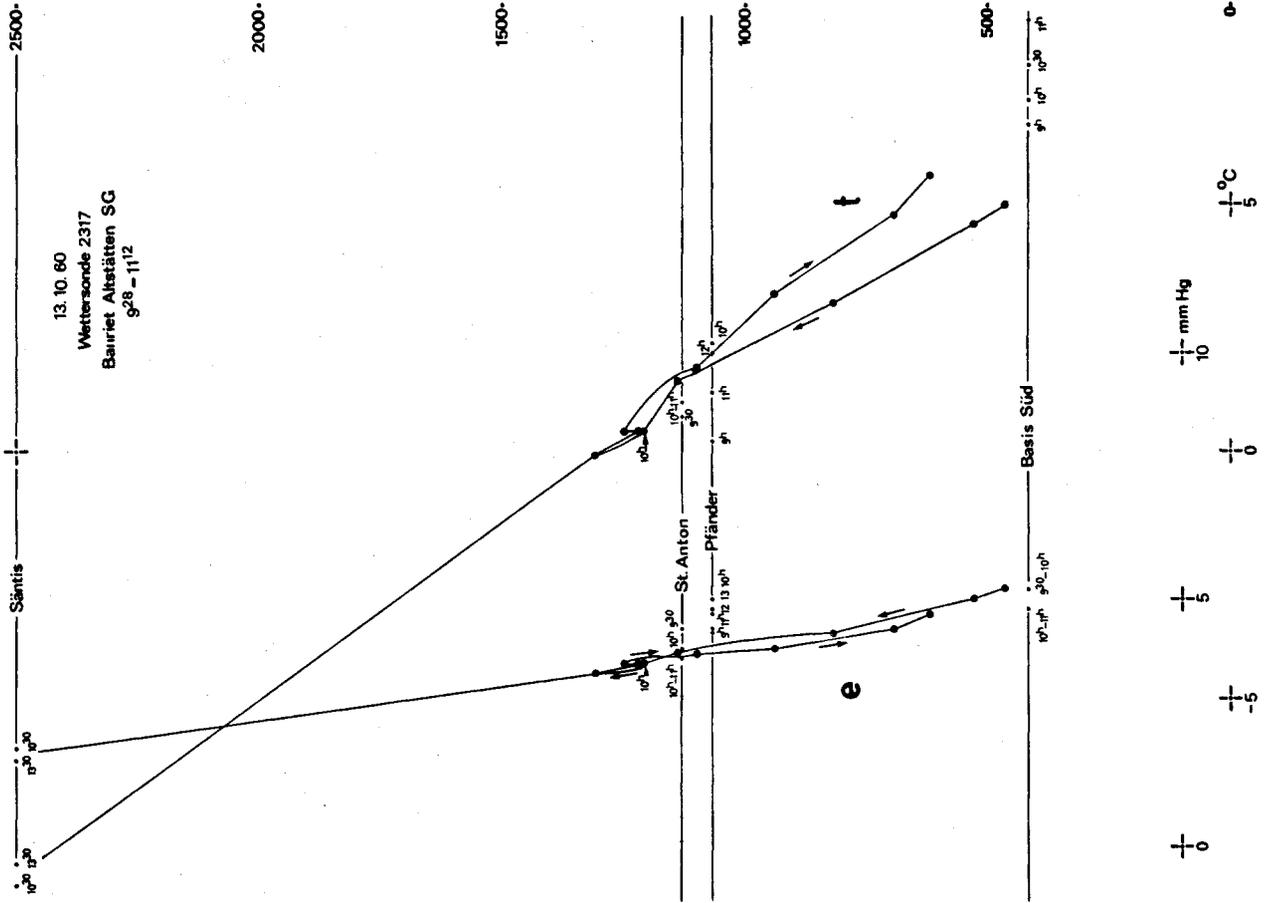
Tabelle 6.1

Sondenaufstiegsort: Loch, NW Rebstein, 490 m ü.M. 12. Oktober 60.

Zeit	Höhe in Metern		Druck mm Hg	Temp °C	Rel.F. %	e mm Hg	Anzahl Meißw.
	ü.Grund	ü.Meer					
1542	1	490	954	715,6	6,3	-	7
1610	100	590	942	706,6	3,0	96	5,5
24	192	680	931	698,3	2,6	96,5	5,4
38	373	860	911	683,3	1,5	96	4,9
54	290	780	920	690,1	2,8	92	5,1
1710	426	920	905	678,8	1,5	94	4,8

Tabelle 6.1





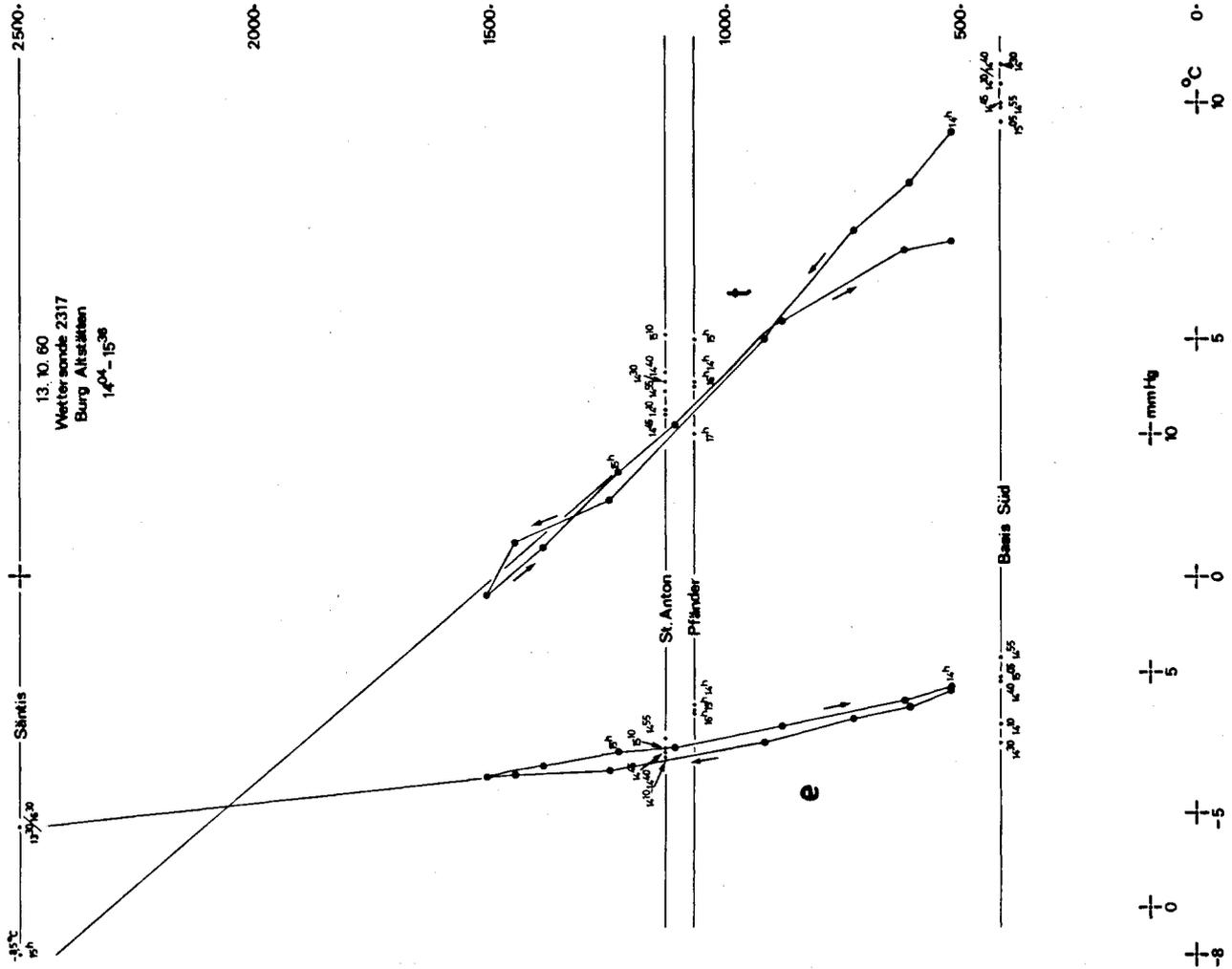
Sondenaufstiegsort: Banriet, Altstätten, 416 m ü.M. 13. Oktober 60

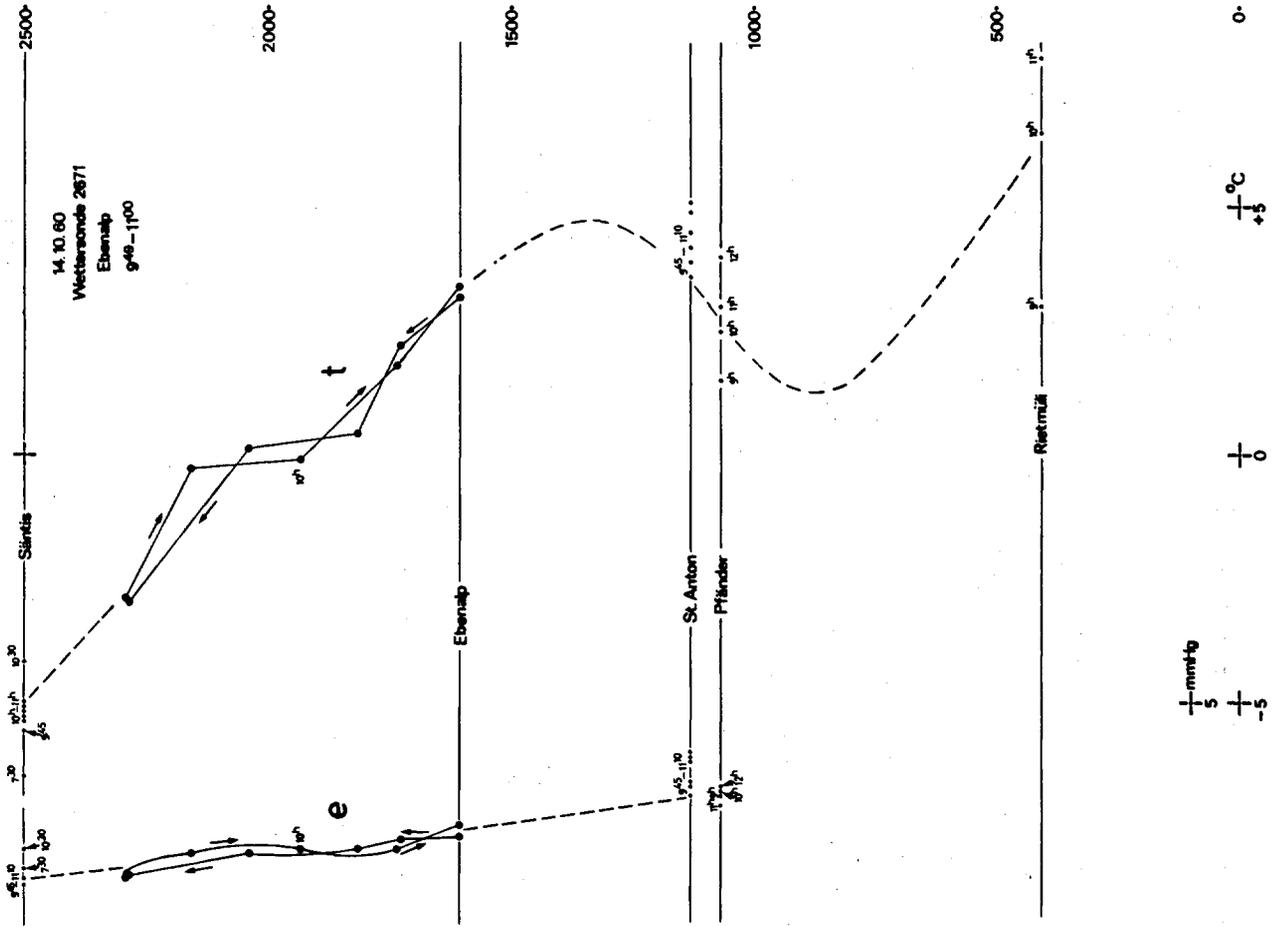
Zeit	Höhe in Metern		Druck		Temp		Rel.F. %	e mm Hg	Anzahl Messw.
	ü.Grund	ü.Meer	mbar	mm Hg	°C	mm Hg			
0928	50	465	968	726,1	5,0	80	5,2	6	
36	114	530	961	720,8	4,6	80	5,0	5	
44	400	820	928	696,1	3,0	76	4,3	5	
53	725	1140	892	669,1	1,4	77	3,9	8	
1000	791	1210	884	663,1	0,4	78	3,7	8	
06	897	1310	873	654,8	-0,1	78	3,5	7	
20	802	1220	884	663,1	0,4	79	3,7	7	
26	831	1250	880	660,1	0,4	80	3,7	7	
36	682	1100	897	672,8	1,7	76	3,9	7	
54	523	940	914	685,6	3,2	70	4,0	8	
1106	279	695	924	706,6	4,8	69	4,4	6	
12	202	620	950	712,6	5,6	69	4,7	7	

Sondenaufstiegsort: Burg, Altstätten 520 m ü.M. 13. Oktober 60

Zeit	Höhe in Metern		Druck mbar	Temp °C	Rel.F. %	e mm Hg Messw.	Anzahl	
	ü.Grund	ü.Meer						
1404	1	521	955	716,3	9,4	52	4,6	6
11	92	610	945	708,8	8,3	52	4,25	5
18	209	730	931	698,3	7,3	52	4,0	6
24	403	920	910	682,6	5,0	54	3,5	6
30	729	1250	874	655,6	1,6	57,5	2,9	6
38	926	1450	853	639,8	0,7	58,5	2,8	7
44	991	1510	846	634,6	-0,4	61,5	2,75	6
52	866	1390	859	644,3	0,6	63,5	3,0	8
1502	710	1230	876	657,1	2,2	62	3,3	8
11	589	1110	888	666,1	3,2	59	3,4	6
20	363	880	913	684,8	5,4	58	3,85	8
29	95	620	943	707,3	6,9	59	4,4	8
36	1	521	953	714,8	7,1	62	4,7	8

Tabelle 6.1





Sondenaufstiegsort: bei Seilbahnsta. Ebenalp, 1605 m ü.M. 14. Okt. 60

Zeit	Höhe in Metern		Druck		Temp °C	Rel.F. %	e mm Hg	Anzahl Messw.
	ü. Grund	ü. Meer	mbar	mm Hg				
0949	1	1606	835	626,3	3,2	40	2,2 <sup>5</sup>	7
54	123	1728	823	617,3	2,2	40	2,2	8
1000	210	1815	814	610,6	0,4	42	2,0	6
08	434	2039	792	594,1	0,1	42	1,9	7
17	680	2285	768	576,0	-3,0	40	1,4 <sup>5</sup>	7
23	688	2293	768	576,0	-2,9	38	1,4	8
37	551	2156	780	585,0	-0,3	44	1,9	7
45	327	1932	803	602,3	-0,1	44	2,0	8
52	130	1735	822	616,6	1,8	39	2,0	7
1100	1	1606	835	626,3	3,4	42	2,5	7

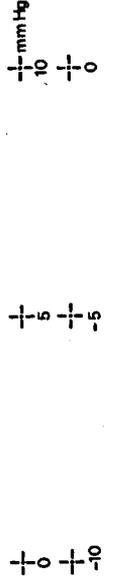
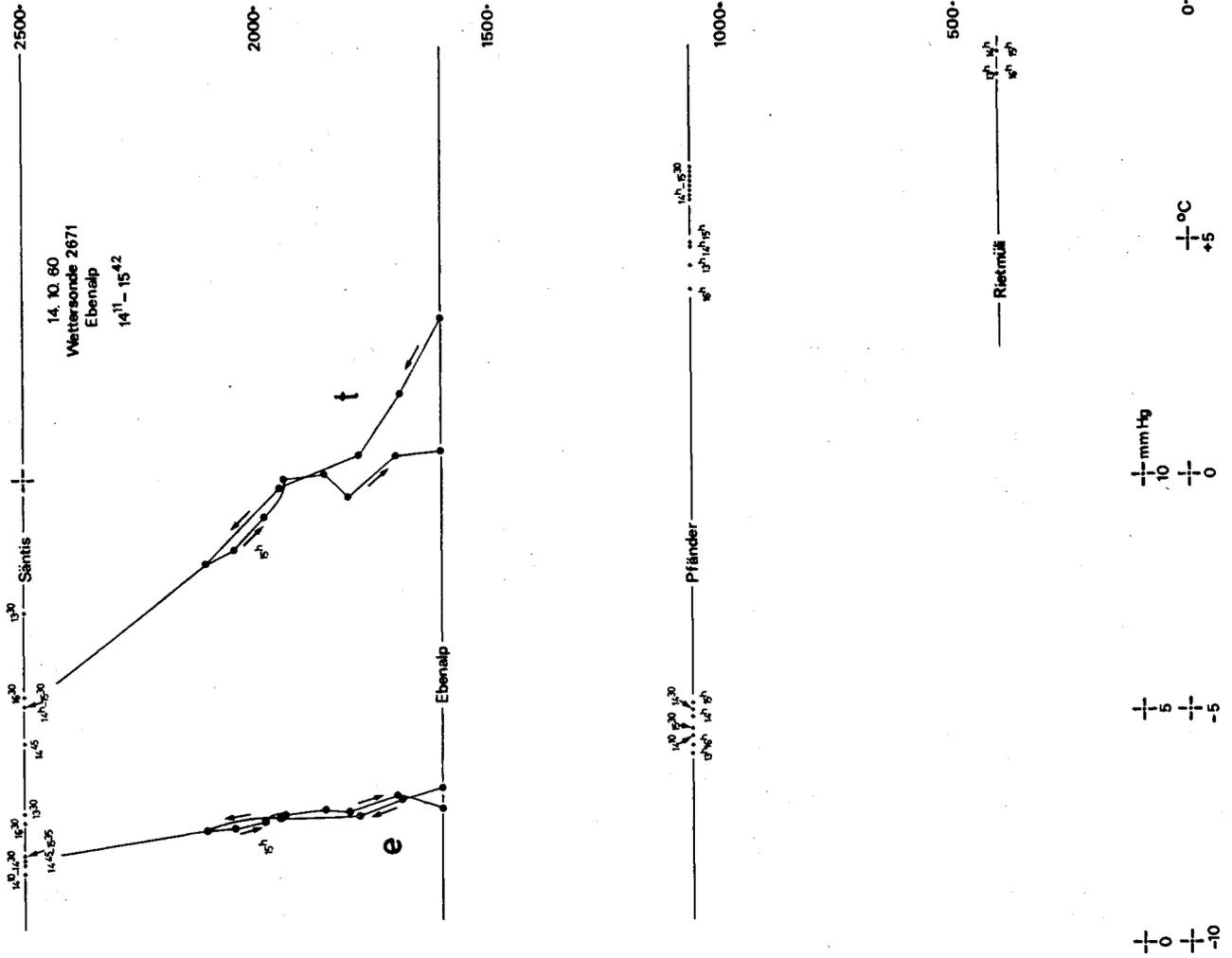
Tabelle 6.1

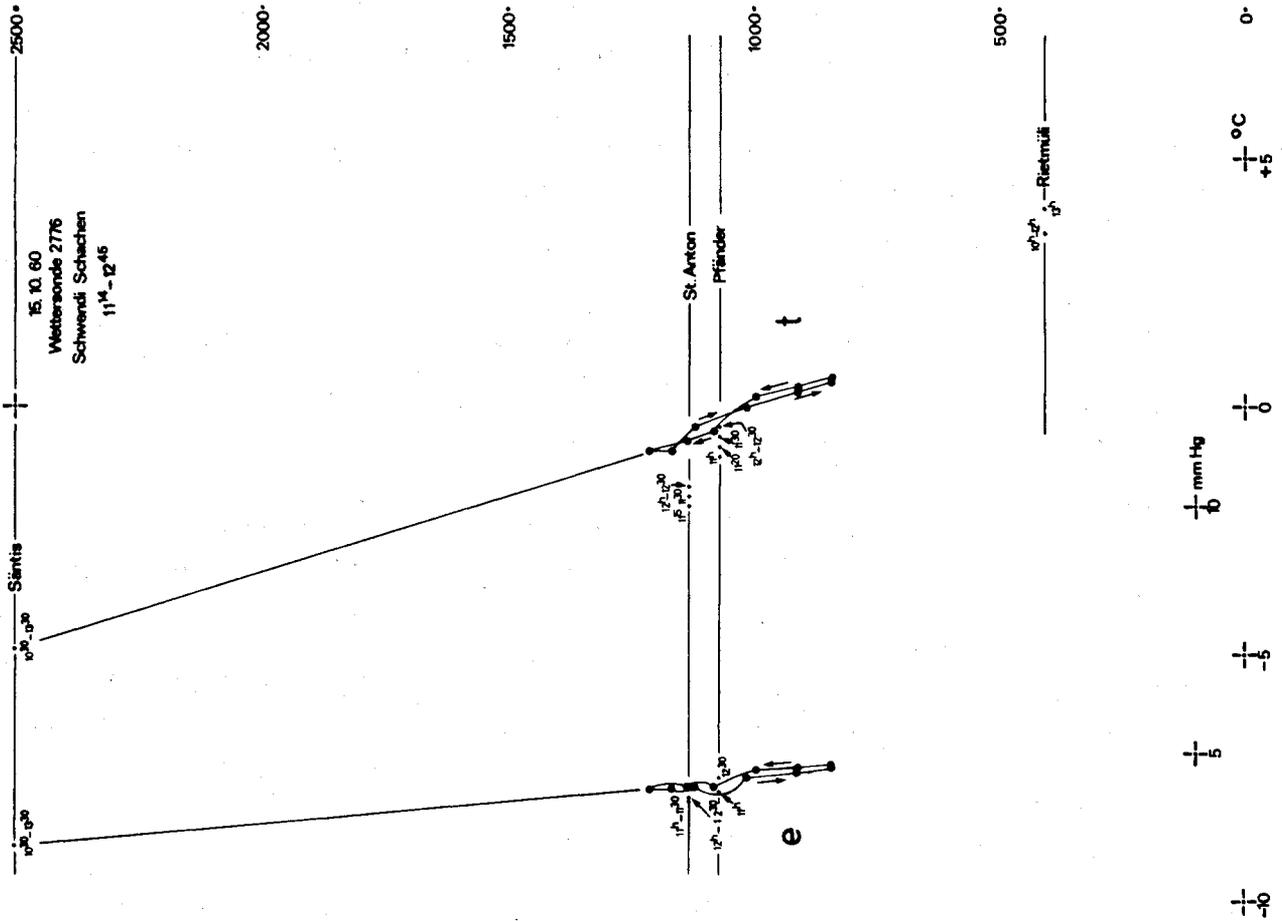
+0 +10  
+ mmHg  
5  
-5  
+0 +5  
°C  
0

Sondenaufstiegsort: bei Seilbahnsta. Ebenalp, 1605 m ü.M. 14. Okt. 60

Zeit	Höhe in Metern		Druck		Temp °C	Rel.F. %	e mm Hg	Anzahl Messw.
	ü.Grund	ü.Meer	mbar	mm Hg				
1411	1	1606	834	625,6	3,4	59	3,4	10
19	89	1694	825	618,8	1,8	60	3,15	9
25	178	1783	816	612,1	0,5	60	2,8	7
35	348	1953	800	600,1	-0,2	61	2,75	9
41	506	2111	784	588,0	-1,8	62	2,5	7
47	445	2050	791	593,3	-1,5	62	2,55	9
58	380	1985	798	598,0	-0,8	63	2,7	7
1507	337	1942	803	602,3	0,0	63	2,85	9
14	250	1855	811	608,3	0,1	64	2,95	8
20	200	1805	816	612,1	-0,4	65	2,9	8
29	97	1702	828	621,1	0,5	69	3,25	6
42	1	1606	837	627,8	0,6	62	2,95	7

Tabelle 6.1





Sondenaufstiegsort: Schwendi b/Schachen, 840 m ü.M. 15.Oktober 60

Zeit	Höhe in Metern		Druck		Temp °C	Rel.F. %	e	Anzahl
	ü.Grund	ü.Meer	mbar	mm Hg				
1114	1	841	912 <sup>5</sup>	684,4	0,6	100	4,75	9
25	70	910	905	678,8	0,4	100	4,7	6
34	154	994	894	670,6	0,2	100	4,65	5
41	239	1079	885	663,8	-0,5	100	4,3	5
50	295	1135	879	659,3	-0,7	100	4,3	7
59	371	1211	871	653,3	-0,9	100	4,25	5
1208	324	1164	876	657,1	-0,9	100	4,25	6
17	277	1117	881 <sup>5</sup>	661,2	-0,4	100	4,3	6
26	172	1012	893	669,8	0,0	100	4,5	7
35	70	910	904	678,1	0,3	100	4,6	6
45	1	841	913	684,8	0,5	100	4,7	5

Tabelle 6.1

Auf Grund der angegebenen Toleranzen kann man die möglichen maximalen Fehler der Brechzahlen abschätzen.

Die Beziehung zwischen dem Partialdruck des Wasserdampfes  $e$  und der relativen Feuchtigkeit  $R$  wird ausgedrückt durch die Gleichung

$$e = \frac{R \cdot E''}{100}, \quad 6.1$$

wobei  $E''$  der Sättigungsdampfdruck bei der Temperatur des trockenen Thermometers ist. Für  $dR = 10\%$  folgt

$$de = \frac{E''}{10}.$$

Setzt man  $E'' = 9$  mmHg, das entspricht einer trockenen Temperatur von etwa  $10^\circ\text{C}$ , so resultiert daraus ein Fehler des Partialdrucks des Wasserdampfes von

$$de = 0,9 \text{ mmHg}.$$

Bei Temperaturen um  $0^\circ\text{C}$  geht der Fehler etwa auf die Hälfte zurück, bei  $20^\circ\text{C}$  verdoppelt er sich. Bekanntlich verursacht aber schon ein Fehler von  $de = 0,17$  mmHg einen Fehler des Brechungsindex von  $1 \cdot 10^{-6}$ , so daß im günstigsten angenommenen Fall,  $t = 0^\circ\text{C}$ , für den Brechungsindex noch ein maximaler Fehler von fast  $3 \cdot 10^{-6}$  möglich ist.

Der Partialdruck des Wasserdampfes wird zusätzlich verfälscht, weil zu seiner Berechnung, entsprechend 6.1, auch der Sättigungsdruck bei der Temperatur des trockenen Thermometers  $E''$  nötig ist. Hier geht aber der Fehler der trockenen Temperatur ein, der mit maximal  $0,5^\circ\text{C}$  veranschlagt sei. Mit  $R = 70\%$  und  $t = 10^\circ\text{C}$  erhält man

$$de = 0,2 \text{ mmHg}.$$

Bei hohen Temperaturen und hoher Luftfeuchtigkeit kann sich der Fehler verdoppeln, bei niedrigen Temperaturen und geringer Luftfeuchtigkeit geht er etwa auf den vierten Teil zurück.

Im ungünstigen Fall addieren sich die Fehlereinflüsse der Luftfeuchtigkeit und der Temperatur und verursachen bei  $t = 10^\circ\text{C}$  und  $R = 70\%$  einen Gesamtfehler von

$$de = 0,9 \text{ mmHg} + 0,2 \text{ mmHg} = 1,1 \text{ mmHg}.$$

Bei den Fehlerangaben handelt es sich immer um theoretisch mögliche Extremwerte für  $de$ , die aber, wie die folgenden Rechnungen zeigen, auch nicht annähernd erreicht wurden.

Schließlich ist noch der Fehlereinfluß des Luftdrucks auf den Brechungsindex zu beachten, der bei der angegebenen Toleranz kleiner als  $1 \cdot 10^{-6}$  sein müßte.

## 6.1 Auswertung der Sondenmessungen

Der von SIGL/ZÜLSDORF (1961) unternommene Versuch, mit Hilfe der Sondenmessungen einen besseren Wert für den Brechungsindex abzuleiten, schlug fehl. Folgender Absatz ist wieder weitgehend der genannten Arbeit entnommen:

"Bei den Herbstmessungen 1960 wurden die meteorologischen Daten außer in den Streckenendpunkten noch in Zwischenpunkten der Profile mit Hilfe von Ballonsonden ermittelt. Sinn und Zweck der Sondaufstiege war, Aufschlüsse über den Verlauf der meteorologischen Daten in Höhe der Visur zu erhalten und zu prüfen, inwieweit diese Daten aus den üblichen meteorologischen Messungen in den Streckenendpunkten abgeleitet werden können.

Die mit Hilfe der Ballonaufstiege gemessenen meteorologischen Daten wurden eingehend untersucht. Der Versuch, daraus die Gradienten von Temperatur, Luftdruck und Feuchtigkeitsgehalt der Luft abzuleiten und daraus für die in den Streckenendpunkten gemessenen Daten Verbesserungen zu gewinnen, scheiterte. Auch die während der Tellurometermessungen auf den Stationen St. Anton, Pfänder und Säntis zusätzlich registrierten meteorologischen Daten scheinen nicht geeignet, über die zum Zeitpunkt der Messung der einzelnen Seiten herrschenden meteorologischen Verhältnisse Aufschluß zu geben und danach die in den Endpunkten gemessenen Daten zu verbessern. Es wurde deshalb lediglich versucht, die in den Streckenendpunkten gemessenen meteorologischen Daten durch eine Gegenüberstellung mit den Ergebnissen der Ballonaufstiege summarisch zu überprüfen. Der Vergleich ist in den Tabellen 6.2 und 6.4 besorgt: Den aus den Sondaufstiegen abgeleiteten Daten sind die aus den Messungen in den Streckenendpunkten für die Zwischenpunkte interpolierten Werte gegenübergestellt. Überraschend ist, daß die Werte für den Dampfdruck gut übereinstimmen. Die Differenzen betragen durchschnittlich weniger als 0,2 mmHg. Größere Streuungen ergeben sich in Temperatur und Luftdruck, die durchschnittlichen Differenzen liegen bei 0,8°C bzw. 2,1 mmHg.\*"

Die Interpolation erfolgte bei den Temperaturen und beim Dampfdruck linear, beim Luftdruck und der Brechzahl exponentiell.

Die auf den ersten Blick überraschend gute Übereinstimmung beim Partialdruck des Wasserdampfes dürfte vor allem auf zwei Gründe zurückzuführen sein. Einmal ist sein Gradient ziemlich klein. Wie ROBITZSCH zeigte, gilt unter gewissen Voraussetzungen

$$\frac{de}{dH} = 20 \frac{e_0}{T_0} \frac{dt}{dH} .$$

Setzt man im vorliegenden Fall genähert:  $e_0 = 5$  mmHg und  $T_0 = 273$  K, so gilt:

$$\frac{de}{dH} \approx 0,37 \frac{dt}{dH} .$$

Sein Gradient beträgt also nur etwa ein Drittel des Temperaturgradienten und somit ist auch der Interpolationsfehler kleiner.

Zum anderen sind diese Differenzen aber natürlich auch eine Folge von Meßfehlern, und hier ist folgendes bemerkenswert.

Betrachtet man die Messungen der Sonden als fehlerfrei, so sind die interpolierten Temperaturen um (absolut) 0,8°C falsch, während die interpolierten Partialdrücke des Wasserdampfes nur um (absolut) 0,16 mmHg falsch sind. Berücksichtigt man die Messungen der Sonde Banriet, Altstätten nicht, siehe unten, so verschiebt sich das Verhältnis noch mehr zu Gunsten des Wasserdampfes. Diese Fehler des Wasserdampfes lassen sich allein schon durch zufällige Meßfehler erklären.

\* Die Ergebnisse der Sondaufstiege wurden von der Schweizerischen Geodätischen Kommission zur Verfügung gestellt.

Seite: St. Anton - Basis Nord						
Profilpunkte	Station		St. Anton	Loch	Rietmüll	BN
	Höhe[m]		1121	860	590	416
	Entfernung [m]		0	3120	6480	8732
1. Messung 12.10.60 10 <sup>h</sup> 32 <sup>m</sup>	t	Temperatur °C	Boden Sonde	-1,0	3,4 +3,0	+4,8
	p	Luftdruck mmHg	Boden Sonde	661,8	706,9 708,5	722,3
	e	Partialdruck des Wasserdampfes mmHg	Boden Sonde	4,84	5,4 5,4	5,61
	N	Brechzahl	Boden Sonde	283,75	299,3 300,3	304,58
2. Messung 12.10.60 11 <sup>h</sup> 37 <sup>m</sup>	t		B S	-0,4	4,4 4,4	6,0
	p		B S	660,0	706,3 709,0	721,8
	e		B S	4,64	5,3 5,3	5,53
	N		B S	281,39	297,1 298,1	302,43
3. Messung 12.10.60 15 <sup>h</sup> 55 <sup>m</sup>	t		B S	-0,3	2,0 1,5	6,0
	p		B S	661,2	682,9 683,3	721,5
	e		B S	4,73	4,9 4,9	5,23
	N		B S	281,98	288,7 289,4	300,43
4. Messung 12.10.60 17 <sup>h</sup> 02 <sup>m</sup>	t		B S	-0,4	1,7 2,1	5,4
	p		B S	660,3	682,3 683,6	721,4
	e		B S	4,28	4,7 4,9	5,47
	N		B S	278,78	287,4 288,8	302,63

Seite: St. Anton - Basis Süd [Ex]						
Profilpunkte	Station		St. Anton	Burg Altstätten	Banriet	BS Ex
	Höhe [m]		1121	918	605	418
	Entfernung [m]		0	2580	6560	8965
1. Messung 13.10.60 9 <sup>h</sup> 52 <sup>m</sup>	t	B S	0,8	5,3 4,2	6,9	
	p	B S	663,7	707,2 714,4	723,6	
	e	B S	4,24	4,9 4,5	5,21	
	N	B S	278,46	294,1 293,6	300,01	
2. Messung 13.10.60 10 <sup>h</sup> 35 <sup>m</sup>	t	B S	1,0	5,6 4,6	8,0	
	p	B S	663,8	707,4 714,2	723,8	
	e	B S	3,80	4,5 4,6	4,88	
	N	B S	275,40	290,9 293,7	296,73	
3. Messung 13.10.60 14 <sup>h</sup> 24 <sup>m</sup>	t	B S	4,0	5,9 4,7	10,5	
	p	B S	661,9	678,8 682,8	722,3	
	e	B S	3,35	3,6 3,4	4,19	
	N	B S	268,56	294,3 275,3	289,09	
4. Messung 13.10.60 14 <sup>h</sup> 56 <sup>m</sup>	t	B S	4,1	5,7 4,7	9,8	
	p	B S	663,2	679,9 682,1	722,7	
	e	B S	3,64	4,1 3,7	5,11	
	N	B S	270,80	277,8 276,9	295,65	

Tabelle 6.2

Seite: Säntis - St. Anton						
Station		Säntis	Ebenalp	St. Anton		
Profilpunkte	Höhe [m]		2504	2130	1121	
	Entfernung [m]		0	6350	22 867	
1. Messung 14.10.60 10 <sup>h</sup> 00 <sup>m</sup>	t	B	-5,2	-2,7	4,0	
		S		-1,1		
	p	B	560,2	586,9	665,3	
		S		587,5		
e	B	1,15	1,8	3,63		
	S		1,6			
N	B	224,22	236,2	271,62		
	S		234,1			
2. Messung 14.10.60 10 <sup>h</sup> 50 <sup>m</sup>	t	B	-5,3	-2,6	4,6	
		S		-0,5		
	p	B	559,1	586,3	666,4	
		S		587,0		
e	B	1,42	2,1	3,89		
	S		1,9			
N	B	225,73	237,7	273,05		
	S		235,4			

Seite: Säntis - Pfänder						
Station		Säntis	Ebenalp	Pfänder		
Profilpunkte	Höhe [m]		2504	2390	1063	
	Entfernung [m]		0	6500	43 717	
1. Messung 14.10.60 14 <sup>h</sup> 20 <sup>m</sup>	t	B	-4,7	-3,8	6,3	
		S		-4,0		
	p	B	560,1	568,1	670,3	
		S		567,5*		
e	B	1,73	2,0	5,00		
	S		2,0			
N	B	227,71	231,4	279,66		
	S		231,8			
2. Messung 14.10.60 15 <sup>h</sup> 10 <sup>m</sup>	t	B	-4,8	-4,0	6,0	
		S		-4,0		
	p	B	559,0	567,1	671,2	
		S		567,5*		
e	B	1,92	2,2	4,86		
	S		2,0			
N	B	228,67	232,3	279,45		
	S		231,8			

\* Extrapoliert, weil Sonde nur bis H = 2111 hoch ging!

Seite: St. Anton - Pfänder						
Station		St. Anton	Schwendialp	Pfänder		
Profilpunkte	Höhe [m]		1121	1100	1063	
	Entfernung [m]		0	3500	21 595	
1. Messung 15.10.60 11 <sup>h</sup> 20 <sup>m</sup>	t	B	-1,8	-1,4	-0,8	
		S		-0,6		
	p	B	659,8	661,8	665,2	
		S		662,1		
e	B	3,91	4,2	4,81		
	S		4,4			
N	B	277,71	280,2	284,61		
	S		280,5			
2. Messung 15.10.60 12 <sup>h</sup> 20 <sup>m</sup>	t	B	-1,6	-1,2	-0,4	
		S		-0,4		
	p	B	659,1	661,9	666,8	
		S		662,6		
e	B	4,07	4,2	4,52		
	S		4,3			
N	B	278,29	279,9	282,83		
	S		279,8			

Tabelle 6.2

Man kann daher sagen, daß die Partialdrücke des Wasserdampfes praktisch fehlerfrei sind. Dies steht jedoch im Widerspruch zu den Differenzen bei der Trockentemperatur, wie die SPRUNGSche Formel zeigt

$$e = E' - 0,5(t - t') \frac{p}{755} .$$

$E'$  bedeutet dabei den Sättigungsdampfdruck über Wasser, der nach der Formel von MAGNUS-TETENS als Funktion der Feuchttemperatur berechnet werden kann

$$E' = 4,58 \cdot 10^{\frac{7,5 t'}{237,3 + t'}} .$$

Setzt man näherungsweise  $p = 755$  mmHg und differenziert partiell nach  $t$  und  $T'$ , so erhält man mit einigen Vernachlässigungen

$$de \approx (0,07 E' + 0,5) dt' - 0,5 dt .$$

Ein Fehler der Trockentemperatur von  $0,8^{\circ}\text{C}$  - wie oben gefunden - müßte demnach einen Fehler des Partialdruckes von  $de = 0,4$  mmHg verursachen.  $de$  ist aber ganz wesentlich kleiner. Das kann wohl nur dadurch erklärt werden, daß entsprechend obiger Formel gelten muß

$$(0,07 E' + 0,5) dt' \approx 0,5 dt .$$

Setzt man wieder genähert  $t' = 5^{\circ}\text{C}$ , so erhält man  $E' = 6,54$  mmHg und weiter

$$dt' \approx 0,5 dt .$$

Die oben nachgewiesenen Fehler  $dt$  müssen also weitgehend durch einen Fehler  $dt'$  des halben Betrages, aber des gleichen Vorzeichens, kompensiert worden sein. Dies ist auch durchaus zu erklären.

Man geht vom idealen Zustand aus, die beiden Thermometer des Psychometers zeigen fehlerfrei an. Nun wird durch eine Störung, z.B. eine Windbö, Durchzug einer Wolke usw. die Temperatur geändert - die Feuchte bleibt praktisch konstant! - und das Trockenthermometer folgt dieser Änderung ziemlich rasch. Das feuchte Thermometer ist jedoch durch den Gazestrumpf in der Anzeige träger und folgt nur verlangsamt dieser Änderung, so daß sich seine Anzeige weniger ändert und damit weitgehend die schnelle Änderung der Trockentemperatur kompensiert.

Ganz erhebliche systematische Differenzen treten zum Teil bei den Luftdrücken auf und hier besonders bei den Sondenaufstiegen vor allem in Banriet aber auch in Burg/Altstätten. Die hier auftretenden Differenzen dürften eindeutig auf die Sondenmessungen zurückzuführen sein. Man kann dies leicht erkennen, wenn man aus den gegebenen Höhen der beiden Endpunkte die zugehörige Luftdruckdifferenz berechnet. Diese stimmt nämlich bis auf wenige Zehntel mmHg mit den Meßwerten überein. Auch der Vergleich der Sondenmessung am Boden - ein Druck von 726,1 mmHg in einer Meereshöhe von 465 m - und der Messung auf Basis Süd Exzentrum - 723,6 mmHg in 418 m Höhe - weist darauf hin. Die Messungen am anderen Meßpunkt St. Anton stimmen mit den Messungen an den anderen Tagen gut überein, so daß man ihnen wohl trauen kann.

Da nicht klar ist, inwieweit diese grob falschen Druckwerte auch Einfluß haben auf die ausgewiesenen Temperatur- und Feuchtwerte, sind diese auch mit einer gewissen Vorsicht zu betrachten.

Die durchschnittliche Differenz der Brechzahlen aus den Sondenmessungen, bzw. extrapoliert aus den Messungen an den beiden Bodenpunkten, beträgt  $n = 1$ . Selbst wenn man bedenkt, daß bei diesen Herbstmessungen günstige Witterungsbedingungen vorlagen - kühl, bedeckt, windig - so ist diese gute Übereinstimmung doch erstaunlich.

Neben diesem bloßem Vergleich kann man die Sondenaufstiege natürlich auch dazu benutzen, die Koeffizienten A, B und C des parabolischen Ansatzes(3.7) für die Brechzahl zu bestimmen und gegebenenfalls nach Gleichung(3.12) den mittleren Brechungsindex längs der Strecke. Hierfür bieten sich zwei Möglichkeiten an. Einmal kann man die in der Meßstrahlhöhe mit der Sonde gemessenen meteorologischen Daten mit den entsprechenden Messungen an den beiden Endpunkten zusammenfassen. Damit sind die genannten Koeffizienten eindeutig bestimmbar. Die nötigen Zahlenwerte sind in Tabelle 6.2 in der Zeile für N zu finden. Oder aber, man berechnet diese Koeffizienten allein aus den Sondenmessungen in den verschiedenen Höhen, die in Tabelle 6.1 nachgewiesen sind.

Der Vorteil der erstgenannten Möglichkeit liegt darin, daß auch die Messungen an den Endpunkten eingehen, der Nachteil, daß nur wenige der vielen Sondenmessungen verwendet werden. Umgekehrt gehen bei der zweiten Möglichkeit alle Sondenmessungen ein, dafür aber nicht die Messungen an den Endpunkten. Selbstverständlich kann man alle Messungen gemeinsam einführen, dann werden aber die Endpunktmessungen von der Vielzahl der Sondenmessungen unterdrückt und man hat das Problem einer geeigneten Gewichtung. Diese Möglichkeit wurde daher im folgenden nicht weiter verfolgt.

Seite und Sondenauf- stiegsort	Boden und Sonde			Sonde				
	Zeit	A	B	C	Zeit	A	B	C
St.A. - BN	10 <sup>32</sup>	312,5	-15,2	-9,3	10 <sup>11</sup>			
Rietmüli	11 <sup>37</sup>	310,5	-15,5	-9,3	12 <sup>17</sup>	329,1	-59,1	12,6
St.A. - BN	15 <sup>55</sup>	308,9	-18,4	-5,1	15 <sup>42</sup>			
Rebstein	17 <sup>02</sup>	311,9	-18,0	-10,2	17 <sup>10</sup>	333,2	-65,2	16,3
St.A. - BS	9 <sup>52</sup>	316,1	-41,5	7,0	9 <sup>28</sup>			
Banriet	10 <sup>33</sup>	296,6	11,8	-27,4	11 <sup>12</sup>	327,9	-60,9	14,2
St.A. - BS	14 <sup>24</sup>	319,9	-94,4	50,0	14 <sup>04</sup>			
Burg Altstätten	14 <sup>56</sup>	315,4	-51,7	10,6	15 <sup>36</sup>	313,8	-46,0	6,5
Säntis - St.A.	10 <sup>00</sup>	331,9	-62,5	7,8	9 <sup>49</sup>			
Ebenalp	10 <sup>50</sup>	334,7	-64,2	8,3	11 <sup>00</sup>	279,7	-12,3	-4,0
Säntis - Pfänder	14 <sup>20</sup>	318,3	-36,5	0,1	14 <sup>11</sup>			
Ebenalp	15 <sup>10</sup>	332,5	-56,2	5,9	15 <sup>42</sup>	274,6	+3,9	-9,4
St.A. - Pfänder					11 <sup>14</sup>			
Schwendi	zu geringe Höhenunterschiede				12 <sup>45</sup>	330,6	-56,3	9,5

Tabelle 6.3

Tabelle 6.3 enthält die, wie oben beschrieben, ermittelten Koeffizienten. Wie man sieht, treten ganz erhebliche Differenzen und Extremwerte auf, die eine weitere Verwendung dieser Koeffizienten doch sehr fraglich machen. Da andererseits die Sondenmessungen in Meßstrahlhöhe mit den extrapolierten Endpunktwerten sehr gut übereinstimmen, viel besser als auf Grund der angegebenen Toleranzen der Sonden zu erwarten war, siehe Tabelle 6.2 und 6.4, spricht wohl nichts gegen die anfangs beschriebene Art der Auswertung der Messungen im Basisvergrößerungsnetz.

Differenzen in Sondenhöhe: Boden - Sonde

Lfd. Nr.	$\Delta t$ °C	$\Delta e$ mm Hg	$\Delta p$ mm Hg	$\Delta N_1$ Exp.	$\Delta N_2$ Par.	$\Delta N_3$ Par. S	$\Delta N_4$ linear	$\Delta N_5$ P exp t,e,lin
1	0,4	0	-1,6	-1,0	+0,9	-1,7	-0,9	-1,1
2	0	0	-2,7	-1,0	+0,8	0,5	-0,9	-1,0
3	0,5	0	-0,4	-0,7	-2,1	-0,2	-0,6	-0,8
4	-0,4	-0,2	-1,3	-1,4	-2,0	0,4	-1,2	-1,4
5	1,1	0,4	-7,2	0,5	+2,1	2,6	0,7	0,3
6	1,0	-0,1	-6,8	-2,8	-1,2	2,5	-2,6	-2,6
7	1,2	0,2	-4,0	-1,0	-2,7	1,8	-0,8	-0,9
8	1,0	0,4	-2,3	0,9	+0,1	0,2	-1,1	1,3
9	-1,6	0,2	-0,6	2,1	+1,6	1,0	+2,9	2,6
10	-2,1	0,2	-0,7	2,3	+1,8	-0,3	+3,1	3,0
11	0,2	0	0,6	-0,4	-0,3	-1,8	0	0
12	0	0,2	-0,4	0,5	+0,1	-1,8	0,9	1,2
13	-0,8	-0,2	-0,3	-0,3	+0,3	-0,4	-0,3	0,5
14	-0,8	-0,1	-0,7	0,1	0,4	+0,3	0,1	0
	0,8	0,16	2,1	1,0	1,2	1,1	1,1	1,2

Tabelle 6.4

Neben dem hier immer verwendeten exponentiellen Ansatz gibt es noch mehrere Möglichkeiten, die Brechzahl N in der Höhe h zu ermitteln. Tabelle 6.4 bringt eine vergleichende Übersicht über diese Berechnungen, und zur Vervollständigung noch einmal die schon in Tabelle 6.2 enthaltenen Differenzen von Temperatur, Partialdruck des Wasserdampfes und Luftdruck. Die laufenden Nummern 5 bis 8 stellen die etwas verdächtigen Messungen in Banriet und Burg/Altstätten dar. Die Brechzahl N in der Sondenhöhe bzw. der Meßstrahlhöhe der jeweiligen Strecken wurde auf fünf verschiedene Arten berechnet.

1. Nach dem exponentiellen Ansatz aus den Endpunktmessungen
2. Nach dem parabolischen Ansatz mit  $B = -43,5$  und  $C = 2,1$  und den beiden Endpunktwerten
3. Nach dem parabolischen Ansatz mit B und C aus den Sondaufstiegen aus Tabelle 6.3, rechte Spalten
4. Durch lineare Interpolation aus den Brechzahlen an den Endpunkten
5. Durch lineare Interpolation von Temperatur und Partialdruck und exponentieller Interpolation des Luftdruckes aus den Endpunktmessungen.

Die Differenzen der so ermittelten Brechzahlen gegen die Sondenmessungen sind in Tabelle 6.4 eingetragen. In der letzten Zeile sind die gemittelten absoluten Differenzen angegeben.

Sehr große Differenzen treten wieder bei den Sondenstationen Banriet und Burg/Altstätten auf. Signifikante Unterschiede zwischen den verschiedenen Berechnungsmethoden sind nicht zu erkennen. Dies möglicherweise deshalb, weil die Sondenmessungen selbst sehr unsicher sind. Interessant ist, daß die Differenzen  $\Delta n_3$ , die ja nur aus Sondenmessungen berechnet wurden, auch nicht kleiner sind. Das könnte zwar auch darauf zurückgeführt werden, daß sich die Sondenaufstiege über eine längere Zeit hinzogen und während dieser Zeit systematische Änderungen der Atmosphäre aufgetreten sein könnten. Es wurden daher auch einige Versuchsrechnungen durchgeführt, in denen eine zeitproportionale Änderung der Atmosphäre erfaßt werden sollte. Diese Rechnungen zeigten jedoch keinerlei Verbesserungen, so daß sie nicht weiter verfolgt wurden.

## 7. Höhenwinkelmessungen

Anlässlich der Geodimeter-Messungen von 1971 wurde erstmals der Versuch unternommen, parallel dazu Höhenwinkel zu messen. Im Auszug aus dem Bericht von W. FISCHER (1973) über diese Messungen ist dazu folgendes erwähnt:

"In Befolgung der Resolution Nr. 2 der XV. Generalversammlung der Internationalen Union für Geodäsie und Geophysik (1971) in Moskau wurden parallel mit den Distanzen auch die Höhenwinkel gemessen. In der ersten Woche war dies zwar auf den Geodimeter-Stationen noch nicht möglich, da der Beobachter hierfür fehlte, doch war das bei den verhältnismäßig kurzen Strecken nicht von Bedeutung. Auch später kam gelegentlich auf der Geodimeter-Station keine Höhenwinkelmessung zustande, wenn das reflektierte Licht zu schwach war; hingegen wurden auf den Reflektor-Stationen die Höhenwinkel praktisch immer gemessen. Der Theodolit vom Typ DKM2-A von Kern & Co. AG wurde stets unmittelbar neben Geodimeter oder Reflektor aufgestellt und seine Lage und Höhe gegenüber diesen durch einen Vektor bestimmt."

### 7.1 Messungen

Die an drei Tagen im Basisvergrößerungsnetz Heerbrugg gemessenen Höhenwinkel sind in Tabelle 7.1 zusammengestellt. Aus dieser geht hervor, daß während jeder Distanzmessung von durchschnittlich etwa 10 Minuten Dauer auf der Geodimeter- wie auf der Reflektor-Station 1 bis 4 Höhenwinkel gemessen wurden. Einzig auf der über 43 km langen Strecke Säntis-Pfänder war am 20. September auf der Geodimeter-Station keine Höhenwinkelmessung möglich, weil das zurückkommende Licht zu schwach war. Dagegen konnte am folgenden Tag bei jeder Distanzmessung auch ein Höhenwinkel gemessen werden.

Die Beziehungen der für die Höhenwinkelmessungen gewählten Theodolitstandorte zu den Geodimeter- bzw. Reflektor-Stationen sind in Tabelle 7.2 zusammengestellt, bei exzentrischer Aufstellung derselben auch die Beziehungen zum Zentrum. Darin bedeuten  $H_T$  = Höhe des Theodolits (Kippachse),  $e_T$  = Exzentrizität des Theodolits,  $a_T$  = Azimut vom Theodolit zum Bezugspunkt (im schweizerischen Projektionssystem). Zur besseren Veranschaulichung der gegenseitigen Lage ist diese in den Abbildungen 7.1 und 7.2 dargestellt.

### 7.2 Durchschnittlicher Refraktionskoeffizient

Wenn die nötigen Voraussetzungen erfüllt sind, läßt sich aus den gemessenen Höhenwinkeln der Refraktionskoeffizient  $k$  ableiten, der für die Reduktion elektrooptischer Distanzmessungen benötigt wird. Im vorliegenden Fall waren ausnahmsweise alle geometrischen Elemente gegeben, nämlich die für die Distanzreduktion bestimmten ellipsoidischen Höhen aller Stationspunkte (vgl. 2.4) sowie die Lotabweichungen aller Stationspunkte, die für die Reduktion der Winkelmessungen erforderlich sind (und die im Teil V zur Darstellung gelangen werden).

Ob jedoch auch die physikalischen Voraussetzungen für die Bestimmung eines einheitlichen Refraktionskoeffizienten gegeben waren, ist vorerst fraglich. Die Ableitung des Refraktionskoeffizienten  $k = \text{Erdradius}/\text{Lichtstrahlradius}$  aus Höhenwinkelmessungen in den Endpunkten einer Visur setzt ja eine konstante Krümmung des Lichtstrahls, d.h. eine kreisbogenförmige Ziellinie, voraus. Eine solche vereinfachende Annahme dürfte aber im allgemeinen und in aller Strenge nicht

Parallel mit den Geodimeter-Messungen 1971 gemessene Höhenwinkel

Datum	EDM Zeitdauer	Geodimeter-Station				Reflektor-Station							
		Zeit	Höhenwinkel			Zeit	Höhenwinkel						
			g	c	cc	v	cc		g	c	cc	v	cc
17. 9.		St. Anton-Ost - Pfänder					Pfänder - St. Anton-Ost						
	10.07-10.16	10.05	- 0	21	21	+ 2			10.13	+ 0	03	27	+ 4
		<u>17</u>				- 1			<u>15</u>			32	- 1
	10.45-10.55	10.58				-15			10.47			36	- 5
									<u>52</u>			28	+ 3
	11.11-11.37	11.05				+ 5							
		<u>40</u>				+11							
		Mittel - 0 21 19 ± 4					Mittel + 0 03 31 ± 2						
		St. Anton-Ost-Basis Süd					Basis Süd-St. Anton-Ost						
	14.46-14.56	14.43	- 4	50	82	+ 1			15.00	+ 4	43	59	+ 2
		<u>57</u>				- 3							
		<u>59</u>				+ 4							
	15.08-15.18	15.05				+ 3			15.05			65	- 4
		<u>20</u>				- 5			<u>08</u>			59	+ 2
		Mittel - 4 50 81 ± 2					Mittel + 4 43 61 ± 2						
20. 9.		Säntis - St. Anton-Ost					St. Anton-Ost - Säntis						
	12.06-12.15	12.14	- 3	95	22	-12			12.06	+ 3	75	50	- 1
									<u>10</u>			66	-17
									<u>14</u>			56	- 7
	12.20-12.30	12.25				+ 5			12.23			48	+ 1
		<u>30</u>				- 3			<u>27</u>			48	+ 1
									<u>29</u>			62	-13
									<u>33</u>			46	+ 3
	12.37-12.45	12.34				+ 8			12.37			36	+13
									<u>42</u>			41	+ 8
									<u>44</u>			40	+ 9
		Mittel - 3 95 34 ± 5					Mittel + 3 75 49 ± 3						
		Säntis - Pfänder					Pfänder - Säntis						
									15.15	+ 1	91	38	0
									<u>18</u>			40	- 2
									<u>33</u>			47	- 9
	15.40-15.55								15.40			36	+ 2
									<u>46</u>			43	- 5
									<u>50</u>			36	+ 2
									<u>54</u>			42	- 4
	15.57-16.06								15.57			35	+ 3
									<u>16.03</u>			28	+10
		Mittel + 1 91 38 ± 2											
21. 9.		Säntis - Pfänder					Pfänder - Säntis						
	09.14-09.20	09.15	- 2	28	43	- 3			09.11	+ 1	92	06	- 5
									<u>15</u>			91	94
									<u>18</u>			92	14
									<u>22</u>			91	98
	09.25-09.40	09.33				+ 3			09.25			91	94
									<u>27</u>			92	07
									<u>31</u>			91	96
									<u>34</u>			92	00
		Mittel - 2 28 46 ± 3					Mittel + 1 92 01 ± 3						

Tabelle 7.1

Beziehung der Theodolitstandorte zur Geodimeter- oder Reflektor-Station beziehungsweise zum Stationszentrum

Datum	Geodimeter-Station	Reflektor-Station
17. 9.	St. Anton-Ost	Pfänder
	$H_G = 1,50$ m über Bolzen	$H_R = 1,75$ m über exz. Stein = -1,03 m über Zentrum
	$H_T = 1,58$ m über Bolzen	$H_T = 2,37$ m über exz. Stein = -0,412m über Zentrum
	$e_T = 1,40$ m nach Bolzen	$e_T = 3,96$ m nach exz. Stein = 5,96 m nach Zentrum
	$a_T = 281,2^g$ nach Bolzen	$a_T = 282,8^g$ nach exz. Stein = 173,6 <sup>g</sup> nach Zentrum
	St. Anton-Ost	Basis Süd
	$H_G = 1,50$ m über Bolzen	$H_R = 0,43$ m über Pfeiler
	$H_T = 1,58$ m über Bolzen	$H_T = 0,183$ m über Pfeiler
	$e_T = 1,40$ m nach Bolzen	$e_T = 1,48$ m nach Pfeiler
	$a_T = 281,2^g$ nach Bolzen	$a_T = 169,5^g$ nach Pfeiler
20. 9.	Säntis	St. Anton-Ost
	$H_G = 0,30$ m über Pfeiler	$H_R = 1,46$ m über Bolzen
	$H_T = 1,55$ m über Bolzen A = 0,40 m über Zentrum	$H_T = 1,45$ m über Bolzen
	$e_T = 1,964$ m nach Zentrum	$e_T = 0,34$ m nach Bolzen
	$a_T = 340,5^g$ nach Zentrum	$a_T = 336,4^g$ nach Bolzen
	Säntis	Pfänder
	$H_G = 0,30$ m über Pfeiler	$H_R = 1,77$ m über exz. Stein = -1,01 m über Zentrum
	$H_T = 1,55$ m über Bolzen A = 0,40 m über Zentrum	$H_T = 1,40$ m über exz. Stein = -1,38 m über Zentrum
	$e_T = 1,964$ m nach Zentrum	$e_T = 0,89$ m nach exz. Stein
	$a_T = 340,5^g$ nach Zentrum	$a_T = 149,6^g$ nach exz. Stein
21. 9.	Säntis	Pfänder
	$H_G = 0,30$ m über Pfeiler	$H_R = 1,72$ m über exz. Stein = -1,06 m über Zentrum
	$H_T = 1,50$ m über Bolzen A = 0,35 m über Zentrum	$H_T = 1,40$ m über exz. Stein = -1,38 m über Zentrum
	Lage wie am 20. 9.	Lage wie am 20. 9.

Tabelle 7.2

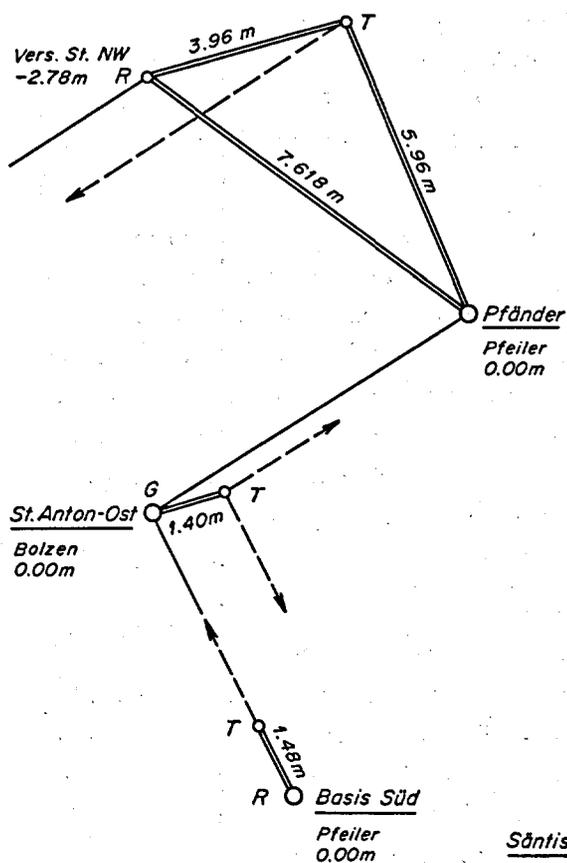


Abb. 7.1

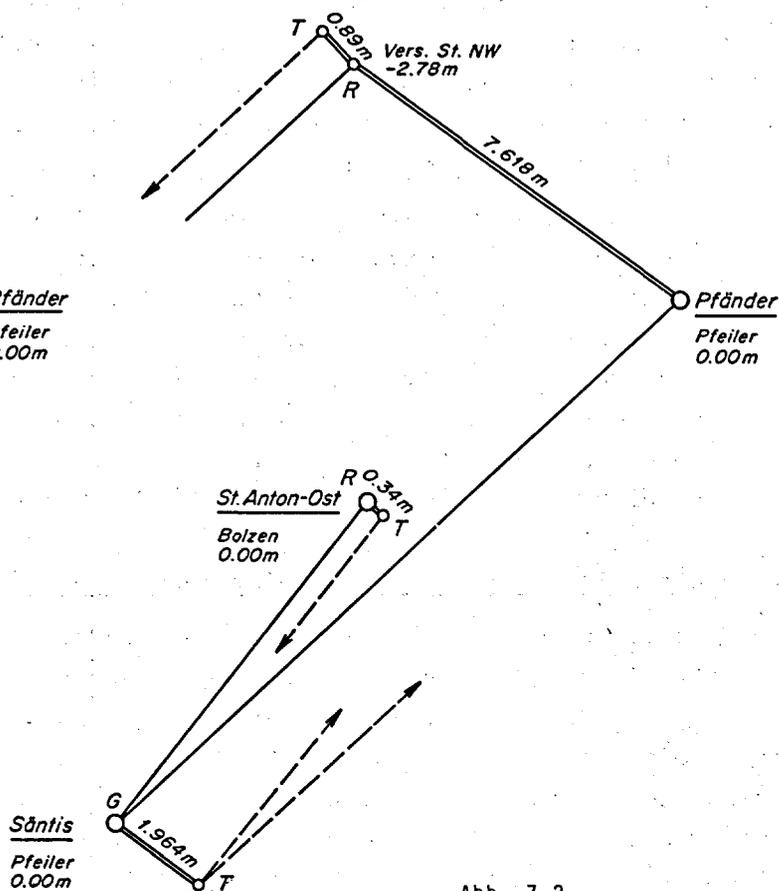


Abb. 7.2

gemacht werden können. Die Strahlkrümmung hängt bekanntlich weitgehend vom Temperaturgradienten der Atmosphäre ab, der in der Regel mit der Höhe (absolut) abnimmt. Er dürfte aber auch örtliche Unterschiede aufweisen, besonders bei so langen wie den vorliegenden Visuren, die zudem beträchtliche Höhenunterschiede überbrücken. N. WUNDERLIN (1979) hatte diese Tatsache berücksichtigt, indem er bei der rechnerischen Bestimmung der Refraktionswinkel (in den Stationspunkten) den Temperaturgradienten längs der Visur aus einer Modellatmosphäre ableitete. Trotz dieser Einschränkung wurde der Versuch unternommen, aus den gemessenen Höhenwinkeln einen durchschnittlichen Refraktionskoeffizienten zu bestimmen. Zur Berechnung konnte ein ALGOL-Programm von WUNDERLIN (1966) benutzt werden, das seinerzeit für die Ausgleichung von Höhenwinkeln zur Bestimmung von Lotabweichungen und Höhen als Unbekannte entwickelt worden war. Eine Version desselben erlaubt die Bestimmung des Refraktionskoeffizienten durch Addition einer als Unbekannte ermittelten Korrektur  $dk$  an einen eingegebenen Näherungswert  $k_0$ . Nachdem alle ellipsoidischen Höhen und Lotabweichungskomponenten als Festwerte eingegeben werden konnten, lieferte die Ausgleichung den Refraktionskoeffizienten als einzige Unbekannte. Damit hätte sich zwar die Verwendung eines Ausgleichungsprogramms erübrigt, doch erwies sich der dadurch gewährleistete automatische Ablauf der Berechnungen als ganz zweckmäßig, umso mehr als damit auch verschiedene Varianten gerechnet werden konnten (vgl. 7.3).

Als Beobachtungen wurden die Mittelwerte der während einer Distanzmessung auf der Geodimeter- und der Reflektor-Station gemessenen Höhenwinkel eingegeben, wobei diese zur groben Berücksichtigung der Korrelation mit dem Gewicht  $p = 1 + \frac{n-1}{10}$  versehen wurden. Instrumenten- und Signalhöhen ( $H_T$  und  $H_R$  bzw.  $H_G$ ) wurden durchwegs auf das Stationszentrum bezogen, wie es das Programm verlangt, da wegen einer durch die Ausgleichung bedingten Änderung der Stationshöhe für alle Messungen eine einheitliche Bezugshöhe gewählt werden mußte. Ein weiterer Datensatz wurde jedoch auf die jeweilige Geodimeter- bzw. Reflektor-Station bezogen (vgl. Tab. 7.2), was eine wertvolle interne Rechenkontrolle erlaubte.

Die Ausgleichung lieferte einen durchschnittlichen Refraktionskoeffizienten  $k = 0.147 \pm 0.003$ . Er weicht nur um seinen mittleren Fehler vom Wert  $k = 0.15$  ab, der für die Reduktion der mit dem Geodimeter 8 gemessenen Distanzen benützt wurde. Da der mittlere Fehler eines Höhenwinkels mit  $\pm 20.5^{cc}$  recht groß und von den Beobachtungen des 21. Septembers besonders stark beeinflußt wurde, erfolgte eine weitere Ausgleichung unter Ausschluß dieser Beobachtungen. Sie ergab einen deutlich kleineren mittleren Fehler von  $\pm 12.1^{cc}$ , aber auch einen kleineren Wert für den durchschnittlichen Refraktionskoeffizienten  $k = 0.140 \pm 0.002$ .

### 7.3 Refraktionskoeffizient der einzelnen Visuren

Die Verbesserungen der Höhenwinkel wiesen darauf hin, daß zwischen den Refraktionskoeffizienten der einzelnen Visuren Unterschiede bestehen mußten. Die Methode wurde somit auf die fünf Visuren angewandt, indem für jede ein mittlerer Refraktionskoeffizient aus den auf der Geodimeter- und der Reflektor-Station gemessenen Höhenwinkeln gebildet wurde. Die Resultate sind in Tabelle 7.3 zusammengestellt, wobei wiederum der 21. September durch die extrem großen Werte für  $m_e$  wie für  $k$  auffällt. Aus Tabelle 7.1 geht jedoch hervor, daß es sich bei diesen Höhenwinkeln um die einzigen handelt, die am frühen Vormittag (09.11 - 09.34 Uhr MEZ) gemessen wurden und deshalb erfahrungsgemäß den größten Refraktionskoeffizienten liefern mußten.

#### Refraktionskoeffizient k aus ellipsoidischen Höhen

Datum	Visur	Anzahl Winkel n	$m_e$ cc	dk	k (0.15)	$m_k$	$h_m$ m	D km
	alle Visuren	(10+11)	$\pm 20.5$	-0.003	0.147	$\pm 0.003$		
	alle Visuren ohne 21.9.	(8+9)	$\pm 12.1$	-0.010	0.140	$\pm 0.002$		
17.9.	St.Anton-Ost - Pfänder	(3+2)	$\pm 8.5$	-0.002	0.148	$\pm 0.003$	1080	21.6
17.9.	St.Anton-Ost - BS	(2+2)	$\pm 18.8$	-0.010	0.140	$\pm 0.020$	790	9.1
20.9.	Säntis - St.Anton-Ost	(3+3)	$\pm 9.1$	-0.011	0.139	$\pm 0.003$	1800	22.9
20.9.	Säntis - Pfänder	(0+2)	$\pm 5.4$	-0.014	0.136	$\pm 0.002$	1780	43.7
21.9.	Säntis - Pfänder	(2+2)	$\pm 30.1$	+0.006	0.156	$\pm 0.006$	1780	43.7

Tabelle 7.3

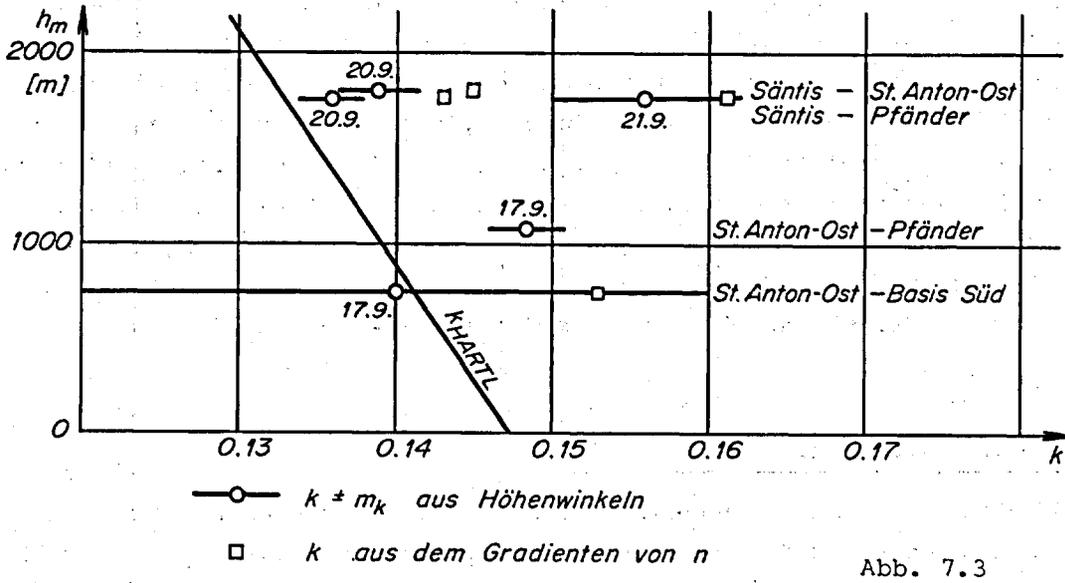


Abb. 7.3

In Abb. 7.3 sind die Refraktionskoeffizienten  $k$  mit ihrem mittleren Fehler in Funktion der mittleren Höhe der Visur graphisch dargestellt. Zum Vergleich ist auch die Funktion  $k = 0.147 - 0.000\ 008 \cdot h[m]$  aufgetragen, die 1883 von HARTL abgeleitet worden war (zitiert von ZEGER (1978), S.1).

Abgesehen vom Wert des 21. Septembers zeigen die  $k$ -Werte einigermaßen die von HARTL gefundene Abnahme mit der Höhe, auch wenn sie etwas über der entsprechenden Geraden liegen.

Die beiden Visuren St.Anton-Ost - Pfänder und Säntis - St.Anton-Ost schienen mit einem  $m_e$  von  $\pm 9^{cc}$  eine recht gute Übereinstimmung zwischen Hin- und Rückmessung zu zeigen, was bei den andern beiden gegenseitig gemessenen Höhenwinkeln weniger der Fall war. Unter den gegebenen Voraussetzungen können aber einseitig gemessene Höhenwinkel ebenso gut bearbeitet werden wie gegenseitige. Die Resultate der für die Geodimeter- und die Reflektor-Station getrennt abgeleiteten Refraktionskoeffizienten  $k$  sind in Tabelle 7.4 zusammengestellt.

Refraktionskoeffizient  $k$  auf der Geodimeter- und der Reflektor-Station

Datum	Visur	Geodimeter-Station		Reflektor-Station		$k_G - k_R$
		Zeit	$n \quad k_G$	Zeit	$n \quad k_R$	
17.9.	St.Anton-Ost - Pfänder	10.05-11.40	3 0.148	10.13-10.52	2 0.147	+0.001
17.9.	St.Anton-Ost - BS	14.43-15.20	2 0.107	15.00-15.08	2 0.177	-0.070
20.9.	Säntis - St.Anton-Ost	12.14-12.34	3 0.138	12.06-12.44	3 0.139	-0.001
20.9.	Säntis - Pfänder	-	-	15.40-16.03	2 0.136	-
21.9.	Säntis - Pfänder	09.15-09.33	2 0.144	09.11-09.34	2 0.166	-0.022

Tabelle 7.4

Hier bestätigt sich das obige Resultat, indem für die Visuren St. Anton-Ost - Pfänder und Säntis - St. Anton-Ost der Refraktionskoeffizient auf der Geodimeter- und auf der Reflektor-Station praktisch gleich wurde. Bei diesen beiden Visuren sprachen somit die Ausgangswerte nicht dagegen, eine kreisbogenförmige Lichtkurve anzunehmen. Hingegen zeigte die Visur St. Anton-Ost - BS einen großen Unterschied in  $k$ , wobei der Refraktionskoeffizient bei der unteren Station (Reflektor) deutlich größer war. Dieselbe Erscheinung, wenn auch in kleinerem Maß, zeigte auch die Visur Säntis - Pfänder. Umso bedauerlicher ist es, daß bei der Distanzmessung vom 20. September der Höhenwinkel auf der Geodimeter-Station nicht gemessen werden konnte.

#### 7.4 Beurteilung der Höhenwinkelmessungen

Die anlässlich der Distanzmessung auf fünf Strecken gemessenen Höhenwinkel führten auf einen durchschnittlichen Refraktionskoeffizienten  $k = 0.147 \pm 0.003$ . Die Höhenwinkel zeigten somit, daß bei diesen Distanzmessungen einigermaßen "normale" Verhältnisse vorlagen und die Reduktion mit  $k = 0.15$  sicher brauchbare Resultate lieferte.

Andererseits ergab die für jede Visur getrennte Bestimmung deutlich unterschiedliche Werte für  $k$  (vgl. Abb. 7.3). Am augenfälligsten trat dies bei den beiden Messungen der Distanz Säntis - Pfänder zutage, wo der Refraktionskoeffizient am 21. September (Vormittag) um 0.02 größer war als am Vortag (Nachmittag). Dazu ist jedoch zu sagen, daß bei einem um 0.02 größeren  $k$ , also bei entsprechend stärker gekrümmtem Lichtweg, für die mit 43.7 km längste Strecke Säntis - Pfänder die zweite Geschwindigkeitskorrektur nur um -2.5 mm ändert, die Reduktion von der Bahnkurve auf die Sehne sogar nur um -0.5 mm. Damit ist gezeigt, daß die durch die Höhenwinkelmessungen festgestellten Änderungen des Refraktionskoeffizienten für die geometrische Reduktion der Distanzen ohne Belang sind.

Daß aber die aus Höhenwinkeln abgeleiteten Refraktionskoeffizienten absolut reell sein dürften, wurde noch auf völlig unabhängige Weise bestätigt. Zur Kontrolle gegen grobe Fehler in den meteorologischen Elementen der Geodimeter- und der Reflektor-Station werden nämlich bei der Berechnung der Distanzreduktion die Quotienten  $\Delta t/\Delta h$ ,  $\Delta p/\Delta h$  und  $\Delta e/\Delta h$  gerechnet, die bei nicht zu kleinem  $\Delta h$  im Rahmen liegen müssen. Desgleichen wird auch der Quotient  $\Delta n/\Delta h$  gerechnet, der seinerseits ein Maß für die durchschnittliche Strahlkrümmung darstellt. Setzt man nun einen konstanten Gradienten  $\text{grad } n \approx \Delta n/\Delta h$  des Brechungsindex  $n$  voraus, so ist nach HÖPCKE (1964)  $k = -R \cdot (\Delta n/\Delta h)$ . Bei der Reduktionsrechnung werden die so gebildeten  $k$ -Werte automatisch ausgedruckt, die in Tabelle 7.5 zusammengestellt sind.

Die Differenzen  $\Delta k$  zwischen den so gebildeten Refraktionskoeffizienten und den aus Höhenwinkeln abgeleiteten Werten sind auffallenderweise ziemlich konstant. Sie sind zudem durchwegs positiv, was auch aus der graphischen Darstellung in Abb. 7.3 deutlich hervorgeht. Eine mögliche Erklärung dafür könnte darin bestehen, daß die Gradienten des Brechungsindex  $n$  (absolut) zu groß sind. Dies wäre dann der Fall, wenn wegen Bodeneinflüssen der Brechungsindex der unteren Station zu groß oder derjenige der oberen Station zu klein (oder beides zusammen) wäre, wie das in Abb. 7.4 schematisch skizziert ist. Jeder der beiden Fehler würde einen Fehler an

Refraktionskoeffizient  $k$  aus dem Gradienten von  $n$

Datum	Visur	grad $t$ °C/km	grad $n$ $10^{-6}$ /km	$k$	$\Delta k$	$\Delta h$ m
17.9.	St. Anton-Ost - Pfänder	1)	1)	1)	1)	- 41
17.9.	St. Anton-Ost - BS	-8.5	-24.0	0.153	+0.013	- 625
20.9.	Säntis - St. Anton-Ost	-6.2	-22.7	0.145	+0.006	-1400
20.9.	Säntis - Pfänder	-6.8	-22.4	0.143	+0.007	-1441
21.9.	Säntis - Pfänder	-3.4	-25.2	0.161	+0.005	-1441

1) unbestimmt wegen zu kleiner Höhendifferenz  $\Delta h$

Tabelle 7.5

dem für die Distanzreduktion benützten mittleren Brechungsindex verursachen. Da jedoch von den Höhenwinkeln keine Verbesserung der absoluten Größe von  $n$  erwartet werden konnte, wurde auf eine weitere Bearbeitung verzichtet.

Einen gewissen Hinweis für allfällige weiterführende Untersuchungen könnten jedoch die für die Geodimeter- und die Reflektor-Station aus den entsprechenden Höhenwinkeln abgeleiteten Refraktionskoeffizienten liefern (vgl. Tabelle 7.4).

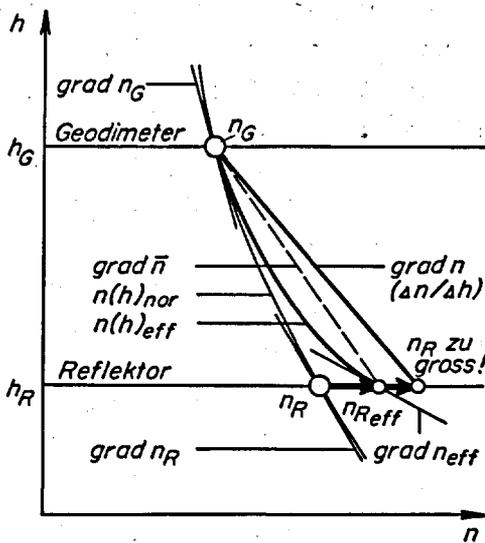


Abb. 7.4

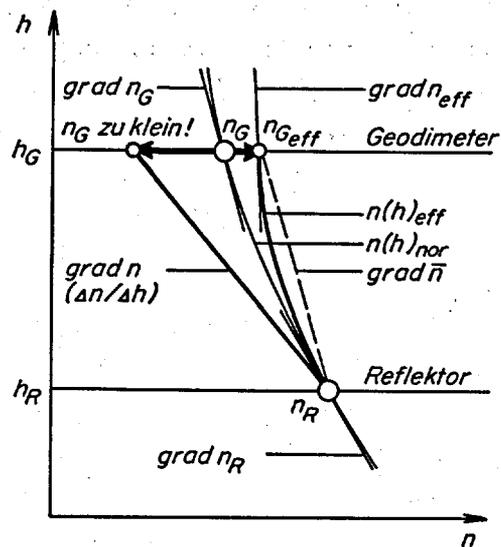


Abb 7.5

Bei zwei Visuren, St. Anton-Ost - BS und Säntis - Pfänder, ist in der unteren Station (Reflektor) der Refraktionskoeffizient  $k_R$  deutlich größer als in der oberen Station (vgl. Tabelle 7.4). Nach der bekannten Beziehung zwischen grad  $n$  und  $k$  ist damit auch der Gradient grad  $n$  (absolut) größer, was einen steileren Verlauf (in der Darstellung der Abb. 7.4, in der die  $h$ -Achse wie üblich nach oben gerichtet ist, jedoch umgekehrt einen flacheren Verlauf!) der Kurve  $n(h)$  bei dieser Station bewirkt. Ausgehend von der Annahme eines "richtigen"  $n_G$  in der oberen Station, wird  $n_R$  demzufolge größer als bei einem normalen Verlauf von  $n(h)$ , und entsprechend wird auch der Durchschnittswert grad  $\bar{n}$  zwischen den beiden Stationen

(absolut) größer (vgl. Abb. 7.4). Nun ist ja auch grad  $n$  (bzw.  $k$ ) aus den meteorologischen Daten der beiden Stationen größer als aus den Höhenwinkeln (vgl. Tabelle 7.5), so daß bei Annahme eines "richtigen"  $n_G$  in der oberen Station das  $n_R$  ebenfalls größer wird, was mindestens dem Sinn nach mit dem Ergebnis aus den Höhenwinkeln übereinstimmt (vgl. Abb. 7.4).

Betrachtet man umgekehrt die obere Station (Geodimeter), in der der Refraktionskoeffizient  $k$  und damit auch grad  $n$  (absolut) deutlich kleiner ist als in der unteren. Die dadurch flacher (in Abb. 7.5 steiler!) werdende Kurve  $n(h)$  führt hier unter der Annahme eines "richtigen"  $n_R$  in der unteren Station ebenfalls zu einer Vergrößerung von  $n_G$  gegenüber dem Normalverlauf von  $n(h)$ , damit jedoch zu einer (absoluten) Verkleinerung des Durchschnittswerts grad  $\bar{n}$ . Der aus den meteorologischen Daten der beiden Stationen abgeleitete (absolut) größere Gradient von  $n$  führt dagegen vom gleichen angenommenen  $n_R$  zu einer Verkleinerung von  $n_G$ , was eindeutig im Widerspruch mit dem steht, was aus den Höhenwinkeln hervorgeht (vgl. Abb. 7.5).

Die Kombination von meteorologischen Daten mit Höhenwinkeln erlaubt somit, wenn auch nicht eine quantitative, so doch zumindest eine qualitative Beurteilung der Brechungsindizes. Aus dem Gesagten darf wohl der Schluß gezogen werden, daß in den beiden gezeigten Fällen der Brechungsindex  $n$  eher auf der unteren Station vom Normalverlauf  $n(h)$  abweicht (größeres  $n_R$ , und zwar sowohl aus dem Höhenwinkel als auch aus den meteorologischen Elementen selbst). Damit ist aber auch gezeigt, daß der für die meteorologische Reduktion der Distanzen benützte mittlere Brechungsindex  $n_m$  der beiden Stationen entsprechend falsch sein dürfte, wegen der stärkeren Krümmung von  $n(h)$  also zu groß. Dieser Schluß läßt sich allerdings nicht verallgemeinern, nachdem er ja nur auf wenigen schwachen Beispielen beruht.

8. Ausgleichung

8.1 Sichtung der Messungen

Die Vielzahl der im Abschnitt 5 nachgewiesenen Messungen - insgesamt 309 Messungen, bzw. 307, wenn man berücksichtigt, daß auch zweimal ein gebrochener Strahl gemessen wurde - könnte auf eine gute Bestimmung des Netzes hindeuten. Daß dies aber nicht der Fall ist, erkennt man, wenn man die Messungen der einzelnen Seiten zusammenfaßt. Dies ist in Tabelle 8.1 geschehen. Man sieht, daß allein 178 Messungen, also mehr als die Hälfte aller Messungen, auf nur drei Seiten entfallen.

Institution	DGFI							TH Karlsruhe			SGK			Summe	Meßtage	Meßperioden
Instrument	MRA 1	MRA 1	NASM 2A	El.Tape	El.Tape	MRA 1	MRA 1	NASM 4B	MRA 2	Distomat	MRA 1	Distomat	Geod.8			
Wellenlänge / Strecke	10	10	L	3	3	10	10	L	10	3	10	3	L			
1-2	4	4		4	12	12	8		13	12	1	2	4	76	11	8
1-3	2	2												4	1	1
1-4	2	2												4	1	1
1-5	4	4							6		2	2	5	23	7	6
1-7	2	2												4	1	1
2-3	2	2												4	1	1
2-4	2	2												4	1	1
2-5	4	4							8		1	2	3	22	6	5
2-6	2	2												4	1	1
2-7	2	2												4	1	1
3-4	2	2												4	1	1
3-5	2	2												4	1	1
3-6	2	2												4	1	1
4-5	3	2	4											9	2	1
4-6	2	2	3											7	2	1
4-7	2	2	3											7	2	1
5-6	13	8	4					7	15*	8			4	59	9	5
5-7	8	10	3											21	4	2
6-7	8	6	3					5	11	6			4	43	10	5
Summe	68	62	20	4	12	12	8	12	53	26	4	6	20	307		

\* davon zwei Messungen als gebrochener Strahl

Tabelle 8.1  
Anzahl und Verteilung der Messungen

Neben den besonders interessanten Seiten 1-2 und 6-7, Endseite und Ausgangsseite des Vergrößerungsnetzes, wurde besonders oft die Seite 5-6 gemessen. Dies ist darauf zurückzuführen, daß bei dieser Strecke erhebliche Störungen durch Bodenreflexionen auftraten, die man durch exzentrische Aufstellungen bzw. durch Messung eines gebrochenen Strahls zu mindern suchte.

Besonderer Beliebtheit erfreute sich offensichtlich der Punkt 5, von dem aus nach den Punkten 1, 2 und 7 weitere 66 Messungen durchgeführt wurden. Damit entfallen 244 Messungen auf nur 6 Strecken, nämlich auf die beiden Dreiecke 576 und 521, die nur im Punkt 5 zusammenhängen, so daß keine Ausgleichungsaufgabe vorliegt. Die restlichen 63 Messungen, die sich auf 13 Strecken verteilen, ermöglichen erst eine Ausgleichung des Netzes. Nachdem die meisten dieser Strecken nur viermal mit den Tellurometern MRA 1 gemessen wurden, haben sie in der Ausgleichung ein sehr geringes Gewicht, und bekommen so alle Fehler der übrigen Seiten aufgelastet. Die Fehler der ausgeglichenen Seiten dürften daher wohl auch etwas zu klein ausfallen.

In Abbildung 8.1 ist die Verteilung der Messungen auf die einzelnen Seiten dargestellt.

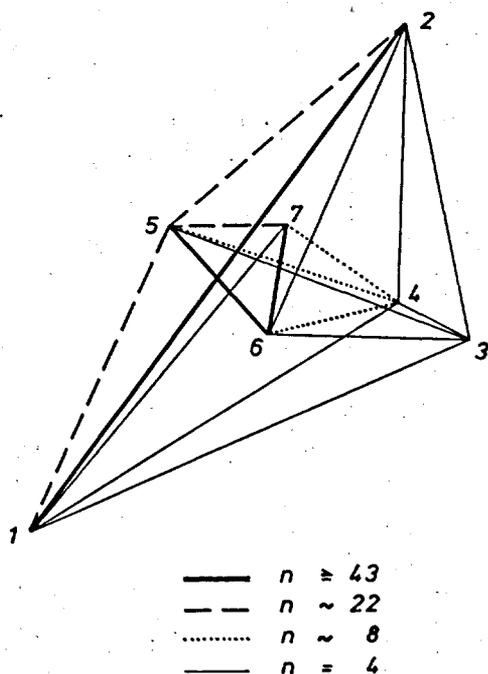


Abb. 8.1

Diese ungünstige Verteilung ist vor allem auf zwei Gründe zurückzuführen. Einmal sind die Punkte 3 und 4 nur sehr schwer nach längerem Fußmarsch zu erreichen und zum anderen wurden die Messungen ja nicht durchgeführt, um das Netz auszumessen, sondern um darin die Streckenmeßgeräte zu erproben.

Bei den Messungen war man in der Regel bestrebt, möglichst viele Messungen in möglichst kurzer Zeit durchzuführen. Es ist daher mit relativ starken Korrelationen zwischen den einzelnen Messungen zu rechnen. Wollte man diese in der Ausgleichung streng berücksichtigen, müßte ein Gleichungssystem mit  $n > 300$  invertiert werden. Um festzustellen, ob dieser Aufwand sinnvoll ist, wurden die Messungen in ihrer zeitlichen Reihenfolge geordnet. Das Ergebnis dieser Zusammenstellung ist auszugsweise in den beiden

letzten Spalten der Tabelle 8.1 ausgewiesen und zwar die Anzahl der Tage, an denen Messungen durchgeführt wurden und die Anzahl der Meßperioden, an denen diese Messungen stattgefunden haben. Dabei wurde festgesetzt, daß bei einem zeitlichen Abstand von mehr als zwei Monaten zwischen den Messungen, eine neue Periode angenommen wurde. Die Messungen verteilten sich auf insgesamt 37 verschiedene Tage und 8 verschiedene Perioden, wobei naturgemäß die oft beobachteten Strecken besser verteilt sind. Eine detailliertere Betrachtung zeigt aber, daß auch die anderen Strecken gut verteilt sind, mit Ausnahme der Strecken 3-5 und 3-6, die nur an

einem Tag mit einer Wellenlänge, aber zwei verschiedenen Instrumenten gemessen wurden. Aus diesem Grund scheint es vertretbar, sich bei der Ausgleichung nur auf die Autokorrelationen zu beschränken.

### 8.2 Gewichtsansatz und Korrelationen

Drückt man den Fehler einer Strecke durch den Ansatz

$$m = \pm (a + b \cdot 10^{-6} \cdot s)$$

aus, so ergeben sich für die einzelnen Instrumente auf Grund von Firmenangaben folgende Werte:

Instrumente	a cm	b
Tellurometer MRA 1	5	3
Tellurometer MRA 2	5	3
Geodimeter NASM 2A	1	1
Elektro-Tape	1	3
Distomat	2	3
Geodimeter NASM 4B	1	2
Geodimeter 8	0,5	1

Tabelle 8.2

Wenngleich diese Fehlerangaben zum Teil etwas optimistisch erscheinen mögen, so dürfte doch das Genauigkeitsverhältnis der einzelnen Geräte untereinander genügend genau getroffen sein, um als Grundlage für die Gewichte für die Ausgleichung zu dienen.

Größere Schwierigkeiten bereitet naturgemäß die Festlegung der Korrelationen. Die meisten Zahlenangaben hierfür wurden aus Messungen gewonnen, die in anderem Zusammenhang durchgeführt wurden und daher für die Bestimmung der Korrelation nicht optimal geeignet sind. Ferner wurden bei diesen Untersuchungen - zwangsläufig - nur immer identische Geräte verglichen. In vorliegendem Fall liegen die Verhältnisse jedoch schwieriger. Es treten Korrelationen auf zwischen Messungen

- mit identischen Instrumenten
- verschiedener Instrumente gleicher Trägerwelle
- verschiedener Instrumente verschiedener Trägerwelle.

Für die beiden letzteren Fälle liegen noch keine Erfahrungen vor, so daß die Korrelationen hier mehr oder weniger willkürlich festgesetzt werden müssen. Es wurde dabei versucht zu berücksichtigen, daß zwar in letzteren Fällen Korrelationen auftreten, weil die Messungen durch die gleiche Atmosphäre gehen, daß aber andererseits die Korrelationen nicht so stark sind, wie bei identischen Geräten, weil andere Instrumentalfehler, andere Beobachter, andere meteorologische Meßgeräte usw. auftreten. Unter Berücksichtigung dieser Tatsachen wurden folgende Annahmen getroffen:

1. Messungen unterschiedlicher Strecken sind nicht korreliert:  $r = 0$ .

2. Für die restlichen Strecken wurde unter Beachtung der Literatur (z.B. FISCHER (1969), REUTER (1970), BÄHR/RICHTER (1975)) sowie nach eigenen Schätzungen folgende Korrelationskoeffizienten festgelegt.

Tabelle 8.3 Ansatz 1

Wellenlänge	gleicher Tag	gleiche Periode	versch. Periode
	Korrelationskoeff.		
10 cm	0,9	0,8	0,4
3 cm	0,9	0,7	0,4
Licht	0,8	0,4	0
10 cm/10 cm	0,8	0,7	0,4
10 cm/ 3 cm	0,7	0,5	0,3
10 cm/Licht	0,2	0,1	0
3 cm/3 cm	0,8	0,6	0,4
3 cm/Licht	0,2	0,1	0

Ist in der linken Spalte nur eine Wellenlänge angegeben, so handelt es sich um Korrelationen der Messungen von identischen Geräten, sind zwei Wellenlängen angegeben, so handelt es sich um Korrelationen zweier Geräte der angegebenen Wellenlängen. Infolge der Unsicherheit dieser Korrelationskoeffizienten wurde nur eine zählende Stelle mitgenommen.

Gegenüber den Ergebnissen von BÄHR/RICHTER(1975) deuten die Messungen im Basisnetz Heerbrugg darauf hin, daß die Lichtmessungen stärker korreliert sind. Deshalb wurde hier der Korrelationskoeffizient höher angesetzt.

Nun ist bekannt, daß die Korrelationskoeffizienten, die ja von einer Vielzahl von Faktoren abhängen, in einem weiten Bereich streuen können, daß sie aber auch andererseits keinen allzugroßen Einfluß auf die Ausgleichung haben sofern nur ihre Größenordnung richtig ist. Aus diesem Grund wurden die Berechnungen mit einem weiteren, sehr einfachen, Ansatz für die Korrelationen durchgeführt.

Tabelle 8.4 Ansatz 2

Wellenlänge	gleicher Tag	gleiche Periode	versch. Periode
	Korrelationskoeff.		
Mikrowelle	0,8	0,4	0
Licht	0,8	0,4	0
Mikro/Licht	0,4	0	0

Vergleicht man die nach diesen beiden Ansätzen berechneten "gemessenen" Strecken, die anschließend in eine Ausgleichung eingeführt wurden, so sieht man, daß nur die Strecke 1-2 eine größere Differenz von 4,4 cm aufweist. Die Differenzen aller anderen Strecken liegen bei einem Zentimeter oder darunter.

Die Ausgleichung wurde in GK-Koordinaten durchgeführt, wobei die in Tabelle 2.3 angegebenen Koordinaten als Startwerte benutzt wurden. Infolge der Unsicherheit dieser Werte mußte eine Iteration durchgeführt werden.

Gewisse Schwierigkeiten brachte die Aufbereitung der Geodimeter NASM 2A Messungen mit sich, weil die nötigen Zentrierungsbeträge nicht mitgeteilt wurden (siehe Abschnitt 5.236). Es wurde daher der Versuch gemacht, sie als Unbekannte in der Ausgleichung mitzubestimmen.

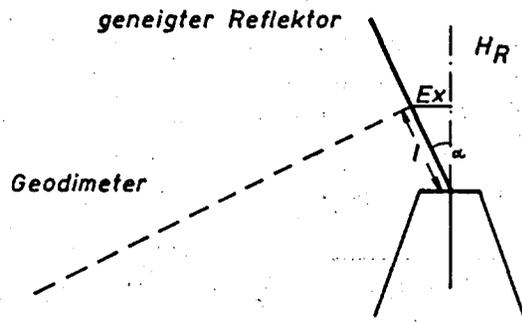


Abb. 8.2

Entsprechend Abb. 8.2 gilt:

$$Ex = l \cdot \sin \alpha \approx l \frac{H_R - H_G}{S}, \quad 8.1$$

wobei  $H_R$  bzw.  $H_G$  die Höhen des Reflektors bzw. des Geodimeters sind. Die Größe  $l$  sollte als Unbekannte in der Ausgleichung bestimmt werden. Daneben wurde eine weitere Ausgleichung durchgeführt, in der die Geodimeter 2A Seiten nicht enthalten waren.

Es ergaben sich folgende Ergebnisse. Bei Mitnahme der Geodimeterseiten wurden die Fehler der ausgeglichenen Seiten größer, und der entscheidende Punkt: Die Unbekannte  $l$  wurde mit falschen Vorzeichen ermittelt! Zur Sicherheit wurde eine weitere Versuchsausgleichung durchgeführt, bei der die Geodimeterseiten unter Annahme eines plausiblen Wertes für  $l$  ( $= 30$  cm) vorher um die Korrekturen  $Ex$  verbessert wurden. Als Ergebnis stiegen die Fehler der ausgeglichenen Seiten um etwa den Faktor 3!

Bei einer Durchsicht der Original-Rechenakten fand sich nun bei zwei Seiten eine Korrektur wegen "Neigung des Geodimeters", die aber wieder gestrichen wurde mit der Bemerkung: "Entfällt, da Reflektor geneigt ist". Bei den übrigen Strecken, und auch in den Feldbüchern finden sich keine derartigen Hinweise. Jedoch ist damit immerhin offenkundig, daß sich der Bearbeiter über den Sachverhalt wohl im klaren war und auf Grund seiner Kenntnis eine Neigungskorrektur - für Geodimeter und Reflektor - für unnötig hielt. Dies wird auch durch die oben angeführten Ausgleichungsergebnisse erhärtet.

Nach diesen Versuchsausgleichungen wurden insgesamt vier Ausgleichungen durchgeführt und zwar je zwei Ausgleichungen mit den Korrelationsansätzen 1 bzw. 2 einmal mit und einmal ohne die Geodimeter 2A Seiten. An die Geodimeterseiten wurden, wie oben erläutert, keine Neigungsverbesserungen angebracht. Um jedoch die zweifellos noch vorhandene Unsicherheit in dieser Frage zu berücksichtigen, wurden die Fehler der Geodimeterseiten nicht einfach nach der Tabelle 8.2 berechnet, sondern der danach berechnete Fehler wurde um den Betrag  $\frac{\Delta H}{S} \cdot 0,3$  m erhöht (siehe Gleichung 8.1). Dieser Wert entspricht der oben angegebenen plausiblen Korrektur  $Ex$ , wirkt jedoch nicht so stark, weil er nur über den Fehler Eingang findet.

Beispiel: Die Geodimeterstrecke 4 - 6 wurde nach den Tabellen 5.21 bzw. 5.22 dreimal gemessen. Nach Tabelle 8.2 ergibt sich für eine einfache Messung der Fehler

$$m = \pm (1 \text{ cm} + 1 \cdot 10^{-6} \cdot S) = \pm 1,96 \text{ cm.}$$

Daraus wurde der Fehler der drei (n-)mal gemessenen Seite berechnet aus

$$M' = \frac{m}{\sqrt{n}} \sqrt{1 + (n-1) \cdot r},$$

wobei r der Korrelationskoeffizient ist (aus Tabelle 8.3 bzw. 8.4) (siehe HÖPCKE (1980))

$$M' = \frac{1,96}{\sqrt{3}} \sqrt{1 + (3-1) \cdot 0,8} = \pm 1,82 \text{ cm.}$$

Auf diese Weise wurden die a priori-Fehler aller übrigen Messungen ermittelt. Beim Geodimeter 2A wurde dieser Fehler, wie oben angegeben, noch um  $\frac{\Delta H}{S} \cdot 0,3 \text{ m}$  erhöht zu

$$M = 0,0182 \text{ m} + 0,043 \text{ m} = 0,061 \text{ m.}$$

In den Tabellen 8.5 und 8.6 sind die "beobachteten" sphärischen Strecken mit den so berechneten a priori-Fehlern, bzw. die ausgeglichenen sphärischen Strecken mit ihren Fehlern und dem jeweiligen Gewichtseinheitsfehler aufgelistet.

Aus der Tabelle 8.6 läßt sich folgendes erkennen:

1. Die mittleren Gewichtseinheitsfehler liegen deutlich unter 1. Das deutet darauf hin, daß die a priori-Fehler kleiner sind als angenommen. Allerdings darf man dieser Aussage, bzw. den angegebenen Fehlern, keinen allzugroßen Wert beimessen. Wie die Abb. 8.1 sowie Tabelle 8.1 zeigen, kontrollieren sich die Strecken mit hohem Gewicht nicht gegenseitig. Wenn diese Strecken größere Fehler haben, so werden diese auf die Strecken mit geringem Gewicht verteilt ohne daß die Fehler davon spürbar beeinflußt werden. Bei der Ausgleichung, in der auch die Geodimeter 2A Seiten mitgenommen wurden, ist eine gewisse, allerdings nicht sehr wirksame, Kontrolle in der kleinen Übertragungsfigur 4567 gegeben, in der sich die höher gewichtigen Strecken kontrollieren, aber auch nur durch eine Überbestimmung. Das ist wohl auch der Grund dafür, daß bei den Ausgleichungen mit den Geodimeterseiten die Fehler der ausgeglichenen Strecken deutlich höher sind.
2. Die Fehler der ausgeglichenen Seiten sind beim Ansatz 2 in der Regel deutlich geringer als beim Ansatz 1. Das rührt daher, daß die Korrelationen geringer angenommen wurden und damit eine Annäherung an korrelationsfreie Messungen erfolgt.

Wie oben geschildert, bringt die Mitnahme der Geodimeter 2A Messungen eine gewisse Unsicherheit mit sich. Trotzdem dürfte es günstiger sein, sie mit in die Ausgleichung einzubeziehen, weil damit eine deutliche Versteifung des Netzes verbunden ist und weil einige sehr unsichere Tellurometer-Seiten, insbesondere die Seiten 4-5 und 4-6 damit wesentlich besser bestimmt sind, trotz aller Unsicherheit. Deshalb dürften die an dritter Stelle der Tabelle 8.6 stehenden Ergebnisse - mit dem differenzierteren Ansatz 1 - am günstigsten sein. Sie sind in der anschließenden Tabelle 8.7 zusammen mit den beobachteten Strecken noch einmal aufgeführt. Die entsprechenden "beobachteten" schrägen Strecken sind in der rechten Spalte der Tabelle 8.5 angegeben. Tabelle 8.8 enthält abschließend die Matrix der Gewichtskoeffizienten.

Strecke	"Beobachtete" sphärische Strecken				"beobachtete" schräge Strecken mit Geodimeter NASM 2A		
	ohne Geodimeter NASM 2A		mit Geodimeter NASM 2A				
	Ansatz 1 m	Ansatz 2 m	Ansatz 1 m	Ansatz 2 m	Ansatz 1 m		
1-2	43 714,390	+0,083 ,346	+0,062	,390	+0,083 ,346	+0,062	43 750,212
1-3	33 491,479	0,208 ,479	0,159	,479	0,208 ,479	0,159	33 506,963
1-4	29 748,207	0,274 ,207	0,238	,207	0,274 ,207	0,238	29 770,198
1-5	22 865,558	0,023 ,554	0,024	,558	0,023 ,554	0,024	22 913,790
1-7	27 694,815	0,307 ,815	0,247	,815	0,307 ,815	0,247	27 779,707
2-3	22 287,222	0,264 ,222	0,188	,222	0,264 ,222	0,188	22 312,415
2-4	19 757,354	0,285 ,354	0,252	,354	0,285 ,354	0,252	19 770,107
2-5	21 594,135	0,031 ,125	0,031	,135	0,031 ,125	0,031	21 597,888
2-6	23 731,920	0,122 ,920	0,100	,920	0,122 ,920	0,100	23 742,005
2-7	16 485,886	0,131 ,886	0,133	,886	0,131 ,886	0,133	16 500,525
3-4	5 634,774	0,105 ,774	0,106	,774	0,105 ,774	0,106	5 647,797
3-5	21 788,333	0,120 ,333	0,118	,333	0,120 ,333	0,118	21 811,551
3-6	14 637,805	0,115 ,805	0,117	,805	0,115 ,805	0,117	14 720,064
4-5	16 158,338	0,421 ,337	0,293	,327	0,099 ,327	0,071	16 170,332
4-6	9 553,662	0,166 ,662	0,160	,621	0,073 ,621	0,073	9 626,349
4-7	8 215,852	0,092 ,852	0,101	,860	0,046 ,860	0,050	8 308,754
5-6	9 122,325	0,019 ,326	0,021	,325	0,017 ,325	0,020	9 146,131
5-7	8 731,718	0,087 ,722	0,061	,683	0,049 ,693	0,041	8 761,178
6-7	7 253,514	0,015 ,514	0,013	,514	0,014 ,514	0,012	7 254,284

Tabelle 8.5

Strecke	Ausgeglichene sphärische Seiten					
	ohne Geodimeter NASM 2A		mit Geodimeter NASM 2A			
	Ansatz 1 m	Ansatz 2 m	Ansatz 1 m	Ansatz 2 m		
1-2	43 714,356	+0,030 ,339	+0,025	,355	+0,036 ,339	+0,032
1-3	33 491,439	0,098 ,426	0,079	,430	0,114 ,421	0,100
1-4	29 748,414	0,104 ,392	0,092	,450	0,109 ,417	0,104
1-5	22 865,560	0,013 ,554	0,014	,560	0,016 ,555	0,018
1-7	27 694,808	0,054 ,798	0,045	,785	0,058 ,778	0,054
2-3	22 287,150	0,121 ,160	0,095	,150	0,142 ,157	0,121
2-4	19 757,389	0,108 ,403	0,099	,339	0,106 ,361	0,106
2-5	21 594,136	0,018 ,124	0,018	,136	0,021 ,123	0,023
2-6	23 731,918	0,044 ,916	0,041	,928	0,050 ,926	0,049
2-7	16 485,958	0,043 ,956	0,040	,969	0,048 ,966	0,048
3-4	5 634,729	0,049 ,731	0,049	,729	0,052 ,737	0,055
3-5	21 788,426	0,045 ,430	0,044	,423	0,049 ,422	0,053
3-6	14 637,788	0,051 ,795	0,050	,794	0,059 ,798	0,062
4-5	16 158,414	0,049 ,416	0,047	,414	0,032 ,404	0,032
4-6	9 553,534	0,069 ,534	0,066	,570	0,045 ,556	0,048
4-7	8 215,831	0,048 ,823	0,051	,845	0,030 ,832	0,034
5-6	9 122,323	0,011 ,324	0,012	,322	0,012 ,320	0,015
5-7	8 731,701	0,045 ,712	0,034	,666	0,031 ,674	0,029
6-7	7 253,515	0,009 ,515	0,008	,516	0,010 ,516	0,009

± m<sub>0</sub>                      0,582                      0,597                      0,689                      0,767

Tabelle 8.6

Ausgeglichene sphärische Strecken mit Geodimeter NASM 2A  
Ansatz 1

	$S_{\text{sph.}}$ m	V m	$S_{\text{sph.}}^{\text{ausgegl.}}$ m	$\pm m$ m
1-2	43 714,390	-0,035	43 714,355	0,036
1-3	33 491,479	-0,049	33 491,430	0,114
1-4	29 748,207	0,243	29 748,450	0,109
1-5	22 865,558	0,002	22 865,560	0,016
1-7	27 694,815	-0,030	27 694,785	0,058
2-3	22 287,222	-0,072	22 287,150	0,142
2-4	19 757,354	-0,015	19 757,339	0,106
2-5	21 594,135	0,001	21 594,136	0,021
2-6	23 731,920	0,008	23 731,928	0,050
2-7	16 485,886	0,083	16 485,969	0,048
3-4	5 634,774	-0,045	5 634,729	0,052
3-5	21 788,333	0,090	21 788,423	0,049
3-6	14 637,805	-0,011	14 637,794	0,059
4-5	16 158,327	0,087	16 158,414	0,032
4-6	9 553,621	-0,051	9 553,570	0,045
4-7	8 215,860	-0,015	8 215,845	0,030
5-6	9 122,325	-0,003	9 122,322	0,012
5-7	8 731,683	-0,017	8 731,666	0,031
6-7	7 253,514	0,002	7 253,516	0,010

$$m_0 = \pm 0,689$$

Tabelle 8.7

.0143	-.0167	-.0001	-.0094	.0034	-.0006	.0034	-.0016	.0042	-.0011	.0028
-.0167	.0254	.0066	.0116	.0033	.0023	.0007	-.0014	.0028	-.0003	.0022
-.0001	.0066	.0222	.0122	.0144	.0031	.0086	-.0071	.0153	-.0035	.0103
-.0094	.0116	.0122	.0400	-.0044	.0005	-.0030	.0019	-.0042	.0011	-.0029
.0034	.0033	.0144	-.0044	.0219	.0075	.0110	-.0089	.0192	-.0044	.0128
-.0006	.0023	.0031	.0005	.0075	.0083	.0021	-.0020	.0037	-.0013	.0016
.0034	.0007	.0066	-.0030	.0110	.0021	.0073	-.0054	.0118	-.0028	.0079
-.0016	-.0014	-.0071	.0019	-.0089	-.0020	-.0054	.0049	-.0096	.0025	-.0061
.0042	.0028	.0153	-.0042	.0192	.0037	.0118	-.0096	.0208	-.0047	.0140
-.0011	-.0003	-.0035	.0011	-.0044	-.0013	-.0028	.0025	-.0047	.0017	-.0025
.0028	.0022	.0103	-.0029	.0128	.0016	.0079	-.0061	.0140	-.0025	.0106

Tabelle 8.8

Matrix der Gewichtskoeffizienten, mit Geodimeter NASM 2A, Ansatz 1

Literatur

- Bähr/Richter (1975): Über die Wahl von a-priori-Korrelationen.  
Z. Vermess.-Wes., Stuttgart 100 (1975) 4
- Bayerisches Landesvermessungsamt (1956): Das Bayerische Landesvermessungswerk,  
Heft 6, Das neue bayerische Hauptdreiecksnetz, Teil I,  
Koordinatenverzeichnis, München 1956
- Chablais (1967): Les mesures d'angles verticaux dans le réseau  
d'amplification de la base d'Heerbrugg en 1965.  
Protokoll der 112. Sitzung der Schweiz. Geodätischen  
Kommission vom 4. Juni 1966, Neuchâtel 1967
- Deichl/Reinhart (1971): Der mittlere Brechungsindex bei der elektromagnetischen  
Entfernungsmessung. Allg. Vermess.-Nachr., Karlsruhe 78  
(1971) 8
- Draheim/Lichte (1965): Elektronische Entfernungsmessungen im Basisnetz Heer-  
brugg. Allg. Vermess.-Nachr., Karlsruhe 72 (1965) 4
- Dürst (1961): Bericht über die meteorologischen Radiosondierungen an-  
läßlich der Tellurometer-Vergleichsmessungen auf dem  
Basisvergrößerungsnetz von Heerbrugg vom 10.-15. Okt.  
1960. Zürich 1961
- Fischer (1965): Elektronische Distanzmessungen 1963 in der Nordost-  
schweiz. Protokoll der 110. Sitzung der Schweiz. Geodä-  
tischen Kommission, Neuchâtel 1965
- Fischer (1969): Die Korrelation von Distomat-Messungen.  
Allg. Vermess.-Nachr., Karlsruhe 76 (1969) 2
- Fischer (1971): Versuchsmessungen mit dem AGA Laser-Geodimeter Modell 8  
im schweizerischen Triangulationsnetz 1. und 2. Ordnung.  
Protokoll der 116. Sitzung der Schweiz. Geodätischen  
Kommission, Kloten 1971
- Fischer (1973): Geodimetermessungen 1971. Protokoll der 118. Sitzung  
der Schweiz. Geodätischen Kommission vom 10. Juni 1972,  
Kloten 1973
- Gerke (1963a): Die Geodimetermessungen 1959/60 des Instituts für Ange-  
wandte Geodäsie (Abt. II des Deutschen Geodätischen  
Forschungsinstituts), Dt. Geod. Kommiss. Veröff. R.B. 58-  
Mitt. Inst. Angew. Geod. Nr. 61, Frankfurt 1963
- Gerke (1963b): Über die Grundlinienmessungen und die elektronisch ge-  
messenen Dreiecksseiten I.O. in Westdeutschland.  
Dt. Geod. Kommiss. Veröff. R.B. 99 - Mitt. Inst. Angew.  
Geod. Nr. 60, Frankfurt 1963
- Gerke/Fischer/Fricke (1975): Basismessung Heerbrugg 1959. Messung der Basislänge.  
Astron.-geod. Arb. i.d. Schweiz, Zürich (1975) 30,  
T. II
- Gigas (1960): Physikalisch-Geodätische Meßverfahren.  
Hanseatische Verlagsanstalt GmbH, Hamburg 1960

- Große (1970a): Die Maßstabskontrollen mit dem Geodimeter NASM-2A im west-deutschen Anteil des europäischen Hauptdreiecksnetzes von 1959 bis 1966. Dt. Geod. Kommiss. Veröff. R.B.150 - Mitt. Inst. Angew. Geod. Nr. 103, Frankfurt 1970
- Große (1970b): Das Geodimeter NASM-2A, Wirkungsweise, Genauigkeit und Fehlereinflüsse bei Feldmessungen. Dt. Geod. Kommiss. Veröff. R.B.149 - Mitt. Inst. Angew. Geod. Nr. 102, Frankfurt 1970
- Gurtner (1978): Das Geoid in der Schweiz. Astron.-geod. Arb.i.d. Schweiz, Zürich (1978) 32 und Institut für Geodäsie und Photogrammetrie, Eidgenössische Technische Hochschule Zürich, Mitteilungen Nr. 20
- Höpcke (1964): Über die Bahnkrümmung elektromagnetischer Wellen und ihren Einfluß auf die Streckenmessungen. Z. Vermess.-Wes., 89 (1964) 6
- Höpcke (1980): Fehlerlehre und Ausgleichsrechnung, de Gruyter, Berlin, New York (1980)
- Internationale Union für Geodäsie und Geophysik (1971): XVème Assemblée générale, Bulletin géodésique, Nr. 102, 1971
- Jordan/Eggert/Kneißl (1966): Handbuch der Vermessungskunde, Band VI. Metzlersche Verlagsbuchhandlung, Stuttgart 1966
- Kobold/Fischer (1974): Basismessung Heerbrugg 1959, Beschlüsse und Anlage. Astron.-geod. Arb.i.d. Schweiz, Zürich (1974) 30, Teil I
- Meier (1967): Astronomische Beobachtungen im erweiterten Basisnetz Heerbrugg. Protokoll der 112. Sitzung der Schweiz. Geodätischen Kommission vom 4. Juni 1966, Neuchâtel 1967
- Messerschmidt/Keppke (1968): Elektronische Entfernungsmessungen im Testnetz Oberbayern. Dt. Geod. Kommiss. Veröff. R. B.147, München 1968
- Mitter (1978): Briefliche Mitteilung vom 23. November 1978
- Reuter (1970): Empirische Ermittlung von Korrelationen bei elektromagnetischen Streckenmessungen. Wiss. Arb. Lehrstühle Geod., Photogramm. u. Kartogr. Techn. Univ. Hannover, Hannover (1970) 41
- Saastamoinen (1962): The Effect of Path Curvature of Lighthwaves on the Refractive Index: Application to Electronic Distance Measurement. The Canadian Surveyor, XVI (1962) 2
- Schendel (1963): Das elektronische Präzisions-Entfernungsmeßgerät "ELECTROTAPE", Modell DM-20. Allg. Vermess.-Nachr., Karlsruhe 70 (1963) 3
- Schweiz. Geod. Kommiss. (1960): Protokoll der 105. und 106. Sitzung der Schweiz. Geodätischen Kommission, Neuchâtel 1960
- Schweiz. Geod. Kommiss. (1966): Protokoll der 111. Sitzung der Schweiz. Geodätischen Kommission vom 19. Juni 1965, Neuchâtel 1966

- Schweiz. Geod. Kommiss. (1971): Protokoll der 116. Sitzung der Schweiz. Geod. Kommission, Kloten 1971
- Sigl/Zülsdorf (1961): Tellurometermessungen im Basisvergrößerungsnetz Heerbrugg; unveröff. Manuskript, München 1961
- Wunderlin (1966): ALGOL-Programm GK 13 zur Bearbeitung von Höhenwinkel-messungen. Institut für Geodäsie und Photogrammetrie, Eidg. Technische Hochschule Zürich, interner Bericht, 1966 (mit Ergänzungen von W. Fischer 1972)
- Wunderlin (1967): Lotabweichungen, Geoid und Meereshöhen in den Schweizer Alpen. Astron.-geod. Arb. i.d. Schweiz, 26 (1967)
- Wunderlin (1970): Verwendung rechnerisch bestimmter Refraktionswinkel in einem Höhenwinkelnetz. Z. Vermess.-Wes., Stuttgart 95 (1970) 11
- Wunderlin (1971): Berechnungen im Höhennetz Heerbrugg. Protokoll der 116. Sitzung der Schweiz. Geodätischen Kommission vom 23. Mai 1970, Kloten 1971
- Wunderlin (1979): ALGOL-Programm TGREFR, Modellatmosphäre und Refraktion, Technische Hochschule Zürich, Mitteilungen Nr.26, 1979
- Zeger (1978): Untersuchungen über die trigonometrische Höhenmessung und die Horizontierung von schräg gemessenen Strecken. Österreichische Zeitschrift für Vermessungswesen und Photogrammetrie, Sonderheft, Wien 1978.





