

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 II

Messung der Basislänge

bearbeitet von Karl Gerke, Braunschweig,
mit Beiträgen von Werner Fischer, Zürich,
unter Mitwirkung von Hermann Fricke, Braunschweig.

1975

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 II

Messung der Basislänge

bearbeitet von Karl Gerke, Braunschweig,
mit Beiträgen von Werner Fischer, Zürich,
unter Mitwirkung von Hermann Fricke, Braunschweig.

1975

Adresse der Schweizerischen Geodätischen Kommission:

Institut für Geodäsie und Photogrammetrie
Eidg. Technische Hochschule Zürich
Rämistraße 101
CH-8006 Zürich

Redaktion des 30. Bandes:
Dipl. Ing. W. Fischer, Zürich
Dr. G. Kirschmer, München

VORWORT DES HERAUSGEBERS

Im Vorwort zur Publikationsreihe über die Basismessung Heerbrugg 1959 im ersten Heft ist darauf hingewiesen worden, daß die Publikation der Beobachtungen und Berechnungen in verschiedenen Teilheften erfolgen wird.

Im vorliegenden Teil II wird über die Messung und Berechnung der Basislänge berichtet. Verfasser ist Prof.em.Dr.-Ing. Karl Gerke von der Technischen Universität Braunschweig. Einzelne Beiträge zu diesem Heft lieferten Dipl.Ing. W. Fischer von der Eidg. Technischen Hochschule Zürich und Dipl.-Ing. H. Fricke von der Technischen Universität Braunschweig.

Die Schweizerische Geodätische Kommission freut sich, daß es Prof. Gerke, dem seinerzeit die Leitung der Drahtmessungen übertragen war, gelungen ist, das nicht leichte Thema in wissenschaftlich einwandfreier und klarer Art zu behandeln. Sie dankt ihm und den Mitverfassern auch im Namen der Bodenseekonferenz für all das, was sie für dieses internationale Unternehmen der Basismessung Heerbrugg getan haben.

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

VORWORT DES VERFASSERS

Die Schweizerische Geodätische Kommission legt nun in der Reihe "Astronomisch-geodätische Arbeiten in der Schweiz" den Teil II über die Messung der Basislänge der Publikation "Basismessung Heerbrugg 1959" vor.

Die Fertigstellung des Manuskripts und die Herausgabe haben sich aus vielen Gründen verzögert, dennoch soll und darf auf die Publikation nicht verzichtet werden, um die Erfahrungen bei einer der letzten europäischen Basismessungen mit Invardrähten festzuhalten und die besonderen Eigenarten dieser geodätischen Grundlinie und die Bedeutung einer solchen Gemeinschaftsarbeit erkennbar zu machen.

Die Erfahrungen konnten auf die Basismessung München 1958 gestützt und an die Drahtmessungen der Basen Meppen 1960 und Göttingen 1961 weitergegeben werden.

Dank gebührt allen Mitarbeitern bei der Vorbereitung der Basis, bei der Durchführung der Messungen sowie bei den Auswertungen in den Rechenstellen und besonders in der zentralen Rechenstelle beim Institut für Angewandte Geodäsie (IfAG) in Frankfurt a.M.

Es soll aber auch die entgegenkommende Einstellung der Schweizer Zollbehörden, die verständnisvolle Hilfe der Internationalen Rheinbauleitung und besonders die überaus wertvolle Unterstützung der Vorbereitung der Messungen und der Feldauswertung durch die Firma Wild Heerbrugg AG hervorgehoben werden.

Die für die vorliegende Veröffentlichung notwendigen Berechnungen und das Manuskript waren bereits abgeschlossen, ehe der Bericht "International Standard Base Lines" von T. Honkasalo [10] bekannt wurde. Dessen Ausführungen sind folgende Tatsachen zu entnehmen, die für die Bestimmung der Basislänge von Bedeutung sind.

Die Längen der für die Interferenzmessung der Normalstrecken benützten Quarzmeter wurden durch Längenvergleich auf die Längen der beiden Quarzmeter VIII und XI bezogen, die 1953 im Bureau International des Poids et Mesures geeicht worden waren. Spätere Eichmessungen zeigten, daß diese Längen zu kurz waren und alle Längen des Quarzmeter-Systems um $+ 1,03 \mu$ korrigiert werden mußten.

In der Folge waren auch die Länge der Normalstrecke München und alle daraus abgeleiteten Längen L nachträglich um einen Betrag $+ 1,03 \mu/m \cdot L$ zu vergrößern. Dies konnte aber in den verschiedenen Tabellen nicht mehr berücksichtigt werden. Deshalb treten zwischen den aus dem Normalstreckenvergleich und den aus dem Laborvergleich abgeleiteten Längen Differenzen von der Größenordnung $1 \mu/m$ auf (z.B. im Abschnitt 4.3), die wiederholt zu Diskussionen geführt hatten.

Lediglich im Schlußkapitel 9 mit der Zusammenstellung der Ergebnisse wurden die aus der Normalstrecke München abgeleiteten Längenwerte nachträglich korrigiert (vgl. Abschnitte 9.2.1 und 9.4). Danach ergibt sich eine ausgezeichnete Übereinstimmung der mit amtlichen Drahtkonstanten und Drahtkonstanten aus dem Normalstreckenvergleich ermittelten Basislänge.

Prof. em. Dr.-Ing. K. Gerke

INHALTSVERZEICHNIS

	Seite
1. Einleitung	5
2. Anlage und Ausbau der Basis	7
3. Zeitplan der Basismessung	11
4. Längenvergleich der Meßdrähte vor und nach der Basismessung . .	13
4.1 Vergleich der amtlichen Eichinstitute	13
4.1.1 Bureau International des Poids et Mesures	13
4.1.2 Physikalisch-Technische Bundesanstalt	14
4.2 Vergleich auf der Normalstrecke München	15
4.3 Zusammenstellung der Vergleichsergebnisse	15
5. Örtliche Messungen auf der Basis	17
5.1 Drahtmessungen	17
5.2 Temperaturmessungen für die Drähte	19
5.3 Ablotungen	20
5.4 Nivellement	20
5.5 Alignement	22
5.6 Messung der Brechungswinkel	24
5.7 Messung des Hilfsdreiecks	26
5.8 Schweremessungen	26
6. Feldauswertung	28
6.1 Drahtkonstanten (k_0)	28
6.2 Temperaturkorrektur (k_6)	28
6.3 Kontrolle und Zusammenstellungen	28
7. Korrekturen an den Drahtmessungen	30
7.1 Kontrolle der Feldauswertung	30
7.2 Nivellementskorrekturen (k_1, k_2, k_3)	30
7.3 Alignementskorrekturen (k_4)	31
7.4 Ablotungskorrektur (k_5)	31
7.5 Skalenneigungskorrektur (k_7)	31
7.6 Reduktion auf Meereshorizont (k_8)	32
7.7 Spannungsgewichtskorrektur (k_9)	32
7.8 Schwerekorrektur (k_{10})	32
7.9 Zusammenfassung der Korrekturen	33
8. Reduktion des Basispolygons	35
8.1 Reduktion auf gleichen Horizont	35
8.2 Reduktion der Hilfsbasis	35
8.3 Reduktion der 4. Stufe	35
8.4 Reduktion der 3. Stufe	36
8.5 Reduktion der 2. Stufe	36

8.6	Reduktion der 1. Stufe	38
8.7	Zusammenfassung der Reduktionen	41
9.	Zusammenstellung der Ergebnisse	42
9.1	Ergebnisse der Messungen auf der Normalstrecke	42
9.2	Ergebnisse der Messungen auf der Basis	43
9.2.1	Mit Drahtkonstanten aus dem Normalstreckenvergleich	43
9.2.2	Mit Drahtkonstanten der amtlichen Eichinstitute	44
9.3	Fehlerbetrachtungen	45
9.3.1	Genauigkeit der Drahtmessung	45
9.3.2	Mittlerer Fehler des Hilfsdreiecks	45
9.3.3	Fehleranteil der Reduktion des Basispolygons	46
9.3.4	Fehleranteil der Drahtmessung	47
9.3.5	Gesamtfehler der Basislänge	47
9.4	Endgültige Basislänge und ihr mittlerer Fehler	48
10.	Literaturverzeichnis	49

ANLAGEN

- 1 Basis Heerbrugg 1 : 25 000
- 2 Basispolygon Heerbrugg 1959
- 3 Hilfsdreieck Basisende Süd
- 4 Basisende Nord - Beobachtungspfeiler
- 5 " " - Einmessung des Pfeilers
- 6 " " - Exzentrizität der Bolzen
- 7 Basisende Süd - Beobachtungspfeiler
- 8 Basispunkt A
- 9 Basispunkt B
- 10 Basisende Süd - Lage der Kontrollbolzen
- 11 Basispunkt A - Lage der Versicherungsmarken
- 12 Basisende Süd und Basispunkt A - Exzentrizität der Bolzen
- 13 Zeitplan für die Messungen
- 14 Certificat des BIPM
- 15 Prüfschein der PTB
- 16 Ergebnisse der Temperaturmessungen am 7.9.59
- 17 Zusammenstellung der Ergebnisse der Drahtmessungen auf der Normalstrecke München
- 18 Zusammenstellung der Ergebnisse der Drahtmessungen für die Basis mit amtlichen Drahtkonstanten
- 19 Zusammenstellung der Ergebnisse der Drahtmessungen für die Basis mit Drahtkonstanten aus dem Normalstreckenvergleich
- 20 Zusammenstellung der Ergebnisse der Drahtmessungen für die Hilfsbasis

1. Einleitung

Die Bodenseekonferenz hat entsprechend den Empfehlungen der Internationalen Union für Geodäsie und Geophysik zur Maßstabsübertragung und entsprechend ihren eigenen Gedanken zur Schaffung eines Testnetzes für neue elektronische Entfernungsmeßverfahren im Bergland auf ihren Sitzungen am 31. Mai 1957 in Lochau bei Bregenz, am 10. Dezember 1957 in Zürich, am 23. und 24. Januar 1959 in München sowie am 25. Mai 1959 in Bad Balgach beschlossen, eine geodätische Basis mit Vergrößerungsnetz gemeinsam von den Ländern Schweiz, Österreich und Deutschland anzulegen und zu messen [1]. Nach eingehenden Beratungen und Erkundungen wurde diese Basis bei Heerbrugg im Rheintal angelegt, so daß eine gute Maßstabskontrolle für die Dreiecksnetze der beteiligten Länder gewährleistet war. Die einzelnen Seiten des Vergrößerungsnetzes hatten so unterschiedliche topographische Profile, daß aus der Analyse der Ergebnisse der elektrooptischen Entfernungsmessungen und derjenigen mit Mikrowellen neue Erkenntnisse erwartet werden durften.

Der nördliche Basisendpunkt war auf dem westlichen Widerlager der Diepoldsauer Rheinbrücke vorgesehen, die evtl. Lageveränderungen wurden durch Wiederholungsmessungen in einem kleinen Kontrollnetz bestimmt. Der südliche Endpunkt der Basis war auf dem geologisch stabilen Montlinger Berg festgelegt. Die mit Invardrähten zu messenden 24 m-Strecken folgten dem westlichen Rheindamm, sie lagen damit auf einem stärker als gewöhnlich bei Basismessungen ausgebogenen Polygonzug (Anlage 1), boten dadurch aber i. a. gute Meßbedingungen.

Die Meßtrupps wurden von den drei beteiligten Ländern gestellt; das Personal für die Drahtmessung wurde zu einem einheitlichen Training zusammengefaßt, um nach den Erfahrungen der Messungen auf der Basis München 1958 ein gleiches Verfahren und gute Sorgfalt zu sichern. Allerdings muß erwähnt werden, daß die zur Verfügung stehenden Meßdrähte z. T. alte Invardrähte, z. T. aber auch junge Invar- bzw. Indilatansdrähte waren, was zweifellos bei der Analyse der Ergebnisse erkennbar und zu beachten sein wird.

Die Leitung der Drahtmessungen wurde dem Verfasser übertragen. Es sei bereits hier darauf hingewiesen, daß nach den Messungen auch verabredet wurde, für die Auswertung einheitliche Methoden anzuwenden, ja, daß auch gemeinsame Auswertewochen stattgefunden haben. Dennoch haben die einzelnen Dienststellen teilweise unterschiedliche Reihenfolgen und Zusammenfassungen der Korrekturen gewählt, so daß die Zwischenergebnisse nicht immer verglichen werden können.



Bild 1: Pfeiler BN auf dem westlichen Widerlager der Straßenbrücke Widnau - Diepoldsau

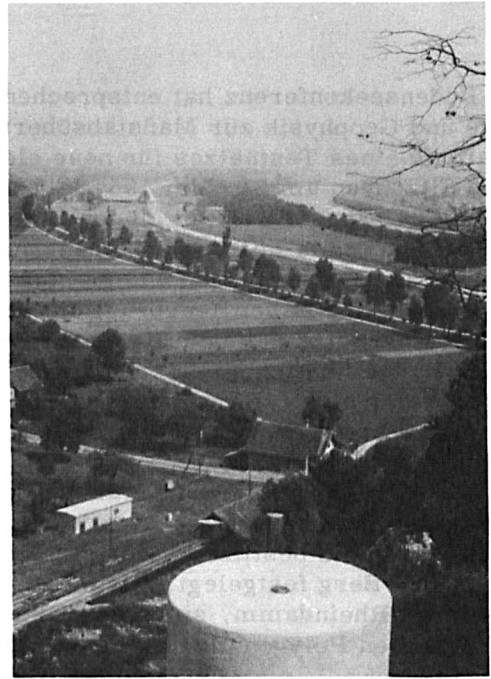


Bild 2: Blick vom Pfeiler BS auf dem Montlinger Berg in Richtung BN

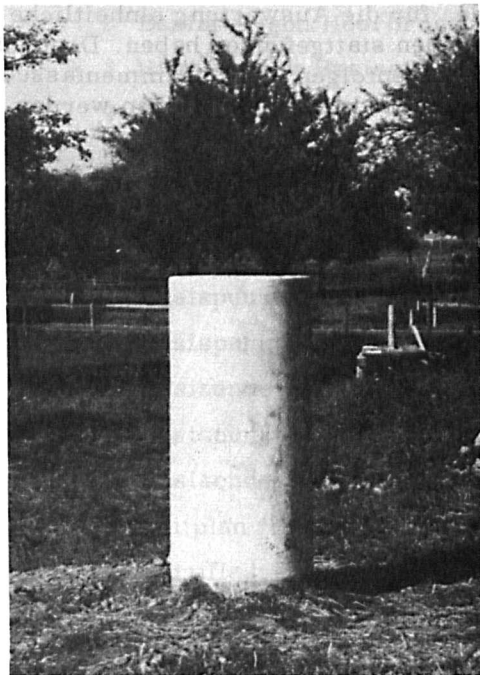


Bild 3: Pfeiler A mit Blickrichtung gegen die Basis, dahinter der erste 24 m-Punkt mit kleinem Podest

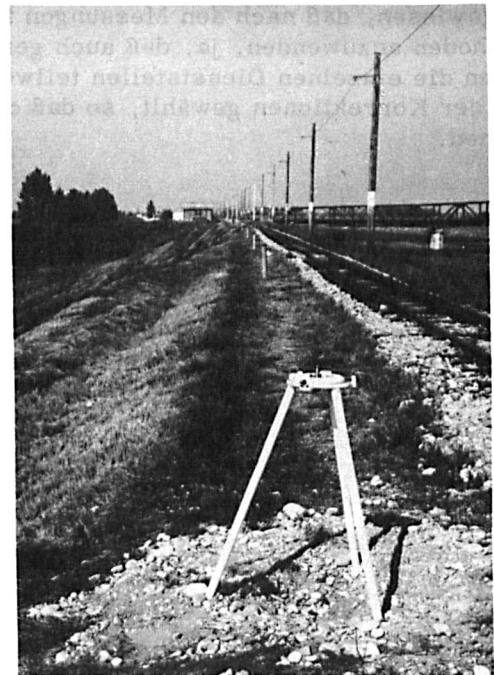


Bild 4: Eisenrohrstativ über BP 7 mit Blick gegen das nördliche Basisende

2. Anlage und Ausbau der Basis

Über die Gründe der Anlage der Basis bei Heerbrugg, im Rheintal auf der schweizerischen Seite, wird im Teil I der Publikation über die Basismessung Heerbrugg berichtet [1].

Zur Schaffung guter Meßbedingungen für die einzelnen Drahtlagen sowie zur Vermeidung von Flurschaden und zur Umgehung der Baustellen der Nationalstraße vom Bodensee nach Chur wurde die Basis entlang dem westlichen Hochwasserdamm der Internationalen Rheinbauleitung angelegt. Ein weiterer Vorteil war, daß der Materialtransport mit der auf dem Damm verlaufenden Kleinbahn durchgeführt werden konnte. Die Internationale Rheinbauleitung erklärte sich überdies bereit, den normalen Verkehr dieser Bahn während der Messungen einzustellen; Notfälle sollten ausgenommen sein, sind aber nicht eingetreten. Soweit erforderlich, durften auch einige Pfähle zwischen die Schienen gesetzt werden.

Nachteilig war bei dieser Anlage die - vor allem im Nordteil - starke Ausbiegung der Meßstrecke (Anlage 1). Der nördliche Endpunkt der Basis auf dem westlichen Widerlager der Straßenbrücke Widnau - Diepoldsau gestattete den direkten Anschluß der Drahtmessungen. Die Lage des südlichen Basisendpunktes auf dem Montlinger Berg, 60 m über der Rheinebene, machte dagegen die trigonometrische Bestimmung der Teilstrecke BS - A mit Hilfe einer 216 m langen Hilfsbasis erforderlich (Anlagen 2 und 3).

Die erste Absteckung der Basisstrecke erfolgte durch die Eidgenössische Landestopographie; sie diente in erster Linie der endgültigen Festlegung der Endpunkte und der Brechpunkte des Basispolygons.

Die zweite Absteckung wurde in der Zeit vom 11. bis 20. Juni 1959 vom Institut für Angewandte Geodäsie, Frankfurt a.M., durchgeführt, und zwar zwischen den bereits betonierten Zwischenpunkten A, 41, 56, 95, 130, 165, 208, 251 und BN.

Um für das Teilstück von BP 5 bis BN (Anlagen 1 und 2) das Alignement zu vereinfachen, entschloß man sich am 4. August 1959 nach einer gemeinsamen Begehung der Meßstrecke durch Vertreter der Firma Wild, der Schweizerischen Geodätischen Kommission und des Instituts für Angewandte Geodäsie, diesen Teil in einer dritten Absteckung neu zu überarbeiten.

Auf dem Basisendpunkt Nord wurde ein Betonpfeiler errichtet, der durch Anker fest mit dem Widerlager verbunden war (Anlage 4, Bild 1). Etwaige Lageveränderungen sollten durch ein kleines Kontrollnetz bestimmt werden (Anlage 5). Der im Pfeiler eingelassene Kappenbolzen wurde während des Baues lagemäßig gegenüber der Bodenmarke festgelegt (Anlage 6).

Der Basisendpunkt Süd sowie die Endpunkte A und B der Hilfsbasis am Fuß des Montlinger Berges sind ebenfalls durch Betonpfeiler vermarktet worden (Anlagen 7, 8 und 9, Bilder 2 und 3). Beim Punkt Basis Süd sind zudem vier kleine Versicherungsbolzen in den Fels des Montlinger Berges eingelassen worden, mit deren Hilfe die Lage des Pfeilers jederzeit kontrolliert werden konnte (Anlage 10). Auch für die Kontrolle des Pfeilers A wurden im Abstand von je 5 m vier Versicherungsmarken im Boden verankert (Anlage 11). Beim Pfeiler B, der lediglich als Hilfspunkt diente, wurde hingegen auf eine weitere Versicherung verzichtet. Die Lage der Kappenbolzen in den Pfeilern BS und A gegenüber der unterirdischen Festlegung wurde während des Baues bestimmt (Anlage 12).

Die Brechpunkte BP 1 bis BP 7 des Basispolygons (Anlagen 1 und 2) sind durch unterirdische Betonpfähle (U. F.) versichert worden, in deren Kopffläche von 20 x 20 cm ein Bolzen eingelassen wurde. Darüber wurden für die Aufnahme des Jäderinzapfens und die Aufstellung des Theodolits sowie des Ablotegerätes von der Firma Wild konstruierte Eisenrohrstative mit horizontaler Kopffläche einbetoniert (Bild 4).

Längs der im Bogen verlaufenden Dammkrone von BP 5 bis BN wurden an geeigneten Punkten der bestehenden Meßstrecke Nebenpolygonpunkte festgelegt. Auf den dadurch entstandenen Nebenpolygonseiten 208 - 219, 219 - 230 und 277 - 287 lagen die 24 m-Punkte bereits in einer Geraden oder mußten noch endgültig in diese eingefluchtet werden. Bei den Nebenpolygonseiten 165 - 179, 179 - 194, 230 - 242, 242 - 251, 257 - 267 und 267 - 277 war es hingegen zweckmäßiger, die Meßstrecke in zwei Geraden mit einem gemeinsamen Knickpunkt aufzuteilen. Lediglich die Abschnitte 194 - 208, 251 - 257, 262 - 267 und 291 - 297 (= BN) wurden in ihrem ge-



Bild 5: Pfahl auf Punkt 96
mit Jäderinzapfen



Bild 6: Punkt 19 mit Podest und
Steg über den Zapfenbach, im Hin-
tergrund der Montlinger Berg

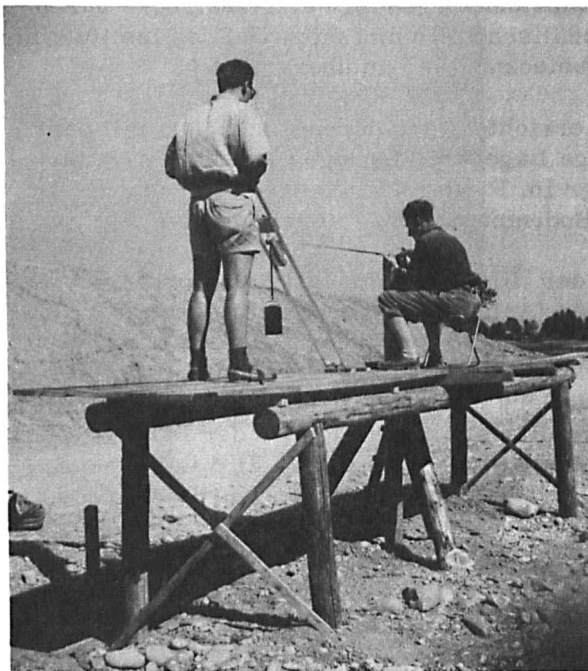


Bild 7: Punkt 37 bei der Natio-
nalstraßen-Baustelle mit Podest

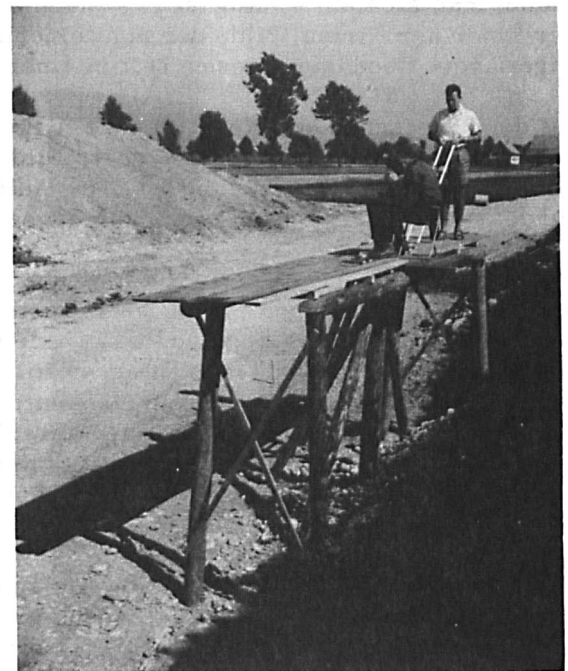


Bild 8: Punkt 38 bei der Natio-
nalstraßen-Baustelle mit Podest

krümmten Verlauf belassen; sie folgten damit dem Rand der Dammkrone, während beim letzten Abschnitt die durch die bereits feststehende Lage des nördlichen Basisendpunktes bedingte Verkürzung der Meßstrecke die vorhandene Ausbiegung unumgänglich machte.

Auch auf der Strecke von BP 3 bis BP 5 wurden zwei zusätzliche Brechpunkte vorgesehen, da die 24 m-Punkte wegen der schwierigen Sichtverhältnisse nicht in eine Gerade gelegt werden konnten. Einige Punkte mußten neu in die dadurch festgelegten Nebenpolygonseiten eingefluchtet werden. Der Nebenpolygonpunkt 148 wurde übrigens nachträglich als Hauptpolygonpunkt behandelt, weil die direkte Visur von BP 4 nach BP 5 nahe dem Boden verlief und dadurch schwierig zu beobachten war.

Der Verlauf der so gestalteten Basisstrecke ist in Anlage 2 schematisch dargestellt.

An den 24 m-Punkten sind Holzpfähle von etwa 2 m Länge eingerammt worden, so daß sie etwa 0,7 m über dem Boden herausragten. In ihre Kopffläche wurden einteilige Jäderinzapfen eingeschraubt; es waren die gleichen Jäderinzapfen wie bei der Basismessung München 1958 [2] (Bild 5). Besondere Ausbauten für eine gute Drahtmessung waren nur auf der Strecke von A bis 95 erforderlich. Der Zapfenbachübergang wurde durch einen Steg geschaffen (Bild 6). Der in die Bachböschung fallende 24 m-Punkt 19 mußte bei einer Pfahllänge von über 4 m mehrfach abgestützt werden. Für die Überwindung der Böschung an der im Bau befindlichen Nationalstraße bei den 24 m-Punkten 33, 37 und 38 und der Dammböschungen bei den 24 m-Punkten 57 bis 61, 83 und 84 sowie 92 und 93 wurden längere Holzpfähle eingerammt, so daß die Höhenunterschiede der einzelnen Drahtlagen höchstens 1 m betrugen. Sie wurden sorgfältig abgestützt sowie mit Podesten umbaut, die sie nirgends berührten (Bilder 7 und 8).

Beim Punkt 172 war es wegen eines Förderbandes bei einer Materialdeponie der Internationalen Rheinbauleitung nicht möglich, einen Pfahl einzurammen. Deshalb wurde an dieser Stelle ein kleines Holzstativ mit Jäderinzapfen benutzt, von denen das Institut für Angewandte Geodäsie sechs in Bereitschaft hatte (Bild 9). Ein weiteres Stativ mußte in der zweiten Hälfte der Basismessung anstelle des durch ein Landwirtschaftsfahrzeug abgebrochenen 24 m-Pfahls 77 eingesetzt werden.

Um auf den Nebenpolygonpunkten 117, 148, 179, 194, 219, 230, 242, 257, 267, 277 und 287 Winkelmessungen ausführen zu können, wurden die normalen Holzpfähle durch längere und stärkere Pfähle ersetzt, die als Instrumentenstandpunkte ausgebildet wurden. Zu diesem Zweck wurden auf ihrer horizontalen Kopffläche verleimte Holzteller von 25 cm Durchmesser und 5 cm Dicke aufgesetzt. Die in der Mitte derselben eingelassenen Messinghülsen gestatteten bei der Winkelmessung die Zentrierung der Wild T3-Theodolite mit der Zentrierkugel, bei der Drahtmessung den Einsatz der für diese Punkte aus Bronze angefertigten Jäderin-Steckzapfen (Bilder 10, 11 und 12).

Der gesamte Ausbau wurde vom 3. 8. bis 8. 8. 1959 nochmals kontrolliert. Die Zeitdifferenz zwischen Ausbau und Messung - bei anderen Basismessungen > 3 Monate - betrug nur 1 - 2 Monate, weil der Bahnverkehr auf dem Hochwasserdamm nicht länger unterbrochen werden konnte.



Bild 9: Aufstellen eines kleinen Holzstativs als Ersatz für einen abgebrochenen Pfahl



Bild 10: Als Instrumentenstandpunkt ausgebildeter Holzpfahl mit Jäderinzapfen

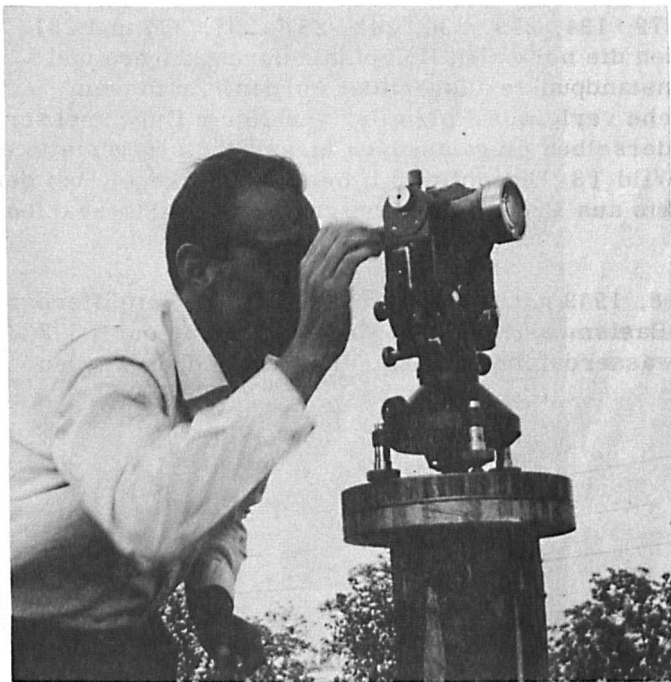


Bild 11: Winkelmessung mit Wild T3-Theodolit auf einem Instrumentenstandpunkt

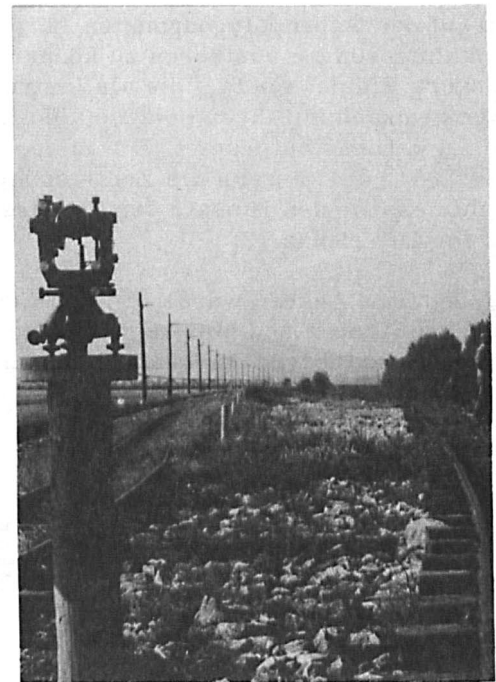


Bild 12: Instrumentenstandpunkt mit Wild T3-Theodolit

3. Zeitplan der Basismessung

Sämtliche Meßdrähte und Reservedrähte wurden vor und nach der Basismessung teilweise beim Bureau International des Poids et Mesures (BIPM) in Sèvres und teilweise bei der Physikalisch-Technischen Bundesanstalt (PTB) in Braunschweig verglichen. Diese amtlichen Vergleiche fanden vor der Basismessung vom 15. Mai bis 1. August 1959 und nach der Basismessung vom 15. Oktober bis 15. Dezember 1959 statt.

Der gesamte Zeitplan [1] für die Drahtmessungen auf der Normalstrecke und auf der Basis wurde für Doppelmessungen - hin und zurück - auf jeder Strecke aufgestellt und konnte wegen der günstigen Wetterlage eingehalten werden. Somit fand der Drahtvergleich auf der Normalstrecke am 26. und 27. August, die eigentliche Basismessung vom 31. August bis 10. September und der abschließende Drahtvergleich auf der Normalstrecke am 14. und 15. September 1959 statt.

Den sechs Meßtrupps waren folgende Drähte zugeteilt worden:

Tabelle 1

Meß-trupp	Land/ Institut	Meßdrähte		Reservedrähte c
		a	b	
I	Schweiz	K 1	K 2	98
II	Österreich	527	526	255 811
III	Österreich	529	528	255 812 255 813
IV	I. Abt. DGFI ^{x)} , München	511	510	509
V	II. Abt. DGFI, Frankfurt	A 27	38	302
VI	II. Abt. DGFI, Frankfurt	37	301	36

x) Deutsches Geodätisches Forschungsinstitut

Ausgehend von dem Gedanken, die Meßdrähte nicht länger als fünf bis sechs Tage ungeprüft zu lassen, wurde eine Basisstrecke als örtliche Relativ-Vergleichsstrecke ausgewählt und mehrfach gemessen. Für den Relativ-Vergleich der Meßdrähte wurde der Basisabschnitt von Punkt 95 bis 130 (= 35 Drahtlagen) ausgewählt. Die Auswahl erfolgte wegen der guten Meßbedingungen und der guten Anfahrtsmöglichkeit, zum andern wegen der passenden Länge, die eine Hin- und Rückmessung mit mehreren Drähten an einem Tag ermöglichte, wie etwa auf der Münchener Normalstrecke.

Auch die übrige Basisstrecke wurde in mehrere Tagesabschnitte unterteilt, deren Hin- und Rückmessung von allen sechs Trupps jeweils in einem Tag möglich war. Eine Übersicht über die Reihenfolge der Drahtmessungen gibt die nachstehende Tabelle 2.

Tabelle 2

Datum	Tagesabschnitt	von	bis	Anzahl Draht- lagen	Drähte
26.8.	Normalstrecke	0	36	36	a, b, c
27.8.	Normalstrecke	0	36	36	
31.8.	Vergleichsstrecke (2)	130	95	35	a, b
1.9.	1	{ A	95	95	a
			B	9	
2.9.	3	130	208	78	a
3.9.	4	BN	208	89	a
4.9.	Vergleichsstrecke (2)	130	95	35	a, b
5.9.	Vergleichsstrecke (2)	130	95	35	c
7.9.	1	{ A	95	95	b
			B	9	
8.9.	3	130	208	78	b
9.9.	4	BN	208	89	b
10.9.	Vergleichsstrecke (2)	130	95	35	a, b
14.9.	Normalstrecke	0	36	36	a, b, c
15.9.	Normalstrecke	0	36	36	

Der Zeitplan für alle Hilfsmessungen richtete sich weitgehend nach demjenigen für die Drahtmessungen. Die Ablotung der Endpunkte und der Brechungspunkte BP 1 bis BP 7 hatte am Tag der Messung des jeweiligen Abschnitts vor und nach der Drahtmessung zu erfolgen. Auch die Messung des Nivellements, des Alignements und der Brechungswinkel war grundsätzlich vor und nach jeder Drahtmessung vorgesehen, wobei für die letzteren ein zeitlicher Abstand von höchstens einigen Tagen toleriert war.

Die vorgesehenen Meßoperationen, sowohl Drahtmessungen als auch Hilfsmessungen, sind in einem Zeitdiagramm dargestellt (Anlage 13). Der tatsächliche Meßablauf deckte sich auch bei den Hilfsmessungen weitgehend damit, wenn er auch aus personellen Gründen zeitlich gerafft werden mußte. Im Abschnitt 5 wird ausführlicher darüber berichtet.

4. Längenvergleich der Meßdrähte vor und nach der Basismessung

Die Drähte K 1 und K 2 des schweizerischen Meßtrupps K sind erst im Jahr 1959 von der Firma Kern & Co. AG, Aarau, aus Invar hergestellt worden, sie waren damit für die Messungen noch sehr junge Drähte. Die Drähte der österreichischen Trupps II und III sind von Secrétan, Paris, aus Invar und die des Trupps IV (München) von Askania, Berlin, aus Indilatans angefertigt worden. Über die Herkunft der Drähte der Trupps V und VI (Frankfurt) wird ausführlich in [2] berichtet.

Nach der Empfehlung der IAG von Rom 1954 (Bulletin géodésique Nr. 35 (1955) S. 96 - 97) sollte in jedem Land eine Standard-Basis errichtet werden, die nach der Väisälä-Methode gemessen zum Vergleich der Invarbänder bzw. -drähte und Geodimeter dienen und einen einheitlichen Maßstab sichern sollte. In den an diese Empfehlung anschließenden Diskussionen und Beratungen wurde festgelegt, daß dann die Basislänge mit den Ergebnissen der Drahtvergleiche auf dieser Normalstrecke zu berechnen sei. Für wissenschaftliche Untersuchungen sollten aber auch zusätzlich amtliche Drahtkonstantenbestimmungen bei den Eichinstituten vorgenommen werden.

Die Ausdehnungskoeffizienten sollten mindestens in einem Zeitraum von etwa 2 Jahren bestimmt werden.

4.1 Vergleich der amtlichen Eichinstitute

Die für die Messung vorgesehenen Drähte wurden zum Vergleich auf die amtlichen Eichinstitute Bureau International des Poids et Mesures (BIPM), Sèvres bei Paris (4 Meßdrähte) und Physikalisch-Technische Bundesanstalt (PTB), Braunschweig (8 Meßdrähte) verteilt. Damit sollte ein Teil der Drähte in Paris an das 1959 noch geltende Internationale Urmeter, der andere Teil an den in Deutschland vorhandenen Prototyp angeschlossen werden.

Die Reservedrähte wurden ebenfalls verglichen, aber für Messungen auf der Basis nicht benutzt. Es werden daher im folgenden nur die Ergebnisse der Meßdrähte mitgeteilt.

4.1.1 Bureau International des Poids et Mesures

Die schweizerischen Drähte wurden in ihren Transportkisten per Bahn nach Paris und wieder zurück geschickt. Die Invardrähte der II. Abt. des DGFI wurden in ihren hölzernen Transportkisten von Frankfurt nach Paris in einem VW-Kombi transportiert; die Kisten wurden während der Fahrt auf Gummischläuche gelegt, um Fahrerschütterungen nicht zu übertragen.

Das BIPM hat vor der Basismessung lediglich den Längenvergleich durchgeführt, also die Drahtkonstante k_0 bestimmt, weil nach seiner Auffassung die Zeit vom Vergleich bis zur Basismessung für die Bestimmung der Ausdehnungskoeffizienten zu kurz war. Für die jungen Drähte K 1 und K 2 wurde im Dezember 1959 im Anschluß an den Längenvergleich nach der Basismessung der Ausdehnungskoeffizient bestimmt. Für die Drähte A 27 und 301 stammen die Ausdehnungskoeffizienten vom November 1958, sie waren s. Zt. im Anschluß an den Längenvergleich nach der Basismessung München 1958 bestimmt worden, es wurden nach der Basismessung lediglich die Drahtkonstanten k_0 ermittelt.

Diese Drahtkonstanten und Ausdehnungskoeffizienten der Meßdrähte wurden in Tabelle 3 zusammengestellt. Diese Werte beziehen sich auf eine Temperatur von 15°C , ein Spannungsgewicht von 10,000 kg und eine Schwere von 980,940 Gal.

Tabelle 3

Draht Nr.	Werte vor der Basismessung		Werte nach der Basismessung		Mittel k_0	Differenz + = Längung - = Kürzung
	k_0	α	k_0	α		
	mm	$\mu/^\circ\text{C}, \text{ m}$	mm	$\mu/^\circ\text{C}, \text{ m}$	mm	μ
K 1	- 0,48	-	- 0,62	$(+0,035+0,00308 \cdot t) \cdot 10^{-6}$	- 0,550	- 140
K 2	- 0,81	-	- 1,21	$(+0,034+0,00305 \cdot t) \cdot 10^{-6}$	- 1,010	- 400
A 27	- 7,58	$(-0,165+0,00225 \cdot t) \cdot 10^{-6}$	- 7,57	-	- 7,575	+ 10
301	+13,57	$(-0,295+0,00827 \cdot t) \cdot 10^{-6}$	+ 13,61	-	+13,590	+ 40

Als Beispiel ist der Prüfschein (Certificat) vom 14. August 1959 abgedruckt (Anlage 14). Über die Verfahren für den Längenvergleich und für die Bestimmung des Ausdehnungskoeffizienten berichtet A. Bonhoure [3].

4.1.2 Physikalisch-Technische Bundesanstalt

Die Längenbestimmungen der Drähte 526, 527, 528 und 529 (österreichische Meßdrähte) sind etwa dreiviertel Jahr vor der Basismessung bzw. ein halbes Jahr nachher von der PTB durchgeführt worden. Unmittelbar vor und nach der Basismessung wurden ebenfalls von der PTB nur die Drähte 510, 511, 37 und 38 der Münchener und Frankfurter Meßtrupps verglichen. Nach der Basismessung wurden auch deren Ausdehnungskoeffizienten bestimmt. Die Temperaturkorrektur k_6 der Drähte 37 und 38 wurde mit Ausdehnungskoeffizienten berechnet, die sich als Mittelwerte ihrer Bestimmungen vor und nach der Basismessung München 1958 ergaben.

Die Ergebnisse der Längenvergleiche und Bestimmungen der Ausdehnungskoeffizienten sind in der folgenden Tabelle 4 zusammengestellt (reduzierte Werte). Diese Werte beziehen sich auf eine Temperatur von 20°C , ein Spannungsgewicht von 10,000 kg und eine Schwere von 981,2682 Gal (Einfluß der Skalenneigung berücksichtigt).

Tabelle 4

Draht Nr.	Werte vor der Basismessung				Werte nach der Basismessung				Mittel k_0	Differenz + = Längung - = Kürzung
		k_0		α		k_0		α		
		mm		$\mu/^\circ\text{C}, \text{ m}$		mm		$\mu/^\circ\text{C}, \text{ m}$	mm	μ
526	Dez. 58	+ 0,705	Dez. 58	+ 0,12	März 60	+ 0,661	-	-	+ 0,683	- 44
527	Dez. 58	- 0,186	Dez. 58	+ 0,11	März 60	- 0,201	-	-	- 0,194	- 15
528	Dez. 58	+ 0,375	Dez. 58	+ 0,11	März 60	+ 0,361	-	-	+ 0,368	- 14
529	Dez. 58	- 0,498	Dez. 58	+ 0,12	März 60	- 0,483	-	-	- 0,490	+ 15
510	Aug. 59	+ 0,544	-	-	Nov. 59	+ 0,519	Nov. 59	+ 0,35	+ 0,532	- 25
511	Aug. 59	+ 0,462	-	-	Nov. 59	+ 0,448	Nov. 59	+ 0,28	+ 0,455	- 14
37	Jul 59	-12,203	Aug./ Okt. 58	+ 0,25	Nov. 59	-12,201	Nov. 59	+ 0,25	-12,202	+ 2
38	Jul 59	- 5,032	Aug./ Okt. 58	+ 0,32	Nov. 59	- 5,046	Nov. 59	+ 0,30	- 5,039	- 14

Als Beispiel ist in Anlage 15 der Prüfschein vom 15. Dezember 1958 abgedruckt. Die Längenvergleiche sind auf der Vergleichsstrecke im Meßkeller der PTB mit einer Genauigkeit von $\pm 20 \mu$ ausgeführt worden. Die Ausdehnungskoeffizienten sind mit einer Genauigkeit von $\pm 0,05 \mu/^\circ\text{C}, \text{ m}$ bestimmt worden. Über das Vergleichsverfahren der PTB haben Ch. Hoffrogge und H. Rummert berichtet [4].

4.2 Vergleich auf der Normalstrecke München

Die Anlage und der Bau der europäischen Normalstrecke im Ebersberger Forst bei München ist von M. Kneißl [5] beschrieben worden. Über die Interferenzmessungen der Normalstrecke haben M. Kneißl und G. Eichhorn berichtet [6].

Die Normalstrecke wurde mit allen Meß- und Reservedrähten zweimal gemessen, und zwar je einmal vor und nach der Basismessung. Es sollten die Vergleichsmessungen auf der Normalstrecke von denselben Beobachtern und Spannbockträgern und unter den gleichen Verhältnissen wie bei der Basismessung ausgeführt werden. Leider haben in einigen Fällen die Beobachter gewechselt. Im großen und ganzen enthalten aber die aus dem Vergleich der mit den Drähten gemessenen Länge mit der interferometrisch bestimmten Normalstrecke abgeleiteten Drahtkonstanten alle persönlichen Einflüsse der Beobachter und alle sachlichen Einflüsse des Meßverfahrens.

Für die Berechnung der Drahtkonstanten ist das Ergebnis der Interferenzmessung auf den mittleren Messungshorizont der Drahtstrecke von 550,760 m ü.NN reduziert worden; das ergab die Länge von 864 019,535 mm zwischen den Zapfen 0 und 864. Die nachstehende Tabelle 5 enthält die aus den Vergleichsmessungen ermittelten Drahtkonstanten k_0 .

Diese Werte beziehen sich auf eine Temperatur von 15° C (BIPM) bzw. 20° C (PTB), ein Spannungsgewicht von 10,000 kg und eine Schwere von 980,7133 Gal (Normalstrecke München).

Tabelle 5

Draht Nr.	Eichin- stitut	Drahtkonstanten k_0			Differenzen + = Längung - = Kürzung
		1. Messung 26./27. 8. 59	2. Messung 14./15. 9. 59	Mittel	
		mm	mm	mm	µ
K 1	BIPM	- 0,600	- 0,715	- 0,658	- 115
K 2	BIPM	- 1,018	- 1,183	- 1,100	- 165
526	PTB	+ 0,614	+ 0,636	+ 0,625	+ 22
527	PTB	- 0,210	- 0,252	- 0,231	- 42
528	PTB	+ 0,362	+ 0,337	+ 0,350	- 25
529	PTB	- 0,543	- 0,529	- 0,536	+ 14
510	PTB	+ 0,539	+ 0,545	+ 0,542	+ 6
511	PTB	+ 0,445	+ 0,437	+ 0,441	- 8
A 27	BIPM	- 7,586	- 7,595	- 7,590	- 9
301	BIPM	+ 13,561	+ 13,586	+ 13,574	+ 25
37	PTB	- 12,254	- 12,239	- 12,246	+ 15
38	PTB	- 5,066	- 5,064	- 5,065	+ 2

4.3 Zusammenstellung der Vergleichsergebnisse

In der nachstehenden Tabelle 6 sind die Ergebnisse der in den amtlichen Eichinstituten und auf der Normalstrecke München durchgeführten Drahtvergleiche - reduziert auf die einheitliche Bezugsschwere der Normalstrecke München mit $g = 980,7133$ Gal - zusammengestellt worden.

Tabelle 6

Draht Nr.	Teil- nehmer	Bezugs- temp.	Eich- inst.	Drahtkonstanten k_0 Normalstrecke			Labor 2. Vergl.	Mittel		L - N	ΔL nach-vor	ΔN nach-vor
				Labor 1. Vergl.	1. Messung 26./27.8.59	2. Messung 14./15.9.59		Labor	Normal- strecke			
		°C		mm	mm	mm	mm	mm	mm	μ	μ	μ
K 1	Schweiz	15	BIPM	- 0,482	- 0,600	- 0,715	- 0,622	- 0,552	- 0,658	+ 106	- 140	- 115
K 2	Schweiz	15	BIPM	- 0,812	- 1,018	- 1,183	- 1,212	- 1,012	- 1,100	+ 88	- 400	- 165
526	Österr.	20	PTB	+ 0,701	+ 0,614	+ 0,636	+ 0,657	+ 0,679	+ 0,625	+ 54	- 44	+ 22
527	Österr.	20	PTB	- 0,190	- 0,210	- 0,252	- 0,205	- 0,198	- 0,231	+ 33	- 15	- 42
528	Österr.	20	PTB	+ 0,371	+ 0,362	+ 0,337	+ 0,357	+ 0,364	+ 0,350	+ 14	- 14	- 25
529	Österr.	20	PTB	- 0,502	- 0,543	- 0,529	- 0,487	- 0,494	- 0,536	+ 42	+ 15	+ 14
510	München	20	PTB	+ 0,540	+ 0,539	+ 0,545	+ 0,515	+ 0,528	+ 0,542	- 14	- 25	+ 6
511	München	20	PTB	+ 0,458	+ 0,445	+ 0,437	+ 0,444	+ 0,451	+ 0,441	+ 10	- 14	- 8
A 27	Frankf.	15	BIPM	- 7,582	- 7,586	- 7,595	- 7,572	- 7,577	- 7,590	+ 13	+ 10	- 9
301	Frankf.	15	BIPM	+13,568	+13,561	+13,586	+13,608	+13,588	+13,574	+ 14	+ 40	+ 25
37	Frankf.	20	PTB	-12,207	-12,254	-12,239	-12,205	-12,206	-12,246	+ 40	+ 2	+ 15
38	Frankf.	20	PTB	- 5,036	- 5,066	- 5,064	- 5,050	- 5,043	- 5,065	+ 22	- 14	+ 2

Diese Werte beziehen sich auf eine Temperatur von 15°C (BIPM) bzw. 20°C (PTB), ein Spannungsgewicht von 10,000 kg und eine Schwere von 980,7133 Gal (Normalstrecke München).

Die Mittelwerte der Differenzen zwischen den in den amtlichen Labors und auf der Normalstrecke bestimmten Drahtkonstanten (Labor-Normalstrecke) betragen für alle

in der PTB verglichenen Drähte: $+ 25 \mu / 24 \text{ m} = + 1,04 \mu / \text{m}$,
im BIPM verglichenen Drähte (A 27, 301): $+ 14 \mu / 24 \text{ m} = + 0,58 \mu / \text{m}$.

(Drähte K 1 und K 2 ausgenommen, da bei diesen eine sprunghafte Längenänderung auftrat).

Daraus folgt, daß die in der PTB verglichenen Meßdrähte bei der Normalstreckenmessung durchschnittlich um etwa $25 \mu / 24 \text{ m}$ kleinere Werte hatten als beim Laborvergleich, die beim BIPM verglichenen Meßdrähte dagegen nur um etwa $14 \mu / 24 \text{ m}$ kleinere Werte. Zwischen den aus beiden Labors übertragenen Längen tritt somit eine scheinbare Maßstabsdifferenz von etwa $0,5 \mu / \text{m}$ auf, die allerdings nicht sehr signifikant ist. Bei der Basismessung München 1958 war dagegen eine solche Differenz von etwa $2 \mu / \text{m}$ festgestellt worden [2].

Für die durchschnittliche Veränderung der Drahtlängen ergeben sich folgende Ergebnisse (nach - vor):

Drahtkonstanten der amtlichen Eichinstitute

Veränderung aller Meßdrähte $- 0,050 \text{ mm}$

Veränderung der 10 Meßdrähte,
ohne schweizerische Drähte $- 0,006 \text{ mm}$

Drahtkonstanten aus der Normalstrecke

Veränderung aller Meßdrähte $- 0,023 \text{ mm}$

Veränderung der 10 Meßdrähte,
ohne schweizerische Drähte $\pm 0,000 \text{ mm}$

5. Örtliche Messungen auf der Basis

Die Drahtmessungen konnten in der vorgesehenen Zeit erledigt werden, hingegen mußten aus personellen Gründen alle Hilfsmessungen in kürzerer Zeit durchgeführt werden, als ursprünglich dafür vorgesehen war. Sie konnten im wesentlichen in die beiden Wochen verlegt werden, während derer die Drahtmessungen liefen. Lediglich die Brechungswinkel wurden in der Woche vor und in der Woche nach der Drahtmessung gemessen.

5.1 Drahtmessungen

Die Drahtmessungen konnten planmäßig (vgl. Abschnitt 3) durchgeführt werden. Das Beobachtungswetter war an einigen Tagen nicht besonders günstig, um die Mittagsstunden traten Temperaturen bis zu 31° C auf. Zeitweise war es auch etwas windig. Ausfall der Messungen durch Regen trat nicht ein.

Die Meßdrähte waren in der Regel der vollen Sonneneinstrahlung ausgesetzt, nur wenige einzelstehende Bäume warfen Schatten auf die Meßstrecke. Die Standfestigkeit der Pfähle war im allgemeinen sehr gut. Besonders bei den Kunstbauten wurde darauf geachtet, daß selbst geringe Stöße gegen die hohen Pfähle vermieden wurden.

Bei den Messungen wurden, wie bei der Basismessung München 1958, je 5 gleichzeitige Ablesungen gemacht. Dabei wurde der Draht abwechselnd vor und zurück verschoben, um einmal die Schätzfehler zu verringern und zum anderen die Rollenreibung zu überwinden. Die Skalen an den Drähten wurden von den Beobachtern auf 1/10 mm durch Schätzung mit freiem Auge abgelesen. Der Feldbuchführer saß stets bei einem Beobachter und ließ sich von diesem die Ablesungen leise sagen und von dem anderen laut zurufen, damit jede gegenseitige Beeinflussung ausgeschaltet wurde. Eine Erschwerung der Verständigung trat lediglich bei der Baustelle an der Nationalstraße durch Baggerlärm ein. Jeweils in der Mitte zwischen zwei unterirdischen Festlegungen wurden die Beobachter gewechselt, um die persönlichen Schätzfehler möglichst zu eliminieren. Die Pfähle, an denen der Beobachterwechsel stattfand, waren durch schwarze Streifen markiert (Bild 13). Die Spannbockträger wechselten im allgemeinen nicht. Bei den deutschen Meßtrupps fand kein Austausch des Personals statt, wohl aber bei den Schweizern und Österreichern.

Die Meßrichtung bei den Tagesabschnitten richtete sich nach den Standpunkten der Drahtgalgen, die an günstigen Stellen (bei Punkt 95 und 208) aufgestellt wurden. Während der Mittagspause wurden die Drähte in den Galgen aufgehängt und nachmittags von hier die Rückmessung durchgeführt (Bild 14).

Die Jäderinzapfen waren so eingesetzt, daß die Beobachter auf dem Hochwasserdamm stets mit dem Rücken zum Rhein saßen. Durch den südwestlich-nordöstlichen Verlauf der Meßstrecke stand dadurch die Sonne vormittags im Rücken und nachmittags seitlich der Beobachter.

Als Spannböcke wurden die in den Frankfurter Institutswerkstätten nach Art der Witramschen Spannböcke gefertigten Stahlrohrrahmen benutzt. Die Kugellager für die Rollen der Spannböcke sind mit besonderer Sorgfalt ausgesucht und eingebaut worden. Die Schweizer benutzten eine von Kern & Co. AG, Aarau, angefertigte Meßausrüstung (Bild 15). Die Spannböcke waren aus Leichtmetallrohren gebaut, die Rollen ebenfalls mit Kugellagern versehen; zur Befestigung des Meßdrahts diente anstelle eines Drahts ein Stahlbändchen mit Karabinerhaken. Vor und nach jeder Drahtmessung wurde die Rollenreibung überprüft. Hierzu wurden die paarweise benutzten Spannböcke gegenübergestellt und erst das eine und dann das andere Gewicht durch Auflegen kleiner Zusatzgewichte zum Sinken gebracht (Bild 16). Dieses Verfahren wurde ab 1960 (Basismessung Meppen) aufgegeben und durch eine bessere Methode der direkten Bestimmung des wirksamen Spannungsgewichts ersetzt.

Über die Ergebnisse der Drahtmessungen wird in Abschnitt 7 berichtet.



Bild 13: Pfahl 113 der örtlichen Vergleichsstrecke mit der Markierung für den Beobachterwechsel

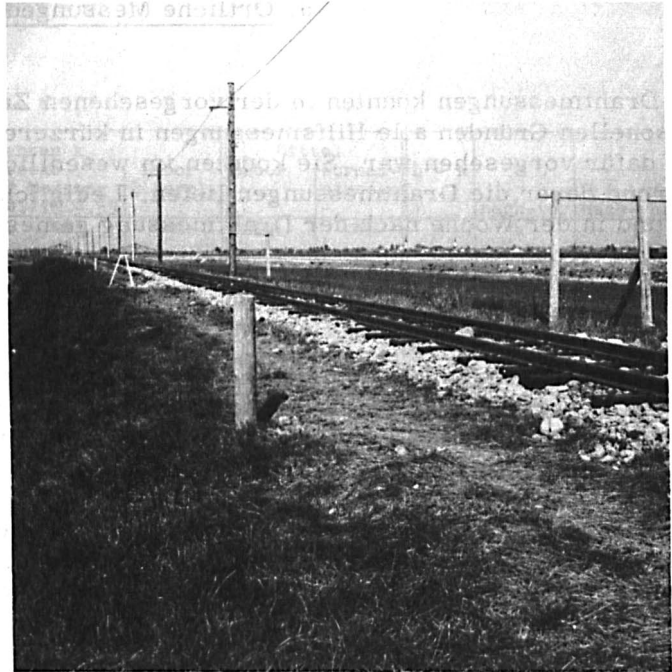


Bild 14: Drahtgalgen bei BP 6 am Ende der Tagesabschnitte 3 und 4, im Hintergrund das Dorf Diepoldsau



Bild 15: Spannbock von Kern & Co. AG, Aarau



Bild 16: Tarierprobe des schweizerischen Meßtrupps

5.2 Temperaturmessungen für die Drähte

Die Temperatur wurde von den Feldbuchführern bei jeder Drahtlage unter Vermerk der Uhrzeit gemessen. In Abweichung davon wurde beim schweizerischen Meßtrupp die Temperatur auf jedem Feldblatt nur ein- bis zweimal unter Angabe der Uhrzeit notiert, das heißt, durchschnittlich bei jeder 6. bis 3. Drahtlage. Infolgedessen mußten später bei der Auswertung interpolierte Temperaturwerte für die übrigen Drahtlagen verwendet werden. Alle Meßtrupps verwendeten Normalthermometer (Schleuderthermometer). Die Meßtrupps IV (München) und V (Frankfurt) benutzten gelegentlich auch Honkasalo-Thermometer.

Nach den Erfahrungen von München 1958 wurde darüber hinaus an repräsentativer Stelle der jeweiligen Tagesabschnitte eine Temperaturstation eingerichtet. Dort wurde in etwa 0,7 m Höhe über dem Boden, wie bei den Drahtmessungen, ein Reservedraht (Draht Nr. 391) aufgehängt und die Temperatur des Drahtes mit dem elektrischen Widerstandsmeßgerät, das bereits 1955 auf Veranlassung des IfAG von Hartmann und Braun, Frankfurt a.M., gebaut wurde, direkt bestimmt. Die Lufttemperatur in der unmittelbaren Umgebung des Drahtes wurde mit 4 entlang dem Draht aufgehängten Präzisionsthermometern (Quecksilberthermometern), die beim Instrumentenamt des Deutschen Wetterdienstes München geeicht worden waren (Abweichungen kleiner $0,1^{\circ}\text{C}$), gemessen. Zusätzlich wurde die Lufttemperatur durch ein Schleuderthermometer und ein Honkasalo-Thermometer ermittelt.

Die Lage der Repräsentativstellen ist in der nachfolgenden Tabelle 7 angegeben.

Tabelle 7

Datum	Abschnitt	Drahtlagen-Nr.
26.8.	Normalstrecke	5
27.8.	Normalstrecke	27
31.8.	Vergleichsstrecke (2)	115
1.9.	1	51
2.9.	3	169
3.9.	4	258
4.9.	Vergleichsstrecke (2)	115
5.9.	Vergleichsstrecke (2)	115
7.9.	1	51
8.9.	3	169
9.9.	4	258
10.9.	Vergleichsstrecke (2)	115
14.9.	Normalstrecke	8
15.9.	Normalstrecke	8

Auf der Sitzung der Bodenseekonferenz am 27./28. November 1959 in Salzburg wurde über die Verwertung der Temperaturmessungen, insbesondere der Widerstandsmessung, ausführlich diskutiert. Die eingesetzte Studiengruppe kam zu dem Ergebnis, daß die Extrapolation der auf den Temperaturstationen gemessenen Temperaturen auf die jeweiligen Drahtlagen zu groß sei. Auf der Arbeitstagung in München vom 1. - 4. 12. 1959 wurde daher die Verwendung der am Draht gemessenen Temperaturen beschlossen.

Die Temperaturmessung für jeden Meßdraht und für jede Drahtlage mit Widerstandsmeßgeräten wäre wegen des zu großen Aufwandes nicht in Frage gekommen. Die Honkasalo-Thermometer des DGFI I. Abt. erwiesen sich für den Feldgebrauch als zu empfindlich.

- Als Beispiel sind in Anlage 16 die Temperaturmessungen vom 7. 9. 1959 wiedergegeben.

5.3 Ablotungen

Die Ablotung der Endpunkte und der Zwischenpunkte erfolgte nach zwei verschiedenen Methoden durch Ingenieure der Schweizerischen Geodätischen Kommission.

Die Endpunkte A und BN der Meßstrecke sowie der Basisendpunkt BS auf dem Montlinger Berg wurden durch Richtungsmessungen lagemäßig bestimmt. Dazu wurden am Meßtag des betreffenden Basisabschnitts normalerweise vier Sätze nach den Versicherungsbolzen (Anlagen 5, 10 und 11) gemessen, zwei vor und zwei nach Durchgang der Drahtmeßtrupps. Die Messungen auf BN erledigte der Alignements-Trupp im Rahmen der dortigen Alignements-Messungen (vgl. Abschnitt 5.5), diejenigen auf den Pfeilern A und BS im Zusammenhang mit der Messung des Hilfsdreiecks (vgl. Abschnitt 5.7).

Aus dem Vergleich mit den bei der Errichtung der Pfeiler gemessenen Sätzen wurden Querver-schiebungen ermittelt, deren graphischer Auftrag für alle drei Pfeiler keine Lageänderung auf-zeigte. Die Ergebnisse der Drahtmessungen bezogen sich somit ohne irgendwelche Ablotungs-korrekturen auf die ursprünglichen Pfeilerzentren (Lochbolzen).

Die Ablotung der Brechpunkte BP 1 bis BP 7 des Basispolygons konnte dank den von der Firma Wild entwickelten Eisenrohrstativen wesentlich vereinfacht werden. Diese fest einbetonierten Stative wiesen über der horizontalen Kopfplatte einen mit drei Stellschrauben verschiebbaren Teller zur Zentrierung auf, der in der Mitte eine Steckhülse für den Jäderinzapfen trug (Bild 17).

Das Ablotegerät der Firma Wild bestand im wesentlichen aus einem T2-Fernrohr, das um eine Vertikalachse drehbar gelagert war, die mit zwei Kreuzlibellen senkrecht gestellt werden konnte (Bild 18) und das zentrisch zur Steckhülse aufgestellt werden konnte.

Die Zentrierung der Brechpunkte eines Tagesabschnitts erfolgte jeweils am Morgen vor Beginn der Drahtmessungen. Nach Abschluß der Drahtmessungen wurde die Lage der Jäderinzapfen bzw. der Steckhülsen nochmals kontrolliert, wobei sich niemals eine meßbare Verschiebung zeigte. Die Eisenrohrstative erwiesen sich somit als so stabil, daß alle Drahtmessungen ohne Berücksichtigung von Ablotungskorrekturen auf die unterirdischen Versicherungen der Brech-punkte bezogen werden konnten.

5.4 Nivellement

Die Durchführung des Nivellements über die Meßstrecke wurde der Schweiz übertragen. Verein-barungsgemäß war für den weitaus größten Teil der Basis mit flachem Verlauf ein technisches Nivellement vorgesehen, während bei den wenigen Steilstrecken ein Präzisionsnivellement er-forderlich war.

Im Prinzip sollte jeder Tagesabschnitt einmal vor und einmal nach der Drahtmessung nivelliert werden. Bei zweimaliger Messung jedes Tagesabschnittes erforderte das drei Nivellements über die ganze Strecke. Bei der örtlichen Vergleichsstrecke, die in der Mitte der Basismes-sung auch noch mit allen Reservedrähten gemessen wurde, bedingte dies sogar vier Nivelle-ments. Dazu mußte die Höhe von zwei Stativ-Jäderinzapfen (77 und 172) jeweils unmittelbar vor und nach den Drahtmessungen bestimmt werden.

Das Instrumentarium bestand aus dem automatischen Nivellierinstrument Zeiss Ni 2 Nr. 143 260 des Geodätischen Instituts der ETH und zwei 1,5 m-Invarlatten mit 1/2 cm-Teilung der Firma Nestler, die vom Institut für Angewandte Geodäsie, Frankfurt a.M., zur Verfügung gestellt wurden (Bild 19). Dazu kamen noch zwei Nivellierhütchen, die vor jeder Lattenaufstellung über die Jäderinzapfen gestülpt wurden, um diese zu schützen (Bild 20).

Die fest in die Pfähle eingeschraubten Jäderinzapfen erwiesen sich als so stabil, daß die aus den drei bzw. vier Nivellements gefundenen Höhendifferenzen gemittelt werden konnten. Die Zusammenstellung aller Höhendifferenzen wurde am 18. Dezember 1959 allen beteiligten Insti-tuten zur Verfügung gestellt.

Der Anschluß des Nivellements an das Eidgenössische Landesnivellement war an drei Stellen möglich, nämlich vom Pfeiler A beim südlichen Basisende an den Höhenfixpunkt \oplus 525 am Fuß



Bild 17: Eisenrohrstativ mit verschiebbarem Teller und drei Stell-schrauben

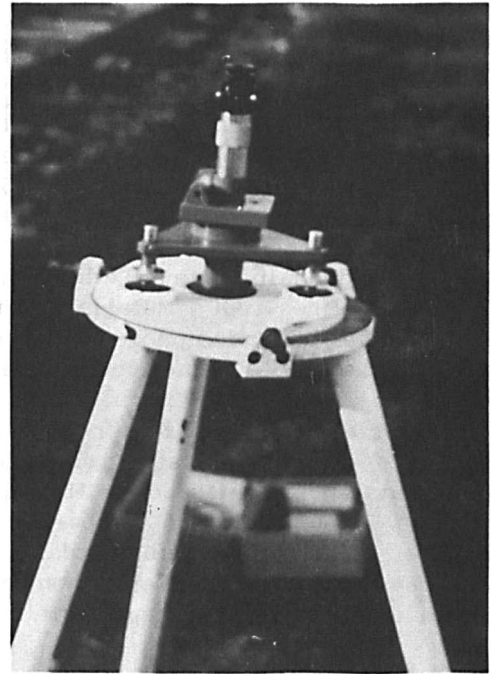


Bild 18: Ablotgerät Wild auf Eisenrohrstativ (vor der Vertikalstellung)



Bild 19: Nivellierlatte auf dem Jäderinpunkt 96



Bild 20: Jäderinzapfen 96 mit aufgesetztem Nivellierhütchen

des Montlinger Bergs, ungefähr in der Mitte an den Punkt \oplus 526 am Zollhaus Kriessern und vom Pfeiler Basis Nord an den Punkt \oplus 545 am Widerlager der Straßenbrücke Widnau - Diepoldsau.

Bei der Durchrechnung des Nivellements vom Montlinger Berg (\oplus 525) aus zeigte sich beim Abschluß an der Diepoldsauer Brücke ein Widerspruch von 54 mm. Der im Fels des Montlinger Bergs verankerte Höhenfixpunkt \oplus 525 durfte mit Sicherheit als stabil betrachtet werden, hingegen traten hinsichtlich der Höhenbeständigkeit des Punktes an der Diepoldsauer Brücke mitten in der Rheinebene Zweifel auf. Mit Brief vom 23. Dezember 1959 an die Eidg. Landestopographie wurde deshalb angeregt, die Höhe der Anschlußpunkte neu zu überprüfen. Dies geschah im Laufe des Jahres 1960 im Rahmen der üblichen Revisionsarbeiten, und am 21. Dezember 1960 teilte die Eidg. Landestopographie die neue Höhe des Punktes \oplus 545 mit, woraus hervorging, daß sich dieser seit seiner letzten Bestimmung im Jahre 1950 um 52 mm gesenkt hatte.

Damit war es nun möglich, für alle Jäderinzapfen definitive Höhen zu berechnen. Nachdem sich der Punkt \oplus 545 als unstabil erwiesen hatte, wurde jedoch auf eine Ausgleichung des Basisnivelements verzichtet, und die Höhen wurden auf Grund der gemittelten Höhendifferenzen lediglich vom Fixpunkt \oplus 525 aus berechnet. Dies wurde vom Institut für Angewandte Geodäsie, Frankfurt a.M., durchgeführt, das ebenfalls die mittlere Höhe jeder Teilstrecke bestimmte. Die Zusammenstellung aller Höhen im schweizerischen Höhensystem wurde im Februar 1961 allen beteiligten Instituten zugestellt.

5.5 Alignement

Das Alignement wurde ebenfalls von der Schweiz ausgeführt. Es wurde dreimal aligniert, und zwar - ebenso wie beim Nivellement - vor, zwischen und nach den Drahtmessungen, die Vergleichsstrecke dagegen viermal.

Bei dem stark gekrümmten Verlauf der Basis Heerbrugg konnte das Alignement nicht in einem Schritt erfolgen. Deshalb wurde eine Bestimmung in mehreren Stufen vorgesehen, wie sie aus der Anlage 2 hervorgeht. In der 1. Stufe werden die Ausweichungen der Hauptpolygonpunkte aus der Basislinie BS - BN bestimmt. Die 2. Stufe legt die Ausweichungen der Nebenpolygonpunkte aus den Hauptpolygonseiten fest. In der 3. Stufe werden die Ausweichungen der Knickpunkte aus den Nebenpolygonseiten ermittelt. Erst die 4. Stufe umfaßt die üblichen Alignementsmessungen, das heißt, die Bestimmung der Ausweichung der Jäderinzapfen aus der jeweiligen Bezugslinie. In diesem Abschnitt wird nur diese 4. Stufe behandelt, während alle übrigen Stufen im Abschnitt 5.6 (Messung der Brechungswinkel) dargestellt werden.

Das verfügbare Instrumentarium bestand aus zwei Wild T3-Theodoliten mit Zentrierkugel (Bild 21) des Geodätischen Instituts der ETH (Nr. 72 mit 360°-Teilung, Nr. 29 882 mit 400^g-Teilung), zwei Meßbalken (Bild 22) und zwei Alignementshütchen des Instituts für Angewandte Geodäsie sowie den von der Firma Wild zur Verfügung gestellten vier Polygon-Zieltafeln mit elektrischer Beleuchtung (Bild 23) und zwei kleinen Zielmarken (Bild 24), die alle in die Steckhülsen der Haupt- und Nebenpolygonpunkte eingesetzt werden konnten.

Nachdem bei der endgültigen Absteckung der Meßstrecke die Pfähle der 24 m-Punkte nach Möglichkeit in Geraden gesetzt worden waren, konnte das Alignement weitgehend durch Skalenablesung erfolgen. Auf der südlichen Basishälfte mußte der Theodolit mehrmals (zwischen zwei 24 m-Punkten) in die Polygonseiten eingefluchtet werden. Selbstverständlich wurde auch von den Endpunkten selbst aligniert mit Ausgangsrichtung zum gegenüberliegenden Endpunkt. Auf der nördlichen Basishälfte konnten hingegen ausschließlich Polygonpunkte oder als Instrumentenstandpunkte ausgebildete Nebenpolygonpunkte für das Alignement benutzt werden.

Auf den wenigen Meßstrecken mit gekrümmtem Verlauf war ein Alignement durch Richtungsmessungen erforderlich, wobei die Jäderinzapfen durch Alignierhütchen signalisiert oder auch direkt angezielt wurden. Zuerst wurde der mit einer kleinen Zielmarke signalisierte Bezugspunkt in der einen Fernrohrlage angezielt und der Horizontalkreis abgelesen. Dann wurden, beginnend beim nächstgelegenen Zapfen, die Richtungen nach den Jäderinzapfen gemessen, solange eine sichere Einstellung derselben möglich war. Die Messung wurde hierauf in der anderen Fernrohrlage und in umgekehrter Reihenfolge wiederholt. Auf dem stark ausgebogenen Abschnitt 291 - 297 wurde das Alignement am Tag der Drahtmessung zweimal gemessen (wenn möglich vor und nach der Drahtmessung), auf den übrigen Abschnitten im Zuge des Alignements durch



Bild 21: Wild T3-Theodolit
auf Eisenrohrstativ



Bild 22: Meßbalken des IfAG
für das Alignment



Bild 23: Polygon-Zieltafel
Wild auf Eisenrohrstativ

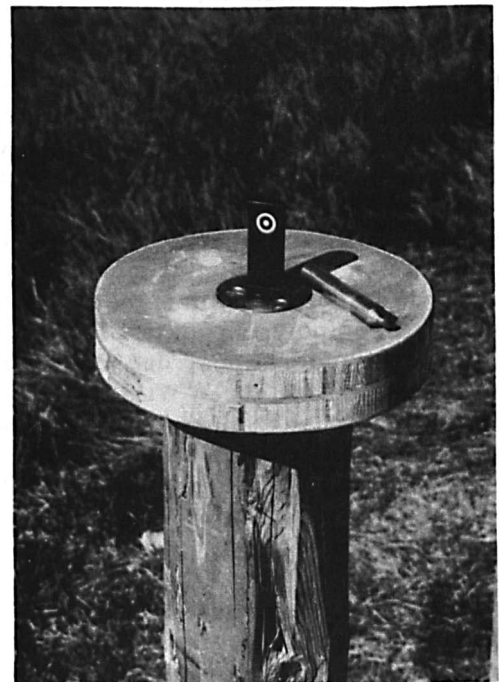


Bild 24: Kleine Zielmarke
Wild auf Instrumentenstand-
punkt

Skalenablesung meist nur einmal. Bei den Nebenpolygonseiten 194 - 208 und 251 - 257, bei denen die Meßstrecke ganz im Bogen verlief, wurde dafür von beiden Seiten her aligniert.

5.6 Messung der Brechungswinkel

Entsprechend dem im Abschnitt 2 beschriebenen Ausbau des Basispolygons waren folgende Winkel zu messen (Anlage 2):

1. zur Reduktion der Hauptpolygonseiten auf die Basis (1. Reduktionsstufe) die Brechungswinkel des Hauptpolygons,
2. zur Reduktion der Nebenpolygonseiten auf die fünf Hauptpolygonseiten von BP 3 bis BN (2. Reduktionsstufe)
 - die Brechungswinkel der Nebenpolygone,
 - die Reduktionswinkel auf den Nebenpolygonpunkten zwischen den Hauptpolygonpunkten,
3. zur Reduktion der Teilstrecken zu den gemeinsamen Knickpunkten auf die Nebenpolygonseiten (3. Reduktionsstufe) die Anschlußwinkel dieser Punkte an die Nebenpolygonseiten.

Bei den Brechungswinkeln des Hauptpolygons war eine dreimalige Messung in 10 Sätzen vorgesehen und zwar vor und nach der Drahtmessung zur Zeit des Normalstreckenvergleichs sowie während der Drahtmessung als Nachtmessung (Anlage 13); aus personellen Gründen mußte jedoch auf die Nachtmessung verzichtet werden. Die Winkel der 2. und 3. Reduktionsstufe sollten dreimal in drei Sätzen gemessen werden, einmal vor der Drahtmessung, einmal zwischen den beiden Drahtmessungen und einmal nach der Drahtmessung jedes Tagesabschnitts. Bei der örtlichen Vergleichsstrecke war wegen der zusätzlichen Vergleichsmessung eine weitere Winkelmessung erforderlich. Diese Anordnung konnte weitgehend eingehalten werden, wobei es sich als zweckmäßig erwies, die Messungen gleichzeitig mit den Alignementsmessungen des betreffenden Tagesabschnitts zu erledigen. Zur weiteren Vereinfachung des Messungsablaufs wurden zudem alle Winkel einer Station nach Möglichkeit in einem einzigen Richtungssatz gemessen, der bis zu fünf Richtungen umfaßte.

Merkliche Schwierigkeiten bei der Messung traten nur auf der Seite BP 4 (130) - BP 5 (165) des Hauptpolygons auf; diese Visur verlief sehr nahe dem Boden, was zu den bekannten refraktionsbedingten Schwankungen führte. Um eine einwandfreie Übertragung des Basispolygons zu erreichen, wurden deshalb zusätzlich die Winkel nach dem Nebenpolygonpunkt 148 sowie der Brechungswinkel auf diesem Punkt wie Hauptpolygonwinkel in 10 Sätzen gemessen.

Die Messung der Brechungswinkel wurde von Mitarbeitern der Schweizerischen Geodätischen Kommission ausgeführt. Gemessen wurde mit einem Wild T3-Theodolit mit Zentrierkugel. Diese wurde in die Lochbolzen der Pfeiler bzw. in die Bronze-Steckhülsen auf den Eisenrohrstativen der Hauptpolygonpunkte BP 1 bis BP 7 eingesetzt, die vorher wie bei den Drahtmessungen mit dem Ablotgerät über den Bronzebolzen der Betonpfähle zentriert worden waren. Die Signalisierung erfolgte durch Wild Polygon-Zieltafeln mit elektrischer Beleuchtung, die von der Firma Wild mit Steckzapfen versehen worden waren, so daß sie ebenfalls direkt in die Lochbolzen oder die vorher abgeloteten Steckhülsen eingesetzt werden konnten. Die Messungen der 2. und 3. Reduktionsstufe wurden durch die beiden Alignements-Trupps mit deren Instrumentarium ausgeführt, so daß auf die Angaben im Abschnitt 5.5 verwiesen werden kann.

Die für die Reduktion des Basispolygons in den verschiedenen Reduktionsstufen benötigten Winkel sind den gemittelten Richtungssätzen der einzelnen Meßperioden entnommen worden und in Tabelle 8 zusammengestellt. Aus dem Vergleich der Resultate vor, zwischen und nach den Drahtmessungen durfte geschlossen werden, daß sich die Punkte im Lauf der Basismessung nicht verändert hatten, so daß alle Drahtmessungen mit den über die ganze Zeit gemittelten Winkeln reduziert werden konnten.

Tabelle 8

Winkel	Standpunkt	Zielpunkt von	nach	Datum der Messungen	Anzahl Sätze	Mittel aus allen Beobachtungen
1. Stufe	BS	BN	41	26.8., 15.9.	20	^g 396,32045
	41	BS	56	26, 15	20	200,01805
	56	41	95	27, 15	20	199,98035
	95	56	130	27, 16	20	215,74480
	130	95	165	27, 16	20	200,52160
	165	130	208	28, 16	20	193,42215
	208	165	251	28, 31, 5, 17	33	190,54841
	251	208	BN	28,1,7,11,17	29	190,53930
	BN	251	BS	28, 17	20	12,90620
	BS	BN	A	26, 15	20	396,32085
	A	BS	41	26, 16	20	199,99930
	41	A	56	26, 15	20	200,01825
	130	95	148	29, 16	20	200,57935
	148	130	165	29, 7, 9, 16	26	199,88215
	165	148	208	29, 9, 16	23	193,48254
2. Stufe	95	130	117	28, 2, 8, 11	12	399,8074
	117	95	130	28, 2, 8, 11	12	200,5209
	130	117	95	28, 2, 8, 11	12	399,6723
	165	208	179	31, 5, 9	9	3,1701
	179	165	194	31, 5, 9	9	196,7280
	194	179	208	31, 5, 10	9	197,0428
	208	194	165	31, 5, 9	9	3,0602
	208	251	219	31, 5, 9	9	3,4811
	219	208	230	1, 8, 9, 9	11	197,6576
	230	219	242	1, 8, 10	9	197,2672
	242	230	251	1, 8, 10, 10	12	198,0839
	251	242	208	1, 7, 11	9	3,5147
	251	BN	257	1, 7, 11	9	4,0973
	257	251	267	1, 7, 10	9	198,6018
	267	257	277	1, 7, 10	9	197,2168
	277	267	287	2, 7, 10	9	197,8437
	287	277	BN	2, 7, 10	9	199,4005
	BN	287	251	7, 10	6	2,8398
2. Stufe	179	165	208	31, 5, 9	9	195,3004
	194	165	208	31, 5, 10	9	195,4630
	219	208	251	1, 8, 9, 9	11	195,3241
	230	208	251	1, 8, 10	9	195,2742
	242	208	251	1, 8, 10, 10	12	195,5566
3. Stufe	165	179	171	31, 5, 9	9	2,0080
	179	171	165	31, 5, 9	9	1,5059
	179	194	187	31, 5, 9	9	0,4827
	194	187	179	31, 5, 10	9	0,5517
	230	242	236	1, 8, 10	9	0,6452
	242	236	230	1, 8, 10, 10	12	0,6452
	242	251	246	1, 8, 10, 10	12	0,3655
	251	246	242	1, 7, 11	9	0,2928
	257	267	262	1, 7, 10	9	0,4515
	267	262	257	1, 7, 10	8	0,4506
	267	277	272	1, 7, 10	9	0,6183
	277	272	267	2, 7, 10	9	0,6184
	287	291	BN	2, 7, 10	9	0,0209
	BN	287	291	3, 9	6	0,0142

5.7 Messung des Hilfsdreiecks

Zur Übertragung der Hilfsbasis A - B auf die erste Seite BS - A des Basispolygons mußten alle drei Winkel im Dreieck A - B - BS gemessen werden. Sie wurden an den beiden Tagen gemessen, an denen die Länge der Hilfsbasis bestimmt wurde, und zwar am Vormittag vor und am Nachmittag nach Durchgang der Drahtmeßtrupps. Damit bestand Gewähr dafür, daß die tatsächlich gemessene Länge der Hilfsbasis auf die Basis übertragen wurde.

Die Messungen wurden von dem Alignements-Trupp durchgeführt, der dazu einen Wild T3-Theodolit mit Zentrierkugel benutzte. Zur Signalisierung dienten die speziellen Wild Polygon-Zieltafeln, welche direkt in die Lochbolzen der drei Pfeiler eingesteckt werden konnten. An jedem Tag wurden zweimal fünf Sätze gemessen, deren Mittelwerte in der Tabelle 9 zusammengestellt sind.

Tabelle 9

Standpunkt	Zielpunkt		gemessener Winkel		Mittel	Verbesserung	ausgeglichener Winkel
	von	nach	1. Messung x)	2. Messung xx)			
BS	B	A	g 83,2240 43	g 83,2240 43	g 83,2242	cc - 2	g 83,2240
A	BS	B	51,6780 77	51,6772 77	51,6776	- 1	51,6775
B	A	BS	65,0986 82	65,0988 87	65,0986	- 1	65,0985
					200,0004	- 4	200,0000

x) 1.9.59
vormittags
nachmittags

xx) 7.9.59
vormittags
nachmittags

Für den trigonometrischen Höhenanschluß des Pfeilers BS wurden an einem späteren Tag die gegenseitigen Höhenwinkel von A und B nach BS gemessen.

5.8 Schweremessungen

Zwei Ingenieure der Schweizerischen Geodätischen Kommission bestimmten am 8. und 9. Oktober 1959 die Schwerebeschleunigung auf acht Punkten der Basis. Sie benutzten dazu das Worden-Gravimeter Nr. 472 des Geophysikalischen Instituts der ETH Zürich.

Die Messungen wurden in zwei Schleifen angeordnet, die an die beiden Punkte St. Margrethen und Altstätten des schweizerischen Schweregrundnetzes angeschlossen wurden. Die abgeleiteten Schwerewerte bezogen sich damit auf die Fundamentalstation Zürich des Schweregrundnetzes mit der Schwerebeschleunigung $g = 980,667$ Gal im "alten Potsdamer System" (Potsdam: $g = 981,274$ Gal). Für die acht Punkte wurden folgende Schwerewerte gefunden:

Station	Bezugspunkt	Meereshöhe	g
		m	Gal
BS	Pfeileroberfläche	477,53	980,6190
B	Pfeileroberfläche	420,56	980,6324
A	Pfeileroberfläche	419,62	980,6336
BP 2	Stativteller	421,85	980,6266
BP 4	Stativteller	419,89	980,6268
BP 5	Stativteller	418,48	980,6271
BP 7	Stativteller	415,60	980,6292
BN	Pfeileroberfläche	415,75	980,6315

Als Mittelwert für die ganze Meßstrecke von B über A nach BN wurde der runde Wert 980,630 Gal angenommen.

6. Feldauswertung

Für die Feldauswertung der Drahtmessungen stand jedem Meßtrupp ein Auswerter zur Verfügung. Die Firma Wild hatte in Heerbrugg einen Raum für eine gemeinsame Auswertestelle zur Verfügung gestellt.

Die Feldbücher der einzelnen Trupps wurden laufend von der Meßstrecke zur Auswertestelle gebracht. Für den Protokolltransport waren 3 Dienstwagen im Einsatz. In der Auswertestelle erfolgte die Prüfung der bereits vom Feldbuchführer gerechneten Mittel der Drahtablesungen durch die Summenprobe. Nach Anbringen der Temperaturkorrektur und der Drahtkonstanten der amtlichen Eichinstitute wurden die Ergebnisse aus Hin- und Rückmessung für jeden Meßdraht und die Ergebnisse aller Trupps zusammengestellt.

Folgende Fehlergrenzen wurden täglich einzeln festgestellt:

$$\begin{aligned} \text{a) } |H - R| &< 2 \cdot \sqrt{s_{(km)}} \\ \text{b) } |D| &< \sqrt{s_{(km)}} \cdot \sqrt{n} \end{aligned}$$

(D = Differenz eines Drahtes zum Mittel aller n Drähte).

Bei Nichterfüllung sollten Wiederholungsmessungen nur in Ausnahmefällen veranlaßt werden. Es wurde stets der Grundsatz beachtet, daß die Ergebnisse aller Drahtmessungen Verwendung finden müssen, auch wenn einmal größere Differenzen aufgetreten sind, von groben Fehlern jedoch abgesehen.

6.1 Drahtkonstanten (k_0)

Die Drahtkonstanten wurden im allgemeinen unverändert den amtlichen Prüfscheinen entnommen, diejenigen der schweizerischen Drähte K 1 und K 2 einer vorläufigen Mitteilung des BIPM. Für die in Braunschweig geeichten Frankfurter Drähte 37 und 38 wurde die Drahtkonstante auf die Bezugstemperatur 15° C umgerechnet, damit bei der Temperaturkorrektur alle Drähte der beiden Frankfurter Meßtrupps gleich behandelt werden konnten. Bei den österreichischen Drähten 526 bis 529 war hingegen die Korrektur wegen der Abweichung des Spannungsgewichts von 10,000 kg noch nicht angebracht. Die Längenberechnung ergab also vorläufige Werte.

6.2 Temperaturkorrektur (k_6)

Für die Berechnung der Temperaturkorrekturen wurden die zuletzt vor der Basismessung bestimmten Ausdehnungskoeffizienten verwendet (Tabellen 3 und 4). Einzig bei den beiden neuen schweizerischen Drähten K 1 und K 2 konnten noch keine Temperaturkorrekturen angebracht werden, da deren Ausdehnungskoeffizienten erst nach der Basismessung (Dezember 1959/Januar 1960) bestimmt wurden. Die Ergebnisse dieser beiden Drähte konnten deshalb noch nicht mit denjenigen der übrigen Drähte verglichen werden.

Die Bezugstemperatur war entsprechend der Bezugstemperatur der Drahtkonstanten bei der Schweiz und bei Frankfurt 15° C, bei Österreich und bei München 20° C. Die Temperaturkorrekturen wurden im allgemeinen im Feldbuch direkt an die einzelnen Drahtlagen angebracht (IfAG-Trig.-Vordr. Nr. A 12), teilweise wurden sie aber auch summarisch für jeden Abschnitt von U. F. zu U. F. behandelt (vgl. Abschnitt 6.3).

6.3 Kontrolle und Zusammenstellungen

Nach Anbringen der Drahtkonstanten k_0 und der Temperaturkorrektur k_6 sind für jeden Meßdraht die Schrägentfernungen für jede Drahtlage in eine Zusammenstellung der Hin- und Rückmessung übernommen worden. In dieser Zusammenstellung waren einmal die Differenzen zwischen Hin- und Rückmessung für jede Drahtlage und gleichzeitig auch die Summe dieser Einzeldifferenzen, d. h. die Differenz zwischen Hin- und Rückmessung für jede Teilstrecke, erkennbar.

Teilweise wurden in dieser Zusammenstellung die Korrekturen k_0 und k_6 auch summarisch für jede Teilstrecke angebracht.

Einzelne größere Differenzen zwischen Hin- und Rückmessung einer Drahtlage traten im Tagesabschnitt 1 von Punkt A bis 95 auf (Größenordnung 0,3 bis 0,5 mm). Diese deuten darauf hin, daß einzelne Pfähle nicht unverändert geblieben sind (Zapfenbachübergang, Baustelle an der Nationalstraße).

Die Ergebnisse aller Meßdrähte für jeden Tagesabschnitt, unterteilt von U. F. zu U. F., wurden besonders zusammengestellt. Hierdurch wurde ein Relativvergleich ermöglicht, der evtl. stetige oder plötzliche Längenänderungen von Drähten schon abends nach der Tagesmessung anzeigte. Es erwies sich auch als vorteilhaft, daß die Ergebnisse des Vortages am nächsten Morgen vor der Messung den Meßtrupp bekanntgegeben werden konnten.

7. Korrekturen an den Drahtmessungen

Nach den Feldmessungen sind die Schlußauswertungen von den beteiligten Ländern bzw. Dienststellen unabhängig voneinander durchgeführt worden. Zur Koordination der Auswertearbeiten und zur Beseitigung von Rechenfehlern wurden zwei Rechenwochen in zentraler Lage in München vom 1. bis 4. Dezember 1959 und vom 9. bis 12. Februar 1960 abgehalten. Die Schlußergebnisse wurden der II. Abteilung des DGFI in Frankfurt zur endgültigen Zusammenstellung aller Ergebnisse übersandt.

Da die einzelnen Dienststellen trotz der gemeinsamen Rechenwochen teilweise unterschiedliche Reihenfolgen und Zusammenfassungen der Korrekturen gewählt haben, sind die Zwischenergebnisse nicht immer direkt vergleichbar, indessen sind die im folgenden mitgeteilten Endergebnisse vergleichbar.

Wie im Vorjahr bei der Basis München wurden meist folgende Korrekturen berechnet [8]:

- k_0 wegen der Drahtkonstante (Absolutglied der Zustandsgleichung)
- $k_1 - k_3$ wegen der Höhenunterschiede Δh /Drahtlage
- k_4 wegen der Ausweichung a aus der Geraden
- k_5 wegen der Ablotung über den U. F.
- k_6 wegen der Temperaturdifferenz gegenüber der Bezugstemperatur
- k_7 wegen der Skalenneigungen
- k_8 wegen der mittleren Höhe der Teilstrecken über der Bezugsfläche
- k_9 wegen der Spannungsgewichtsdifferenz zum Vergleichsspannungsgewicht
- k_{10} wegen der Schweredifferenz zum Vergleichsort der Drähte.

Für die Normalstrecke wurden die Nivellements-, Alignements- und Ablotungskorrekturen von der I. Abteilung des DGFI ermittelt. Gegenüber dem Vorjahr ergaben sich nur geringe Änderungen.

7.1 Kontrolle der Feldauswertung

Alle in der Feldauswertung ermittelten Werte sind grundsätzlich nachgerechnet worden. Die Arbeit wurde von den einzelnen Ländern bis zur ersten Rechenwoche in München ausgeführt. Es zeigte sich auf der Arbeitstagung, daß diese Vorsichtsmaßnahme berechtigt war.

Nach der vollständigen Zweitrechnung wurden von den beteiligten Ländern die Drahtmessungen auf der Normalstrecke mit den erforderlichen Korrekturen versehen und mit dem Ergebnis der Interferenzmessung verglichen.

Danach erfolgte dann - wieder voneinander unabhängig - die Längenberechnung der Neben- und Hauptpolygonseiten sowohl mit den von den amtlichen Eichinstituten ermittelten Drahtkonstanten als auch mit den auf der Normalstrecke bestimmten Drahtkonstanten. Es war jedoch beschlossen worden, daß die endgültige Länge der Basis nur mit den auf der Normalstrecke bestimmten Drahtkonstanten berechnet werden sollte, da diese die gleichen Einflüsse tragen wie bei der Basismessung. Die mit den Drahtkonstanten der amtlichen Eichinstitute berechnete Länge sollte dagegen zu wissenschaftlichen Betrachtungen dienen.

7.2 Nivellementskorrekturen (k_1, k_2, k_3)

Die Nivellementskorrekturen wurden von den Ländern unabhängig voneinander berechnet und an die Drahtmessungen angebracht. Für die Berechnung der Korrektur k_1 (Reduktion der Schräg-entfernung auf die Horizontale) wurden u. a. die Tabellen von Gigas [8] verwendet. Die Korrektur k_1 lautet

$$k_1 = - \frac{\Delta h^2}{2s} - \frac{\Delta h^4}{8 \cdot s^3} + \frac{\Delta h^2}{2s} \cdot \frac{\partial}{\partial s} - \frac{\Delta h^2}{2s} \cdot \frac{\partial^2}{\partial s^2} \text{ [mm]}$$

($s = 24,000 \text{ m}$, ϑ = Abweichung der Entfernung s zwischen den Zapfen von 24 m , Δh = Höhenunterschied der beiden Zapfen).

Die Korrektur k_2 wegen der Deformation der Kettenlinie wurde nach der Formel von Tarczy-Hornoch [9] berechnet:

$$k_2 = + \frac{1}{6} \cdot \Delta h^2 \cdot q^2 \cdot s [\text{mm}]$$

($q = 0,000\,866 [1/\text{m}]$).

Die Korrektur k_3 wegen der bei zunehmenden Δh eintretenden Spannungsänderung kann nach Tarczy-Hornoch [9] entfallen, wenn $\Delta h \leq 2 \text{ m}$. Da die Höhenunterschiede unter diesem Betrag blieben, wurde $k_3 = 0$ gesetzt.

Die Rechenstelle München hat anstelle der obigen angepassten Gigas'schen Formeln wie bei der Basismessung München 1958 [7] die direkten Formeln von Tarczy-Hornoch für die Neigungs- und Dehnungskorrektur benutzt. Wegen der Anpassung der obigen Formeln für k_2 und k_3 an die von Tarczy-Hornoch ergab sich jedoch kein nennenswerter Unterschied in den numerischen Ergebnissen.

Zur Berechnung der Korrekturen wurden die gemittelten Höhenunterschiede der Einzelnivellements verwendet. Die Höhenunterschiede der den mit kleinen Stativen besetzten Punkten benachbarten Drahtlagen wurden den technischen Nivellements entnommen, die jeweils vor der Drahtmessung durchgeführt worden waren. Mit Stativen besetzt waren

im Abschnitt 1 : Punkt 77
im Abschnitt 3 : Punkt 172

7.3 Alignementskorrekturen (k_4)

Die Alignementskorrekturen wurden ebenso wie die Nivellementskorrekturen von den Ländern unabhängig voneinander berechnet und an die Drahtmessungen angebracht. Für die Berechnung des Alignements durch Skalenablesung wurde die übliche Formel

$$k_4 = - \frac{a^2}{2s}$$

verwendet (a = Ausweichbetrag von der Parallelen zur Flucht). Teilweise wurden hierzu die Tabellen von Gigas [8] benutzt. Der Ausweichbetrag a wurde aus den Alignements vor, zwischen und nach den Drahtmessungen gemittelt, weil sich die Zapfen i. a. als stabil erwiesen hatten. Die Korrekturen für die Drahtlagen, die den mit Stativen besetzten Punkten benachbart waren, wurden gesondert aus den Ausweichbeträgen berechnet, die jeweils vor der Drahtmessung bestimmt worden waren.

Die Alignementskorrekturen für die durch Richtungsmessungen alignierten Teilstrecken wurden durch besondere Berechnungen ermittelt (vgl. Abschnitt 8.3). Hierbei wurden die Drahtlagen schrittweise mittels der Richtungsdivergenzen auf die Flucht der Teilstrecke reduziert.

7.4 Ablotungskorrektur (k_5)

Die Ablotungskorrektur war infolge der zentrischen Aufstellung der Jäderin-Steckzapfen über U. F. mittels des optischen Ablotegerätes stets Null. Die Kontrolle der Ablotungen jeweils nach den Drahtmessungen zeigte keine Veränderungen.

7.5 Skalenneigungskorrektur (k_7)

Die Skalenneigungskorrektur ist nach der Formel

$$k_7 = - \frac{1}{2} \cdot c \cdot q^2 \cdot s^2 = - 0,000\,215\,99 \cdot c [\text{mm}] [\text{mm}]$$

berechnet worden (c = Differenz der Skalenablesungen an beiden Drahtenden).

Die Korrekturen wurden für jeden Draht ermittelt und summarisch an die einzelnen Teilstrecken angebracht. In der Rechenstelle München wurde die Skalenneigung bereits bei der Berechnung der Neigungs- und Dehnungskorrektur berücksichtigt.

7.6 Reduktion auf Meereshorizont (k_8)

Im Hinblick auf die später vorgesehenen Berechnungen der Lotkrümmung wurden auf Beschluß der beteiligten Länder die Ergebnisse der Drahtmessungen nicht auf den schweizerischen Landeshorizont reduziert. Es wurden stattdessen die Teilstrecken auf die mittlere Messungshöhe $h_m = 420,000$ m der Meßstrecke durch Anbringen von Reduktionen umgerechnet. Diese Korrektur wurde nach Anbringen aller übrigen Korrekturen als letzte summarisch an die Teilstrecken angebracht (vgl. Abschnitt 8.1).

Die Reduktionen wurden nach der Formel

$$k_8 = - \frac{s' \cdot (h - h_m)}{r} \text{ [mm]}$$

für die Teilstrecken s' berechnet. Die mittlere Höhe h der Teilstrecken wurde aus den Höhen der Jäderinzapfen, die aus den Nivellements über die Meßstrecken hergeleitet wurden, ermittelt (vgl. Abschnitt 5.4).

Der Krümmungsradius r des Bessel-Ellipsoids als Bezugsfläche ergab sich für die mittlere Breite und das mittlere Azimut der Basis zu

$$r = 6\,375,8 \text{ km.}$$

7.7 Spanngewichtskorrektur (k_9)

Die Spanngewichte (einschließlich Karabinerhaken und Spannbandanteil) wurden von den beteiligten Ländern vor der Drahtmessung geeicht. Der Einfluß des Differenzbetrages gegenüber dem Soll-Spanngewicht von 10,000 kg auf die Drahtlänge wurde durch die Spanngewichtskorrektur berücksichtigt. Im allgemeinen gilt dabei die Faustregel, daß 1 g Spanngewichtsänderung eine Längenänderung von $+ 1 \mu$ pro Drahtlage hervorruft.

Mit diesem runden Wert haben die Rechenstellen Zürich und Frankfurt gerechnet, während die Rechenstelle Wien mit dem theoretisch ermittelten Wert $+ 1,049 \mu/g$ Spanngewichtsänderung gerechnet hat.

Die Rechenstelle München verwendete den Faktor $+ 1,072 \mu/g$, der aus früheren Versuchen ermittelt war [7].

7.8 Schwerekorrektur (k_{10})

Die Schwerekorrektur

$$k_{10} = + 7,02 \cdot \frac{\Delta g}{g} \text{ [mm]}$$

konnte mit den gemessenen Schwereunterschieden $\Delta g = g_2 - g_1$ zwischen den amtlichen Eichinstituten und den Meßorten (Normalstrecke und Basis) berechnet werden. g_2 ist die Schwere am Meßort und g_1 die Schwere an dem Ort, an welchem die Drähte verglichen wurden.

Den Korrekturen liegen die folgenden Schwerewerte im alten Potsdamer Schweresystem zugrunde:

BIPM	980,9408 Gal
PTB	981,2682 "
Normalstrecke	980,7133 "
Basis	980,630 "

Die Schwerekorrekturen pro Drahtlage betragen damit:

von PTB	nach Normalstrecke	- 3,97 μ
" PTB	" Basis	- 4,56 μ
" BIPM	" Normalstrecke	- 1,62 μ
" BIPM	" Basis	- 2,22 μ
" Normalstrecke	" Basis	- 0,60 μ

Die Korrekturen wurden i. a. summarisch an die Teilstrecken angebracht; eine Ausnahme machte die I. Abteilung des DGFI (München), die diese Korrekturen an ihren Drahtkonstanten berücksichtigte.

7.9 Zusammenfassung der Korrekturen

Nach der Kontrolle der Feldauswertung (vgl. Abschnitt 7.1) wurden aus den Zusammenstellungen der Hin- und Rückmessung für jede Teilstrecke die mit den einzelnen Drähten gemessenen Schrägentfernungen entnommen und mit allen erforderlichen Korrekturen versehen.

Die von der Schweiz, Österreich und der II. Abteilung des DGFI berechneten Schrägentfernungen enthalten die amtliche Drahtkonstante k_0 vor der Basismessung, bezogen auf 10,000 kg Spannungsgewicht und die Schwere des jeweiligen Eichortes sowie die Temperaturkorrektur k_6 . Es wurden daher in Tabellen zur Zusammenfassung der Korrekturen für Drahtmessungen für die Teilstrecken die Korrekturen k_1 (Neigung), k_2 (Deformation der Kettenlinie), k_4 (Alignement), k_7 (Skalenneigung), k_9 (Spannungsgewicht) und k_{10} (Schwerkraft) aufgeführt und angebracht.

Die Schrägentfernungen der I. Abteilung des DGFI enthalten dagegen nur die Temperaturkorrektur k_6 . In ähnlichen Tabellen wurden hier die Summe der Korrekturen k_1 , k_2 und k_7 , die Korrektur k_4 und der n-fache Betrag der Drahtkonstanten k_0 , und zwar je für die Labor- und Normalstreckenwerte vor und nach der Basismessung, eingetragen und den Schrägentfernungen hinzugefügt (n = Anzahl der Drahtlagen pro Teilstrecke). Die Drahtkonstanten sind im Gegensatz zu oben auf das tatsächliche Spannungsgewicht und die Schwerkraft am Meßort Heerbrugg bezogen.

Die Ergebnisse der Tabellen sind - für jeden Draht - die Längen der Teilstrecken in der mittleren Messungshöhe jeder Teilstrecke, im ersten Fall mit der amtlichen Drahtkonstante vor der Basismessung, im zweiten Fall mit allen Drahtkonstanten. Die Längen der Teilstrecken mit den übrigen Drahtkonstanten wurden von der Schweiz, Österreich und der II. Abteilung des DGFI anschließend gesondert berechnet.

In den Anlagen 18 und 19 sind die Längen der Teilstrecken im Basispolygon A - BN mit amtlichen Drahtkonstanten und mit Drahtkonstanten aus dem Normalstreckenvergleich zusammengestellt. Die Tabellen enthalten die numerischen Werte der zentralen Rechenstelle Frankfurt a. M.

Da die schweizerischen Drähte K 1 und K 2 große Abweichungen in ihren amtlichen Drahtkonstanten zeigten, wurden ihre Ergebnisse in der Anlage 18 nicht berücksichtigt. Es wird vermutet, daß diese Drähte während der Basismessung sprunghaft ihre Länge änderten. Die Ursache für die festgestellte Verkürzung wurde bisher nicht gefunden. Jedenfalls konnte weder die amtliche Drahtkonstante vor der Basismessung noch diejenige nach der Basismessung für die Berechnung der Teilstrecken benutzt werden. Auch die Drahtkonstanten aus den Normalstreckenvergleichen wiesen erhebliche Unterschiede auf, die allerdings kleiner waren als diejenigen der Labor-Drahtkonstanten (Tabelle 6). Dank der dreifachen Messung der örtlichen Vergleichsstrecke war es möglich, das Verhalten der beiden Drähte zu untersuchen, indem die mit den Drahtkonstanten aus dem Normalstreckenvergleich vor und nach der Basismessung abgeleiteten Längen mit dem Mittelwert der übrigen 10 Drähte verglichen wurden. Dabei zeigte sich, daß beim Draht K 1 eine sprunghafte Längenänderung zwischen der 1. und 2. örtlichen Vergleichsmessung eingetreten sein mußte. Beim Draht K 2 hingegen ließen sich sprunghafte Längenänderungen zwischen dem 1. Normalstreckenvergleich und der 1. örtlichen Vergleichsmessung sowie zwischen der 2. und 3. örtlichen Vergleichsmessung vermuten. Zur zeitlichen und örtlichen Lokalisierung der Sprünge mußten nun bei beiden Drähten die Teilstreckenlängen der einzelnen Tagesabschnitte mit dem Mittel der übrigen 10 Drähte verglichen werden. Dies führte dazu, daß bei Draht K 1 die Teilstrecken A - 41, 41 - 56 und 56 - 95 nur mit der Drahtkonstanten vor der Basismessung und die übrigen Teilstrecken nur mit der Drahtkonstanten nach der Ba-

sis-messung berechnet wurden. Die Drahtmessungen auf der örtlichen Vergleichsstrecke v o r der Basismessung wurden mit der Drahtkonstanten v o r der Basismessung berechnet (Teilstrecken 95 - 117 und 117 - 130). Bei Draht K 2 wurde für alle Teilstrecken nur die Drahtkonstante n a c h der Basismessung verwendet. Für die örtliche Vergleichsstrecke wurde insbesondere nur die Vergleichsmessung n a c h der Basismessung benutzt. Die Hilfsbasis A - B wurde bei Draht K 1 mit der Drahtkonstanten v o r der Basismessung und bei K 2 mit der Drahtkonstanten n a c h der Basismessung berechnet. Nachdem so alle Teilstreckenlängen lediglich mit der Drahtkonstanten aus e i n e m Normalstreckenvergleich berechnet werden konnten, anstatt, wie bei den übrigen Drähten mit dem Mittel aus zwei Vergleichen, war es naheliegend, diese Werte nur mit dem Gewicht 0,5 bei der Mittelung aller Ergebnisse einzuführen.

Die in den Anlagen 18, 19 und 20 zusammengestellten endgültigen Längen der Teilstrecken und der Hilfsbasis wurden anschließend durch Anbringen der Höhenreduktion k_g auf die mittlere Messungshöhe $h_m = 420,000$ m der Meßstrecke umgerechnet. Mit diesen Längen wurde dann die Reduktion des Basispolygons durchgeführt.

8. Reduktion des Basispolygons

Die Reduktion des Basispolygons wurde von der Schweiz, von der I. Abteilung und der II. Abteilung des DGFI unabhängig voneinander durchgeführt.

Entsprechend dem Aufbau der Meßstrecke erfolgte die Reduktion in mehreren Stufen. Die gemessenen Brechungswinkel wurden dabei in den Nebenpolygonen und im Hauptpolygon mit unterschiedlichen Gewichtsansätzen ausgeglichen, um den Einfluß auf das Reduktionsergebnis festzustellen. Auch wurde der Brechungspunkt 148 einmal als Punkt des Hauptpolygons betrachtet. Eine Ausgleichung aller Brechungswinkel wurde von der Schweiz ausgeführt, eine genäherte Ausgleichung von der I. Abteilung des DGFI.

In den folgenden Abschnitten werden die Berechnungen und Ergebnisse zusammengestellt, soweit hierfür die Unterlagen bei der II. Abteilung des DGFI vorhanden waren.

8.1 Reduktion auf gleichen Horizont

Auf eine tabellarische Zusammenstellung der auf den einheitlichen Messungshorizont $h_m = 420,000$ m reduzierten Teilstrecken wurde verzichtet, weil jede Rechenstelle geringfügig abweichende Teilstreckenlängen im mittleren Messungshorizont h angegeben hatte.

Der summarische Betrag der Teilstreckenlängen im jeweiligen Messungshorizont und der Korrekturen k_g auf den mittleren Messungshorizont $h_m = 420,000$ m ist im Abschnitt 9.2 angegeben. Die gesamte Höhenkorrektur auf den mittleren Messungshorizont $h_m = 420,000$ m betrug + 2,231 mm.

8.2 Reduktion der Hilfsbasis

Die indirekt bestimmte Strecke BS - A wurde mit Hilfe des Sinussatzes berechnet. Mit den ausgeglichenen Winkeln der Tabelle 9 ergab sich die Reduktion der Hilfsbasis A - B gut übereinstimmend zu

Schweiz:	- 25 075,498 mm
I. Abt. DGFI:	- 25 075,49 mm
II. Abt. DGFI:	- 25 075,492 mm

8.3 Reduktion der 4. Stufe

Das Aligement durch Richtungsmessung auf den Teilstrecken 194 - 208, 251 - 257, 262 - 267 und 287 (291) - BN wird in den vorliegenden Berechnungen auch als Reduktion der 4. Stufe bezeichnet (vgl. Abschnitte 5.5 und 7.3). Die in allen Ländern unabhängig voneinander durchgeführten Berechnungen der 4. Stufe ergaben die in Tabelle 10 zusammengestellten Ergebnisse.

Tabelle 10

Teilstrecke	Schweiz	Österreich	I. Abteilung DGFI	II. Abteilung DGFI
	mm	mm	mm	mm
194 - 208	- 24,605	- 24,611	- 24,608	- 24,591
251 - 257	- 8,112	- 8,106	- 8,112	- 8,111
262 - 267	- 4,079	- 4,071	- 4,078	- 4,068
291 - BN	- 144,030	- 144,214	- 144,040	- 144,039
Gesamt-reduktion	- 180,826	- 181,002	- 180,838	- 180,809

Diese Reduktionen wurden von allen Ländern als Alignementskorrekturen k_4 in der Zusammenstellung der Korrekturen (IfAG-Trig.-Vordr. Nr. B 17) an die betreffenden Teilstreckenlängen ihrer Drähte angebracht. Sie erscheinen deshalb in der Zusammenfassung der Reduktionen (vgl. Abschnitt 8.7) nicht mehr.

8.4 Reduktion der 3. Stufe

In der 3. Reduktionsstufe wurden die Seiten 165 - 179, 179 - 194, 230 - 242, 242 - 257, 257 - 267, 267 - 277 und 287 - BN der Nebenspolygone berechnet (vgl. Abschnitt 5.6). Die Ergebnisse der Reduktion für die mit amtlichen und Drahtkonstanten aus der Normalstrecke berechneten Strecken enthält die nachstehende Tabelle 11.

Tabelle 11

Seite	Schweiz	I. Abtei- lung DGFI	II. Abtei- lung DGFI
	mm	mm	mm
165 - 179	- 125,432	- 125,44	- 125,432
179 - 194	- 11,833	- 11,85	- 11,843
230 - 242	- 14,797	- 14,78	- 14,791
242 - 251	- 2,853	- 2,85	- 2,850
257 - 267	- 6,029	- 6,04	- 6,030
267 - 277	- 11,323	- 11,33	- 11,323
287 - BN	- 0,006	- 0,00	- 0,008
Gesamt- reduktion	- 172,273	- 172,29	- 172,277

Die Reduktionen weichen nur geringfügig voneinander ab und gelten sowohl für die Berechnung der Teilstrecken mit Drahtkonstanten aus der Normalstrecke wie auch mit amtlichen Drahtkonstanten.

8.5 Reduktion der 2. Stufe

Die Reduktion der 2. Stufe ergab die Hauptpolygonseiten 95 - 130, 130 - 165, 165 - 208, 208 - 251 und 251 - BN.

Die Ausgleichung der aus den Richtungssätzen entnommenen Winkel in den Nebenspolygonen ist in der nachstehenden Tabelle 12 zusammengestellt. Alle Winkel wurden bei der Ausgleichung als gleichgewichtig betrachtet.

Tabelle 12

Stand- punkt	Zielpunkt von nach		gemessene Winkel	Verb.	ausgegliche Winkel
			g	cc	g
95	130	117	399,8074	- 2	399,8072
117	95	130	200,5209	- 2	200,5207
130	117	95	399,6723	- 2	399,6721
			0,0006	- 6	0,0000
130	165	148	0,0577	- 1	0,0576
148	130	165	199,8822	- 1	199,8821
165	148	130	0,0604	- 1	0,0603
			0,0003	- 3	0,0000
165	208	179	3,1701	- 3	3,1698
179	165	194	196,7280	- 3	196,7277
194	179	208	197,0428	- 3	197,0425
208	194	165	3,0602	- 2	3,0600
			0,0011	- 11	0,0000
208	251	219	3,4811	- 9	3,4802
219	208	230	197,6576	- 9	197,6567
230	219	242	197,2672	- 9	197,2663
242	230	251	198,0839	- 9	198,0830
251	242	208	3,5147	- 9	3,5138
			0,0045	- 45	0,0000
251	BN	257	4,0973	0	4,0973
257	251	267	198,6018	0	198,6018
267	257	277	197,2168	+ 1	197,2169
277	267	287	197,8437	0	197,8437
287	277	BN	199,4005	0	199,4005
BN	287	251	2,8398	0	2,8398
			399,9999	+ 1	0,0000

Abweichend von den Werten der Tabelle 12 wurden die nicht direkt gemessenen Winkel 165 - 130 - 148 und 148 - 165 - 130 des 2. Nebenvpolygons von der Schweiz zu 0,0578^g bzw. 0,0605^g und von der I. Abteilung des DGF I zu 0,0577^g bzw. 0,0602^g berechnet.

Die auf den Nebenvpolygonpunkten 179, 194, 219, 230 und 242 nach den Hauptpolygonpunkten gemessenen Winkel (Tabelle 8) wurden bei der Reduktionsrechnung nicht berücksichtigt.

Die Reduktionsergebnisse für die mit Drahtkonstanten aus der Normalstrecke berechneten Strecken enthält Tabelle 13. Die Reduktionen für die mit amtlichen Drahtkonstanten berechneten Strecken sind nur um wenige μ kleiner.

Tabelle 13

Seite	Schweiz	I. Abtei- lung DGFI	II. Abtei- lung DGFI
	mm	mm	mm
95 - 130	- 6,55	- 6,58	- 6,567
130 - 165	- 0,36	- 0,33	- 0,349
165 - 208	- 805,23	- 805,24	- 805,249
208 - 251	- 856,43	- 856,43	- 856,422
251 - BN	- 901,02	- 901,07	- 901,042
Gesamt- reduktion	- 2569,59	- 2569,65	- 2569,629

Die Werte weichen nur geringfügig voneinander ab.

8.6 Reduktion der 1. Stufe

Die Reduktion der 1. Stufe wurde auf verschiedene Arten durchgeführt. Anlaß hierzu waren die teilweise stark abweichenden Satzzahlen der Brechungswinkel, die Überbestimmungen im Hauptpolygon und vermutete Seitenrefraktionseinflüsse zwischen den Brechungspunkten 130 und 165 sowie von 165 bis BN.

Die II. Abteilung des DGFI verteilte den Widerspruch im Hauptpolygon nach

$$1) - \frac{w}{n} \text{ und}$$

$$2) - \frac{\frac{1}{p_i}}{\left[\frac{1}{p}\right]} \cdot w$$

($p_i = \frac{n_i}{20}$, n_i = Anzahl der gemessenen Sätze).

Damit ergeben sich die folgenden Richtungswinkel der Hauptpolygonseiten (Tabelle 14).

Tabelle 14

Stand- punkt	Zielpunkt von nach		gemessene Winkel g	Ausgleichung nach 1)			Ausgleichung nach 2)			
				v_1 cc	ausgegl. Winkel g	Richtungs- winkel g	p_i	v_1 cc	ausgegl. Winkel g	Richtungs- winkel g
BS	BN	A	396,32085	- 1,5	396,3207	396,3207	1	- 1,3	396,32072	396,32072
A	BS	41	199,99930	- 1,0	199,9992	396,3199	1	- 1,3	199,99917	396,31989
41	A	56	200,01825	- 1,5	200,0181	396,3380	1	- 1,3	200,01812	396,33801
56	41	95	199,98035	- 1,5	199,9802	396,3182	1	- 1,3	199,98022	396,31823
95	56	130	215,74480	- 1,0	215,7447	12,0629	1	- 1,3	215,74467	12,06290
130	95	165	200,52160	- 1,0	200,5215	12,5844	1	- 1,3	200,52147	12,58437
165	130	208	193,42215	- 1,5	193,4220	6,0064	1	- 1,3	193,42202	6,00639
208	165	251	190,54841	- 1,1	190,5483	396,5547	1,65	- 0,8	190,54833	396,55472
251	208	BN	190,53930	- 1,0	190,5392	387,0939	1,45	- 0,9	190,53921	387,09393
BN	251	BS	12,90620	- 1,0	12,9061		1	- 1,3	12,90607	
			0,00121	- 12,1	0,0000			-12,1	0,00000	

Außerdem wurde in einer weiteren Ausglei chung der Brechpunkt 148 in das Hauptpolygon mit einbezogen und der Widerspruch nach $-\frac{w}{n}$ verteilt (Tabelle 15).

Tabelle 15

Stand- punkt	Zielpunkt		gemessene Winkel	Ausgleichung nach 1)		
	von	nach		v_i	ausgegl. Winkel	Richtungs- winkel
			g	cc	g	g
BS	BN	A	396,32085	- 1,5	396,3207	396,3207
A	BS	41	199,99930	- 1,0	199,9992	396,3199
41	A	56	200,01825	- 1,5	200,0181	396,3380
56	41	95	199,98035	- 1,5	199,9802	396,3182
95	56	130	215,74480	- 1,0	215,7447	12,0629
130	95	148	200,47935	- 1,5	200,5792	12,6421
148	130	165	199,88215	- 1,5	199,8820	12,5241
165	148	208	193,48254	- 1,4	193,4824	6,0065
208	165	251	190,54841	- 1,1	190,5483	396,5548
251	208	BN	190,53930	- 1,0	190,5392	387,0940
BN	251	BS	12,90620	- 2,0	12,9060	
			0,00150	- 15,0	0,0000	

In den Tabellen 14 und 15 wurden in den Ausgleichungen nach 1) die ausgeglichenen Winkel gleichzeitig auf volle Neusekunden gerundet.

Die Schweiz führte eine Ausgleichung aller mit dem Hauptpolygon zusammenhängenden Brechungswinkel mit unterschiedlichen Gewichten durch, allerdings unter Vernachlässigung der Tatsache, daß auf den Punkten BS, 41 bzw. 130 und 165 Richtungssätze gemessen worden waren. Eine genäherte Ausgleichung unter einfacher Mittelung der überbestimmten Winkel erfolgte von der I. Abteilung des DGFI.

Die endgültigen Richtungswinkel der Hauptpolygonseiten aus allen Berechnungen sind in der nachstehenden Tabelle 16 enthalten. Die Ergebnisse der Tabelle 15 sind in Tabelle 16 nicht mitaufgeführt.

Tabelle 16

Richtungs- winkel von - nach	Richtungswinkel im Hauptpolygon				Differenzen		
	a) Schweiz	b) I. Abt. DGFI	c) II. Abt. DGFI 1)	d) II. Abt. DGFI 2)	a) - b)	a) - c)	a) - d)
	g	g	g	g	cc	cc	cc
BS - A	396,3208	396,3208	396,3207	396,32072	0	+ 1	+ 0,8
A - 41	396,3201	396,3201	396,3199	396,31989	0	+ 2	+ 2,1
41 - 56	396,3383	396,3382	396,3380	396,33801	+ 1	+ 3	+ 2,9
56 - 95	396,3187	396,3184	396,3182	396,31823	+ 3	+ 5	+ 4,7
95 - 130	12,0634	12,0630	12,0629	12,06290	+ 4	+ 5	+ 5,0
130 - 165	12,5850	12,5845	12,5844	12,58437	+ 5	+ 6	+ 6,3
165 - 208	6,0069	6,0067	6,0064	6,00639	+ 2	+ 5	+ 5,1
208 - 251	396,5550	396,5549	396,5547	396,55472	+ 1	+ 3	+ 2,8
251 - BN	387,0938	387,0940	387,0939	387,09393	- 2	- 1	- 1,3

Die Ergebnisse der mit den Richtungswinkeln der Tabelle 16 durchgeführten Reduktionen sind in der folgenden Tabelle 17 zusammengestellt. Die Reduktionen beziehen sich auf Strecken, die mit Drahtkonstanten aus der Normalstrecke berechnet worden sind. Die Reduktionen für die mit amtlichen Drahtkonstanten berechneten Strecken weichen um $-1 \mu/m$ ab (vgl. Abschnitt 9.2).

Tabelle 17

Seite	Länge ca.	Reduktion der 1. Stufe				a) - b)	Differenzen	
		a) Schweiz	b) I. Abt. DGFI	c) II. Abt. DGFI 1)	d) II. Abt. DGFI 2)		a) - c)	a) - d)
	m	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm
BS - A	191	- 318,92	- 318,93	- 318,943	- 318,940	+ 0,01	+ 0,023	+ 0,020
A - 41	984	- 1643,80	- 1643,83	- 1644,021	- 1644,031	+ 0,03	+ 0,221	+ 0,231
41 - 56	360	- 595,62	- 595,65	- 595,724	- 595,720	+ 0,03	+ 0,104	+ 0,100
56 - 95	936	- 1564,53	- 1564,78	- 1564,984	- 1564,956	+ 0,25	+ 0,454	+ 0,426
95 - 130	840	- 15041,98	- 15041,01	- 15040,763	- 15040,763	- 0,97	- 1,217	- 1,217
130 - 165	840	- 16367,05	- 16365,80	- 16365,500	- 16365,424	- 1,25	- 1,550	- 1,626
165 - 208	1032	- 4588,97	- 4588,71	- 4588,197	- 4588,177	- 0,26	- 0,773	- 0,793
208 - 251	1032	- 1510,08	- 1510,18	- 1510,360	- 1510,339	+ 0,10	+ 0,280	+ 0,259
251 - BN	1103	- 22584,72	- 22583,99	- 22584,342	- 22584,232	- 0,73	- 0,378	- 0,488
Gesamt- reduktion		- 64215,67	- 64212,88	- 64212,834	- 64212,582	- 2,79	- 2,836	- 3,088

Die Tabelle 17 läßt zum Teil erhebliche Abweichungen der einzelnen Reduktionen untereinander erkennen. Im Gesamtbetrag der Reduktionen der 1. Stufe ergeben sich Abweichungen sogar bis zu 3 mm. Die Genauigkeit der betrachteten Basislänge hängt damit erheblich von der Genauigkeit der Winkelmessungen und ihrer Auswertung ab.

Tabelle 18

Seite	Länge ca.	Richtungs- winkel	Reduktion
	m	g	mm
BS - A	191	396,3207	- 318,943
A - 41	984	396,3199	- 1644,021
41 - 56	360	396,3380	- 595,724
56 - 95	936	396,3182	- 1564,984
95 - 117	528	11,8701	- 9155,788
117 - 130	<u>312</u> 840	12,3908	- 5892,982 - 15048,770
130 - 148	432	12,6421	- 8493,366
148 - 165	<u>408</u> 840	12,5241	- 7873,456 - 16366,822
165 - 179	336	9,1763	- 3485,745
179 - 194	360	5,9040	- 1547,907
194 - 208	<u>336</u> 1032	2,9465	- 359,940 - 5393,592
208 - 219	264	0,0350	- 0,053
219 - 230	264	397,6917	- 173,613
230 - 242	288	394,9580	- 903,014
242 - 251	<u>216</u> 1032	393,0410	- 1289,861 - 2366,541
251 - 257	144	391,1913	- 1376,383
257 - 267	240	389,7931	- 3080,419
267 - 277	240	387,0100	- 4979,976
277 - 287	240	384,8537	- 6758,452
287 - BN	<u>239</u> 1103	384,2542	- 7289,157 - 23484,387
			- 66783,784

Die weitere Reduktion der II. Abteilung des DGFI mit Brechpunkt 148 als Hauptpunkt wurde unter gleichzeitiger Vereinigung der Nebenspolygone mit dem Hauptpolygon zu einem Polygon durchgeführt. Hierzu wurden die ausgeglichenen Brechungswinkel des Hauptpolygons (Tabelle 15) mit den ausgeglichenen Brechungswinkeln der Nebenspolygone (Tabelle 12) vereinigt und danach die Richtungswinkel des Gesamtpolygons berechnet. Die Ergebnisse dieser Reduktion sind in der nachstehenden Tabelle 18 enthalten.

8.7 Zusammenfassung der Reduktionen

Die vorliegende Basismessung hatte die Eigenart, daß, um gute Bedingungen für die Drahtmessungen zu erhalten, eine polygonale Ausbiegung gewählt wurde, die Reduktionen der gemessenen Längen auf die Basisflucht in 4 Stufen notwendig machte.

Das übliche Aligment wurde auch als Reduktion der 4. Stufe bezeichnet, weil für die stärker ausweichenden Punkte auch Richtungsmessungen erforderlich waren.

Die Reduktion auf die Nebenspolygonseiten wurde als die der 3. Stufe, die Reduktion auf die Hauptpolygonseiten wurde als die der 2. Stufe, die Reduktion auf die Basisflucht als die der 1. Stufe bezeichnet.

Bei den Reduktionen in den Stufen 2 und 1 wurden mehrere Ansätze für die Richtungswinkel benutzt. Außerdem wurde versuchsweise der Brechpunkt 148 des Nebenspolygons auch einmal als Brechpunkt des Hauptpolygons betrachtet.

Für die Vergleiche der Reduktionen wurden die Differenzen zwischen der Schweizer Ausgleichung und den übrigen Ausgleichungen gebildet. Es ergaben sich dabei Abweichungen bis 3 mm, die ausschließlich aus den Reduktionen der 1. Stufe herrühren (Tabelle 19).

Tabelle 19

	Schweiz a)	I. Abt. DGFI b)	c) 1)	II. Abt. DGFI d) 2)	e) 3)	Differenzen			
						a)-b)	a)-c)	a)-d)	a)-e)
3. Red.-Stufe	- 172,273	- 172,29	- 172,277	- 172,277	- 172,277	+0,017	+0,004	+0,004	+0,004
2. Red.-Stufe	- 2 569,59	- 2 569,65	- 2 569,629	- 2 569,629	- 2 569,629	+0,060	+0,039	+0,039	
1. Red.-Stufe	- 64 215,67	- 64 212,88	- 64 212,834	- 64 212,582	- 64 212,582	-2,790	-2,836	-3,088	-1,476
Red.d.Hilfsb.	- 25 075,498	- 25 075,49	- 25 075,492	- 25 075,492	- 25 075,492	-0,008	-0,006	-0,006	-0,006
Gesamtsumme d. Reduktionen	- 92 033,031	- 92 030,31	- 92 030,232	- 92 029,980	- 92 031,553	-2,721	-2,799	-3,051	-1,478

1) Widerspruch verteilt nach $-\frac{w}{n}$

2) Widerspruch verteilt nach $-\frac{\frac{1}{p_1}}{[\frac{1}{p}]} \cdot w$

3) Haupt- u. Nebenspolygon vereinigt, Punkt 148 als Hauptpunkt, Widerspruch verteilt nach $-\frac{w}{n}$

Die Werte gelten für die mit den Drahtkonstanten aus dem Normalstreckenvergleich abgeleiteten Längen des Basispolygons von A nach BN und der Hilfsbasis A - B im mittleren Messungshorizont $h_m = 420,000$ m.

Eine Einbeziehung des Brechpunktes 148 in das Hauptpolygon bringt zwar einen anderen fehlertheoretischen Ansatz, wirkt sich aber im Ergebnis nicht aus.

9. Zusammenstellung der Ergebnisse

9.1 Ergebnisse der Messungen auf der Normalstrecke

Die Länge der Normalstrecke München wurde aus sämtlichen Messungen der Meßdrähte mit Ausnahme der schweizerischen mit den Drahtkonstanten der amtlichen Eichinstitute berechnet. Die Ergebnisse der Einzelmessungen und die Drahtmittel sind in der Anlage 17 zusammengestellt worden. Da die österreichischen Unterlagen für den Normalstreckenvergleich nicht vorliegen, wurden die Längen mit den österreichischen Drähten 526, 527, 528 und 529 aus den Differenzen zwischen den amtlichen Drahtkonstanten und den Drahtkonstanten aus der Normalstrecke errechnet.

Von Interesse ist der Vergleich der Mittelwerte für die im BIPM und die in der PTB verglichenen Drähte:

Mittel BIPM	(n = 2)	:	864 020,037 mm
Mittel PTB	(n = 8)	:	864 020,462 mm
Gesamtmittel	(n = 10)	:	864 020,377 mm
Interferenzmessung		:	864 019,535 mm.

Es ergibt sich also

- zwischen dem Gesamtmittel der Messungen mit 10 Drähten und dem Übertragungswert der Interferenzmessung eine Differenz von ca. -0,8 mm,
- zwischen den Gruppenmitteln der im BIPM und in der PTB verglichenen Drähte eine, wenn auch nicht signifikante, Differenz von 0,425 mm.

Diese letzte Differenz von etwa 0,5 μ / m ist bereits beim Vergleich der Drahtkonstanten aus Labor- und Normalstreckenvergleichen (vgl. Abschnitt 4.3) erwähnt worden.

Die Messungen auf der Normalstrecke eignen sich zur Beurteilung der Genauigkeit der Drahtmessungen, weil der Ausbau mit Betonpfählen die unveränderte Stellung der Jäderinzapfen während der Messung gewährleistet.

Der mittlere Fehler der Drahtmessung kann aus Beobachtungsdifferenzen d_1 zwischen den gleichwertigen Hin- und Rückmessungen nach der Formel

$$m_1 = \pm \sqrt{\frac{[d_1 d_1]}{2n}}$$

ermittelt werden. Diese Beobachtungsdifferenzen sind durch den systematischen Einfluß der Dezimetergleichung beider Beobachter verfälscht, wie die Vorzeichenfolgen der Differenzen in den Zusammenstellungen der Hin- und Rückmessungen zeigen. Dennoch ist der mittlere Fehler ohne Elimination dieses systematischen Anteils berechnet worden und ergibt folgende Werte, die mit denen der Basismessung München 1958 (2) übereinstimmen:

Mittlerer Fehler der einmaligen Messung einer Drahtlage

$$m_1 = \pm 0,06 \text{ mm}$$

Mittlerer Fehler des Mittels aus Hin- und Rückmessung für eine Drahtlage

$$M_1 = \pm 0,04 \text{ mm}$$

Mittlerer Fehler des Mittels aus Hin- und Rückmessung für Kilometerstrecke

$$M_{\text{km}} = \pm 0,28 \text{ mm.}$$

Durch die Beobachterwechsel in der Mitte jedes Streckenabschnitts ist die sich für die gesamte Normalstrecke zwischen Hin- und Rückmessung mit einem Draht ergebende Differenz d_2 frei von dem Einfluß der Dezimetergleichung beider Beobachter. Von den insgesamt 24 Differenzen d_2

der Hin- und Rückmessungen mit den 12 Meßdrähten vor und nach der Basismessung sind entgegen den Erwartungen jedoch 4 erheblich größer als die anderen ausgefallen, weil hier aus ungeklärter Ursache die Beobachterwechsel keinen Vorzeichenwechsel der Dezimetergleichung bewirkten. Die Berechnung der mittleren Fehler aus den Differenzen d_2 wurden daher mit allen 24 Differenzen und mit den 20 "einwandfreien" Differenzen (die Ergebnisse stehen in Klammern dahinter) ausgeführt. Damit ist dann für die Länge der Normalstrecke von 864 m (= 36 Drahtlagen)

$$\text{der mittlere Fehler einer Messung } m_L = \pm \sqrt{\frac{[d_2^2]}{2n}} = \pm 0,44 \text{ (0,27) mm}$$

$$\text{der mittlere Fehler des Mittels aus Hin- und Rückmessung } M_L = \pm \frac{1}{2} \sqrt{\frac{[d_2^2]}{n}} = \pm 0,31 \text{ (0,19) mm}$$

$$\text{der mittlere Kilometerfehler für das Mittel aus Hin- und Rückmessung } M_{km} = \pm \frac{1}{2} \sqrt{\frac{[d_2^2]}{n}} \cdot \frac{1000}{864} = \pm 0,34 \text{ (0,20) mm.}$$

Die Berechnung des mittleren Fehlers aus den Verbesserungen der Einzelmittel jedes Drahtes gegen das Gesamtmittel aller Drähte dürfte dagegen der äußeren Genauigkeit des Meßverfahrens entsprechen, da in den Verbesserungen der Einfluß der Restfehler in den Drahtangaben, den Korrekturen und der Trupps enthalten sind. Hiernach ergibt sich

$$\text{der mittlere Fehler des Mittels aus einer einmaligen Hin- und Rückmessung mit einem Draht } M_{864} = \pm \sqrt{\frac{[vv]}{n-1}} = \pm 1,0 \text{ mm}$$

$$\text{der mittlere Fehler für das Mittel aus einer einmaligen Hin- und Rückmessung einer Kilometerstrecke } M_{km} = \pm \sqrt{\frac{[vv]}{n-1}} \cdot \frac{1000}{864} = \pm 1,1 \text{ mm.}$$

Zusammenfassend betrachtet stimmen die aus den Beobachtungsdifferenzen d_1 und d_2 berechneten mittleren Fehler mit $\pm 0,2 - 0,3$ mm/km gut überein. Diese Werte geben nur die innere Meßgenauigkeit mit ein und demselben Draht an. Die äußere Genauigkeit des Mittels einer einmaligen Hin- und Rückmessung mit einem Draht, abgeleitet aus Messungen mit verschiedenen Drähten, dürfte dagegen mit etwa $\pm 1,1$ mm/km anzusetzen sein. Bei der Basismessung München 1958 wurde aus den Normalstreckenvergleichen ein mittlerer Kilometerfehler von $\pm 2,0$ mm erhalten [2].

9.2 Ergebnisse der Messungen auf der Basis

Die Länge des Basispolygons B - A - BN in der mittleren Messungshöhe jeder Teilstrecke ist der Ausgangswert für alle im Abschnitt 8 geschilderten Reduktionen. Damit ergeben sich folgende Werte für die Länge der Basis.

9.2.1 Mit Drahtkonstanten aus dem Normalstreckenvergleich

Mit den Drahtkonstanten aus dem Normalstreckenvergleich ergibt sich die Länge des Basispolygons B - A - BN zu:

Länge des Basispolygons von Punkt A bis BN (Anlage 19)	7 129 923,5399 mm
Länge der Hilfsbasis A - B (Anlage 20)	216 097,3415 mm
Korrektur k_8 (Reduktion auf mittlere Messungshöhe $h_m = 420,000$ m)	+ 2,2310 mm
Länge des Basispolygons von Punkt B über A bis BN (12 Drähte)	7 346 023,1124 mm

Die Ergebnisse für die Basislänge mit Drahtkonstanten aus dem Normalstreckenvergleich nach den verschiedenen Reduktionsverfahren sind von diesem Wert ausgehend in der nachstehenden Tabelle 20 zusammengestellt. Die größte Differenz der Werte untereinander beträgt 3,05 mm und ist damit von der Größenordnung 1 : 2 400 000.

Tabelle 20

	Schweiz a)	I. Abt. DGFI b)	c) 1)	II. Abt. DGFI d) 2)	e) 3)
Länge des Basispolygons	7 346 023,112	7 346 023,112	7 346 023,112	7 346 023,112	7 346 023,112
Gesamtsumme d. Reduktionen	- 92 033,031	- 92 030,31	- 92 030,232	- 92 029,980	- 92 031,553
Basislänge	7 253 990,081	7 253 992,802	7 253 992,880	7 253 993,132	7 253 991,559

1) Widerspruch verteilt nach $-\frac{w}{n}$

2) Widerspruch verteilt nach $-\frac{\frac{1}{p_1}}{\left[\frac{1}{p}\right]} \cdot w$

3) Haupt- u. Nebenpolygon vereinigt, Punkt 148 als Hauptpunkt, Widerspruch verteilt nach $-\frac{w}{n}$

Als Basislänge wird der Mittelwert der fünf Einzelresultate angenommen, nämlich

7 253 992 mm.

Die festgestellte Längenkorrektur von + 1,03 μ am Quarzmeter-System hat eine nachträgliche Längenänderung von + 1,03 $\mu/m \cdot L$ an der Länge der Normalstrecke München und somit auch an der Basislänge zur Folge. Die endgültige Länge ist daher 7,47 mm größer, nämlich

7 253 999 mm.

9.2.2 Mit Drahtkonstanten der amtlichen Eichinstitute

Mit den Drahtkonstanten der amtlichen Eichinstitute ist die Länge des Basispolygons B - A - BN:

Länge des Basispolygons von Punkt A bis BN (Anlage 18)	7 129 930,7139 mm
Länge der Hilfsbasis A - B (Anlage 20)	216 097,5486 mm
Korrektur k_8 (Reduktion auf mittlere Messungshöhe $h_m = 420,000$ m)	+ 2,2310 mm
Länge des Basispolygons von Punkt B über A bis BN (10 Drähte)	7 346 030,4935 mm

Die Differenz der Längen des Basispolygons mit amtlichen Drahtkonstanten und den Drahtkonstanten aus dem Normalstreckenvergleich ist + 7,38 mm und liegt also in der Größenordnung von 1 : 1 000 000, die auch in Abschnitt 4.3 festgestellt wurde.

Die Basislänge mit amtlichen Drahtkonstanten nach den verschiedenen Reduktionsverfahren kann in gleicher Weise wie oben berechnet werden (Tabelle 21). Wegen des im Vorhergehenden festgestellten Maßstabsunterschiedes sind die Gesamtsummen der Reduktionen in Tabelle 19 jedoch, absolut betrachtet, um 1 μ/m , mithin um 92 μ zu vergrößern.

Als Basislänge mit amtlichen Drahtkonstanten wird der Mittelwert der fünf Einzelresultate in Tabelle 21 angenommen, nämlich

7 253 999 mm.

Tabelle 21

	Schweiz a)	I. Abt. DGFI b)	c) 1)	II. Abt. DGFI d) 2)	e) 3)
Länge des Basispolygons	7 346 030,494	7 346 030,494	7 346 030,494	7 346 030,494	7 346 030,494
Gesamtsumme d. Reduktionen	- 92 033,123	- 92 030,402	- 92 030,324	- 92 030,072	- 92 031,645
Basislänge	7 253 997,371	7 254 000,092	7 254 000,170	7 254 000,422	7 253 998,849

1) Widerspruch verteilt nach $-\frac{w}{n}$

2) Widerspruch verteilt nach $-\frac{\frac{1}{p_1}}{\frac{1}{p_1}} \cdot w$

3) Haupt- u. Nebenpolygon vereinigt, Punkt 148 als Hauptpunkt, Widerspruch verteilt nach $-\frac{w}{n}$

9.3 Fehlerbetrachtungen

Für die Ermittlung des mittleren Fehlers der Basislänge müssen die Fehleranteile der einzelnen Messungen abgeschätzt werden. Fehlerquellen enthalten die Drahtmessungen, Winkelmessungen, Nivellements, Alignements und die Ablesungen. Die Fehleranteile der letzten drei Messungen sind jedoch gering. Werden die bei der Basismessung München 1958 angegebenen Werte angehalten und die im vorliegenden Falle etwas ungünstigeren Verhältnisse abgeschätzt, so wird der Fehleranteil für die Basislänge etwa $\pm 0,3$ mm betragen.

9.3.1 Genauigkeit der Drahtmessung

Die Genauigkeit der Drahtmessungen kann aus den Verbesserungen der Einzelergebnisse der Drähte für das Basispolygon A - BN gegen das arithmetische Mittel berechnet werden. Der mittlere Fehler des Mittels beträgt für das 7,130 km lange Basispolygon A - BN

- mit den Drahtkonstanten der amtlichen Eichinstitute (Anlage 18, Spalte Summe)

$$\pm 1,42 \text{ mm}$$

- mit den auf der Normalstrecke ermittelten Drahtkonstanten (Anlage 19, Spalte Summe)

$$\pm 1,57 \text{ mm.}$$

Die mittleren Kilometerfehler der Drahtmessungen können somit abgeschätzt werden zu $M_{km} = \pm 0,53$ mm bzw. $\pm 0,59$ mm. Überraschend ist hierbei der etwas größere mittlere Fehler mit den auf der Normalstrecke ermittelten Drahtkonstanten. Der Grund hierfür liegt in den relativ großen Abweichungen der Länge des Basispolygons zwischen den einzelnen Meßgruppen Schweiz, Österreich, Frankfurt und München. Die systematischen Fehlereinflüsse sind jedoch noch nicht aufgeklärt.

9.3.2 Mittlerer Fehler des Hilfsdreiecks

Der mittlere Fehler für die aus dem Hilfsdreieck am Basisendpunkt Süd abgeleitete Teilstrecke BS - A = b ergibt sich aus der Formel

$$m_b^2 = \left(\frac{b}{a}\right)^2 m_a^2 + \frac{2}{3} \left(\frac{b}{\rho_{cc}}\right)^2 (\text{ctg}^2 \alpha + \text{ctg} \alpha \text{ctg} \beta + \text{ctg}^2 \beta) m_{\gamma}^2$$

$$(a = \text{Hilfsbasis A - B, } m_{\gamma} = m_{\alpha} = m_{\beta} = m_{\gamma}).$$

Mit $m_{\gamma} = \pm 2,3^{\text{cc}}$, abgeleitet aus dem Winkelabschlußfehler im Hilfsdreieck, und $m_a = \pm 0,59 \cdot \sqrt{0,216} = \pm 0,27$ mm beträgt $m_b = \pm 0,56$ mm.

9.3.3 Fehleranteil der Reduktion des Basispolygons

Der Anteil des mittleren Fehlers aus der Reduktion des Basispolygons BS - BN ist sowohl nach einer Näherungsformel als auch nach der strengen Formel berechnet worden.

Die Näherungsformel lautet für das Hauptpolygon einschließlich der Nebenpolygone

$$\begin{aligned} \bar{m}_{II}^2 = & (y_1^2 + 2y_2^2 + 3y_3^2 + 4y_4^2) m_\beta^2 \\ & + (y_{51}^2 + y_{52}^2) \cos^2 v_5 m_{\beta_5}^2 + 5(x_{51}^2 + x_{52}^2) \sin^2 v_5 m_\beta^2 \\ & + (y_{61}^2 + y_{62}^2) \cos^2 v_6 m_{\beta_6}^2 + 4(x_{61}^2 + x_{62}^2) \sin^2 v_6 m_\beta^2 \\ & + (y_{71}^2 + 2y_{72}^2 + y_{73}^2) \cos^2 v_7 m_{\beta_7}^2 + 3(x_{71}^2 + x_{72}^2 + x_{73}^2) \sin^2 v_7 m_\beta^2 \\ & + (y_{81}^2 + 2y_{82}^2 + 2y_{83}^2 + y_{84}^2) \cos^2 v_8 m_{\beta_8}^2 + 2(x_{81}^2 + x_{82}^2 + x_{83}^2 + x_{84}^2) \sin^2 v_8 m_\beta^2 \\ & + (y_{91}^2 + 2y_{92}^2 + 3y_{93}^2 + 2y_{94}^2 + y_{95}^2) \cos^2 v_9 m_{\beta_9}^2 + (x_{91}^2 + x_{92}^2 + x_{93}^2 + x_{94}^2 + x_{95}^2) \\ & \cdot \sin^2 v_9 m_\beta^2 \end{aligned}$$

wobei v_{ik} = Richtungswinkel der Strecke zwischen den Punkten i und k bezogen auf die Flucht des Haupt- bzw. betreffenden Nebenpolygons j,

$$y_i = s_i \cdot \sin v_i, y_{ik} = s_{ik} \sin v_{ik}, x_i = s_i \cos v_i, x_{ik} = s_{ik} \cdot \cos v_{ik},$$

m_β = mittlerer Fehler der ausgeglichenen Brechungswinkel β im Hauptpolygon und

m_{β_i} = mittlerer Fehler der ausgeglichenen Brechungswinkel β_i im i. Nebenpolygon.

In dieser Näherungsformel werden also die ausgeglichenen Richtungswinkel v_i als "beobachtete" Größen betrachtet und dabei noch ihr mittlerer Fehler durch die mittleren Fehler der ausgeglichenen Brechungswinkel m_β ausgedrückt.

Die strenge Formel für das Hauptpolygon, die mit den beobachteten Brechungswinkeln β' nach dem Fehlerfortpflanzungsgesetz abgeleitet wurde, ist in allgemeiner Schreibweise

$$m_{II}'^2 = \frac{m_{\beta'}^2}{n+1} \cdot \sum_{i=1}^n (A_{ii} y_i^2 + 2 \cdot \sum_{k=i+1}^n A_{ik} y_i y_k)$$

wobei

$m_{\beta'}$ = mittlerer Fehler der beobachteten Brechungswinkel β'

$$A_{ik} = i [(n+1) - k]$$

und $n = 9$ (Anzahl der zu reduzierenden Teilstrecken).

Für die Nebenpolygone (Index j) ist der mittlere Fehleranteil insgesamt

$$m_{II}''^2 = \sum_{j=5}^9 \left\{ \frac{m_{\beta_j'}^2}{n_j+1} \cdot \sum_{i=1}^{n_j} (A_{ii}^{(j)} y_{ji}^2 + 2 \cdot \sum_{k=i+1}^{n_j} A_{ik}^{(j)} y_{ji} y_{jk}) \right\}$$

($n_5 = n_6 = 2$, $n_7 = 3$, $n_8 = 4$, $n_9 = 5$). Der strenge mittlere Fehleranteil aus der Reduktion des Hauptpolygons und der Nebenpolygone ist damit

$$m_{II}^2 = m_{II}'^2 + m_{II}''^2.$$

Aus dem Widerspruch $-12,1^{cc}$ (Tabelle 14) im Hauptpolygon und den mittleren Fehlern der Brechungswinkel in den Nebenpolygone aus der Schweizer Gesamtausgleichung der Brechungswinkel ergeben sich folgende Werte:

m.F. der beob. Brechungswinkel	m.F. der ausgeglic. Brechungswinkel
$m_{\beta'} = \pm 3,8^{cc}$	$m_{\beta} = \pm 3,6^{cc}$
$m_{\beta'_5} = \pm 2,8$	$m_{\beta_5} = \pm 2,2$
$m_{\beta'_6} = \pm 1,7$	$m_{\beta_6} = \pm 1,4$
$m_{\beta'_7} = \pm 5,1$	$m_{\beta_7} = \pm 4,4$
$m_{\beta'_8} = \pm 6,4$	$m_{\beta_8} = \pm 5,7$
$m_{\beta'_9} = \pm 4,2$	$m_{\beta_9} = \pm 3,9$

Mit diesen Werten berechnen sich die obigen mittleren Fehleranteile zu

$$\text{Näherungsformel: } \bar{m}_{II} = \pm 3,30 \text{ mm}$$

$$\text{strenge Formel : } m_{II} = \pm \sqrt{2,51^2 + 0,25^2} = \pm 2,53 \text{ mm}$$

9.3.4 Fehleranteil der Drahtmessung

Der von der Drahtmessung herrührende mittlere Fehleranteil ist für die Basislänge

$$m_I^2 = \sum_{i=1}^4 \cos^2 v_i m_{s_i}^2 + \sum_{i=5}^9 (\cos^2 v_i \cdot \sum_{k=1}^{n_i} \cos^2 v_{ik} m_{s_{ik}}^2)$$

(n_i s. oben).

$$\text{Wird } m_{s_1} = m_b = \pm 0,56 \text{ mm und } m_{s_i} = \pm 0,59 \cdot \sqrt{s_{i[km]}} \text{ mm}$$

($i = 2, \dots, 9$) gesetzt, dann ist

$$m_I = \pm 1,65 \text{ mm.}$$

9.3.5 Gesamtfehler der Basislänge

Der mittlere Fehler der Basislänge mit den auf der Normalstrecke ermittelten Drahtkonstanten ergibt sich damit zu

$$\text{Näherungsformel: } \bar{m} = \pm \sqrt{1,65^2 + 3,30^2} = \pm 3,69 \text{ mm}$$

$$\text{strenge Formel : } m = \pm \sqrt{1,65^2 + 2,53^2} = \pm 3,02 \text{ mm.}$$

Die entsprechenden Werte mit den Drahtkonstanten der amtlichen Eichinstitute weichen hiervon nur geringfügig ab ($\pm 3,62$ mm bzw. $\pm 2,94$ mm).

Als Ergebnis der Genauigkeitsbetrachtungen kann somit der mittlere Fehler für die Basislänge (mit Drahtkonstanten aus der Normalstrecke und amtlichen Drahtkonstanten) in der Größenordnung von

$$\pm 3 \text{ mm}$$

oder mit einem relativen Fehler von

$$1 : 2\,500\,000$$

angegeben werden.

9.4 Endgültige Basislänge und ihr mittlerer Fehler

Die Messungen und Berechnungen führten für die Länge der Basis Heerbrugg im mittleren Messungshorizont $h_m = 420,000$ m auf folgende Werte:

- aus dem Normalstreckenvergleich, unter nachträglicher Berücksichtigung der Längenkorrektur von $+ 1,03 \mu$ am Quarzmeter-System

$$7\,253\,999 \text{ mm,}$$

- aus amtlichen Drahtkonstanten

$$7\,253\,999 \text{ mm.}$$

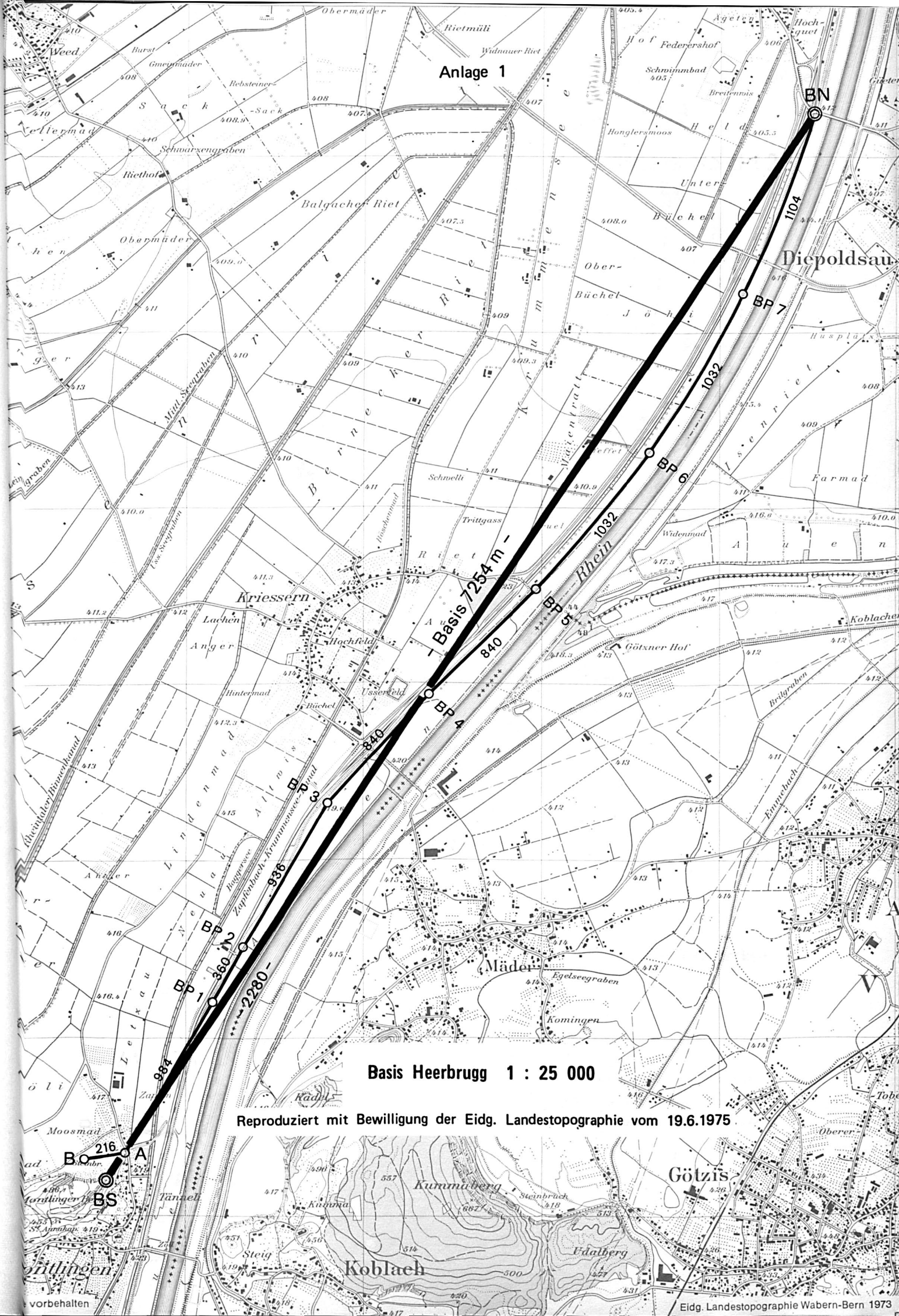
Damit hat sich aus den Drahtmessungen auf der Basis Heerbrugg eine außerordentlich gute Übereinstimmung für die beiden Vergleichsverfahren - Normalstreckenvergleich und Laborvergleich - ergeben.

Die endgültige aus den Drahtmessungen abgeleitete Basislänge im mittleren Messungshorizont $h_m = 420,000$ m ist somit

$$\underline{7\,253\,999 \text{ mm} \pm 3 \text{ mm.}}$$

10. Literaturverzeichnis

- [1] Kobold, F. u. Fischer, W.: Basismessung Heerbrugg 1959, Beschlüsse und Anlage. Astronomisch-geodätische Arbeiten in der Schweiz, Band 30, Teil I, 1974
- [2] Gerke, K.: Basis München 1958, Die Invardrahtmessungen des Instituts für Angewandte Geodäsie. DGK, Reihe B, Heft 56, Teil II, 1962
- [3] Bonhoure, A.: La base géodésique du Bureau International des Poids et Mesures. Rev. Métrol. pratique et légale, 1952
- [4] Hoffrogge, Ch. u. Rummert, H.: Meteranschluß von Invardrähten für Basismessungen. DGK, Reihe B, Heft 71, 1961
- [5] Kneißl, M.: Normalstrecke, Basis und Basisvergrößerungsnetz München - Ebersberg, Anlage und Vermessungsergebnisse 1958. Bayer. Akad. Wiss., Math.-Naturwiss. Kl., Abh. N.F., Heft 97, München 1959
- [6] Kneißl, M. u. Eichhorn, G.: Ergebnisse der Interferenzmessungen 1958 mit dem "Väisälä"-Komparator auf der Münchener Normalstrecke. Bayer. Akad. Wiss., Math.-Naturwiss. Kl., Abh. N.F., Heft 98, München 1959
- [7] Kneißl, M. u. Sigl, R.: Basis Ebersberger Forst, Invardrahtmessungen der I. Abteilung des Deutschen Geodätischen Forschungsinstituts 1958. Bayer. Akad. Wiss., Math.-Naturwiss. Kl., Abh. N.F., Heft 99, München 1959
- [8] Gigas, E.: Handbuch für die Verwendung von Invardrähten bei Grundlinienmessungen. Berlin 1934
- [9] Tarczy-Hornoch, A.: Über die Invardraht- und Bandmessung. ZfV, Stuttgart 1958
- [10] Honkasalo, T.: International Standard Base Lines. Veröff. des Finnischen Geodätischen Institutes, No. 65, The Finnish Geodetic Institute 1918 - 1968, Helsinki 1969



Anlage 1

BN

Diepoldsau

BP 7

BP 6

BP 5

BP 4

BP 3

BP 2

BP 1

Basis Heerbrugg 1 : 25 000

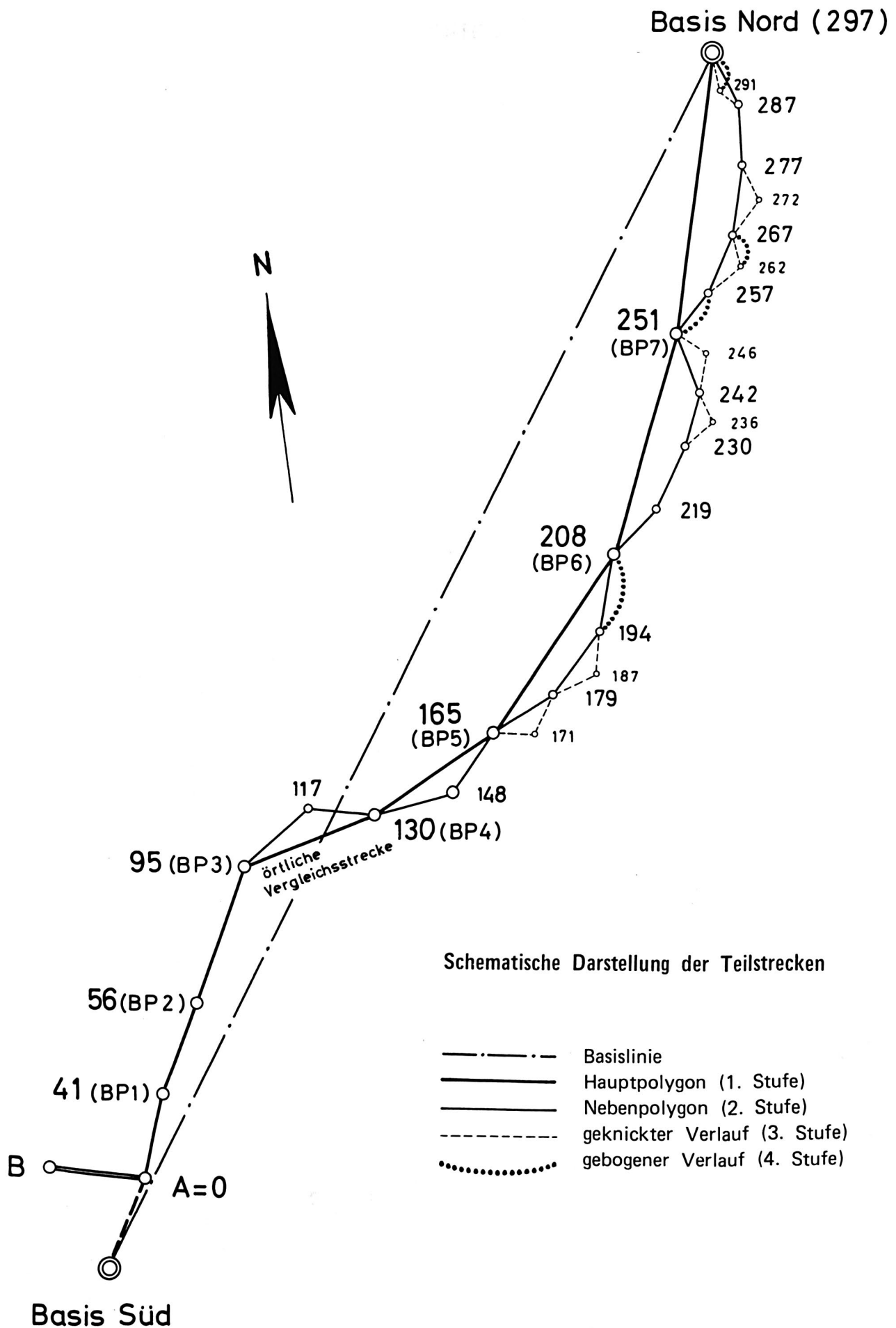
Reproduziert mit Bewilligung der Eidg. Landestopographie vom 19.6.1975

Götzis

Koblach

Eidg. Landestopographie Wabern-Bern 1973

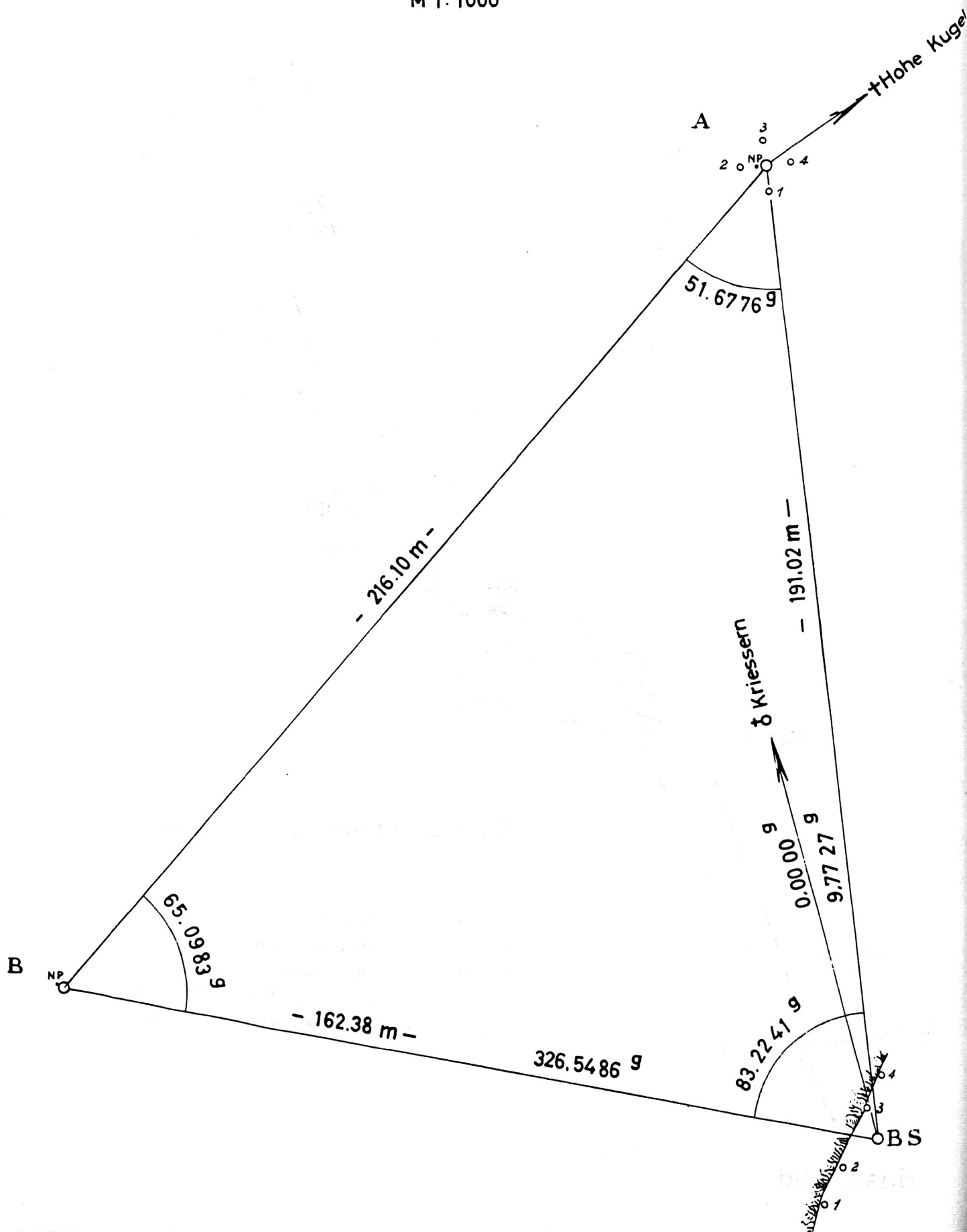
Basispolygon Heerbrugg 1959



Basis Ende Süd

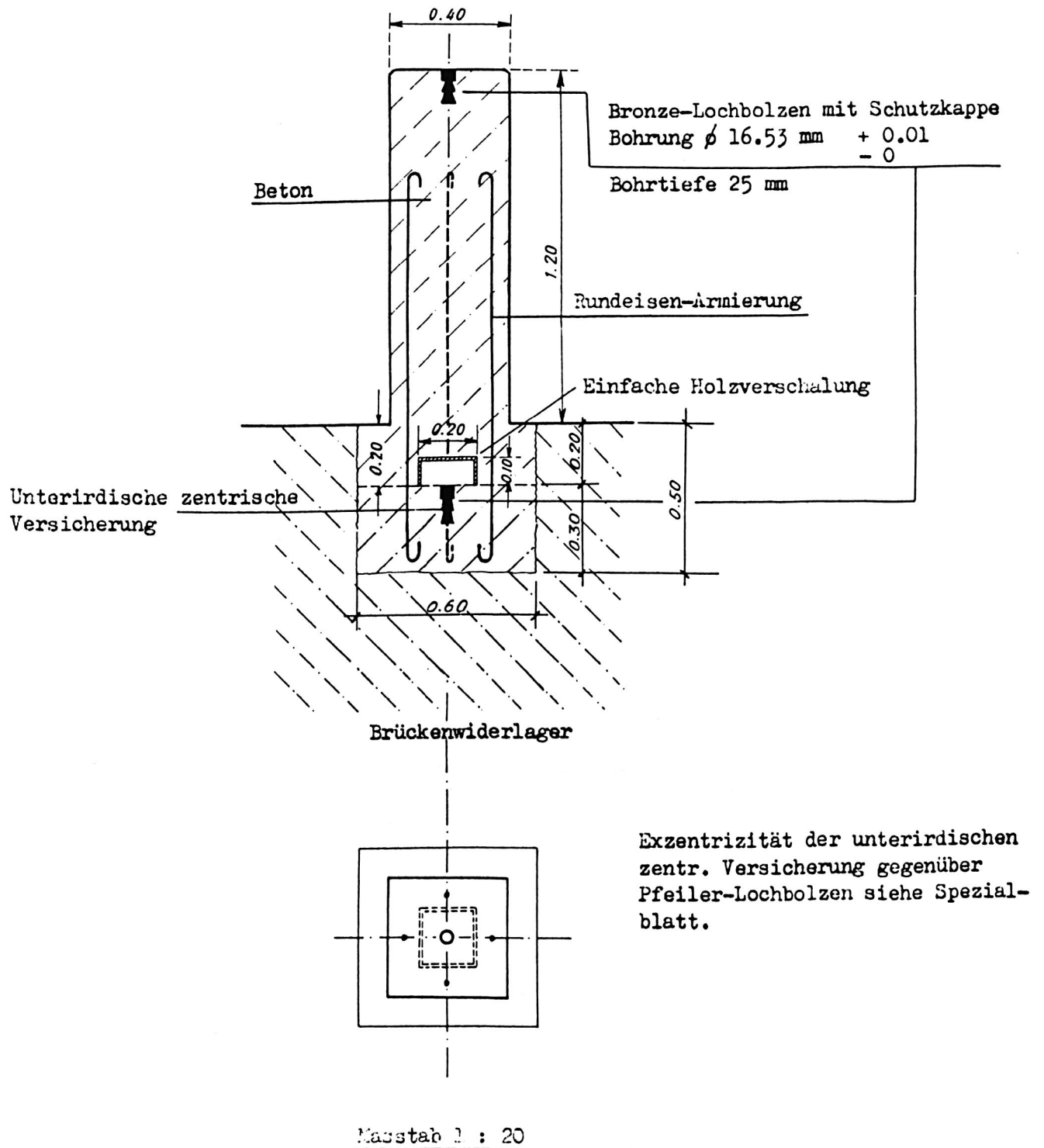
Situation

M 1:1000



Basisende Nord

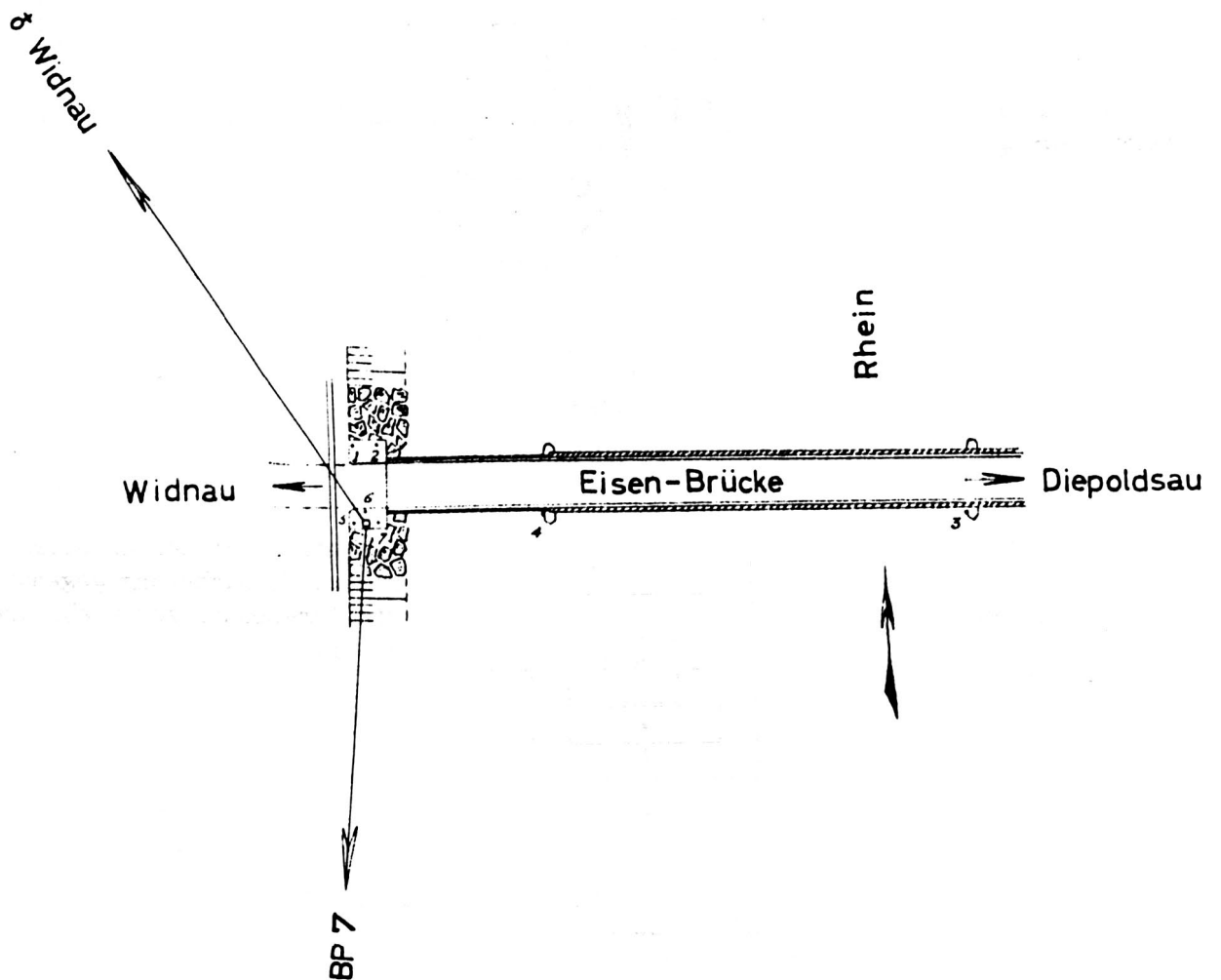
Beobachtungspfeiler von quadratischem Querschnitt
über linkem bergseitigen Widerlager der
Mittleren Diepoldsauer-Brücke



Basis Ende Nord

Situation

M 1:1000



Materialbahn

neupl. 8

0.000 9

Rhein - Brücke

Rhein - Darm

335.559 9

-1.608 m

-1.798 m

-1.782 m - 135.612 9

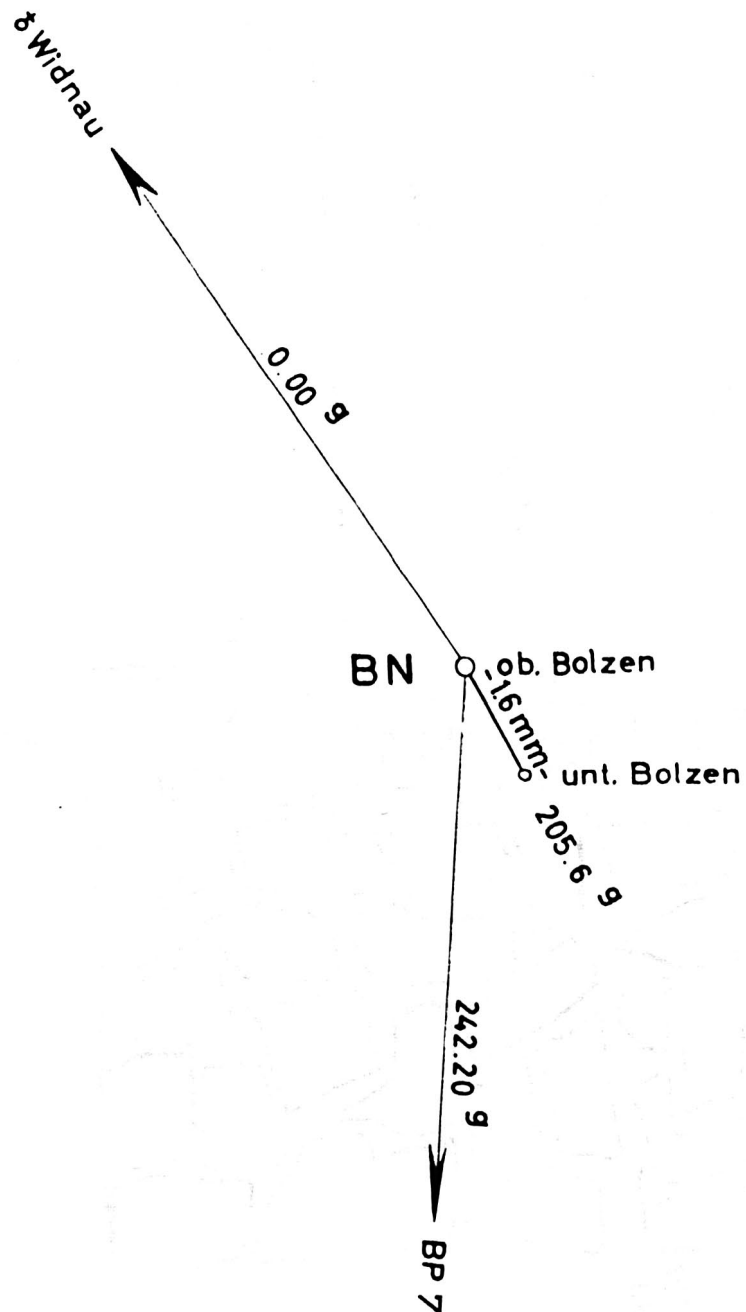
4 133.598 9 24.05 m
3 135.966 9 81.25 m

BP 7
242.201 9

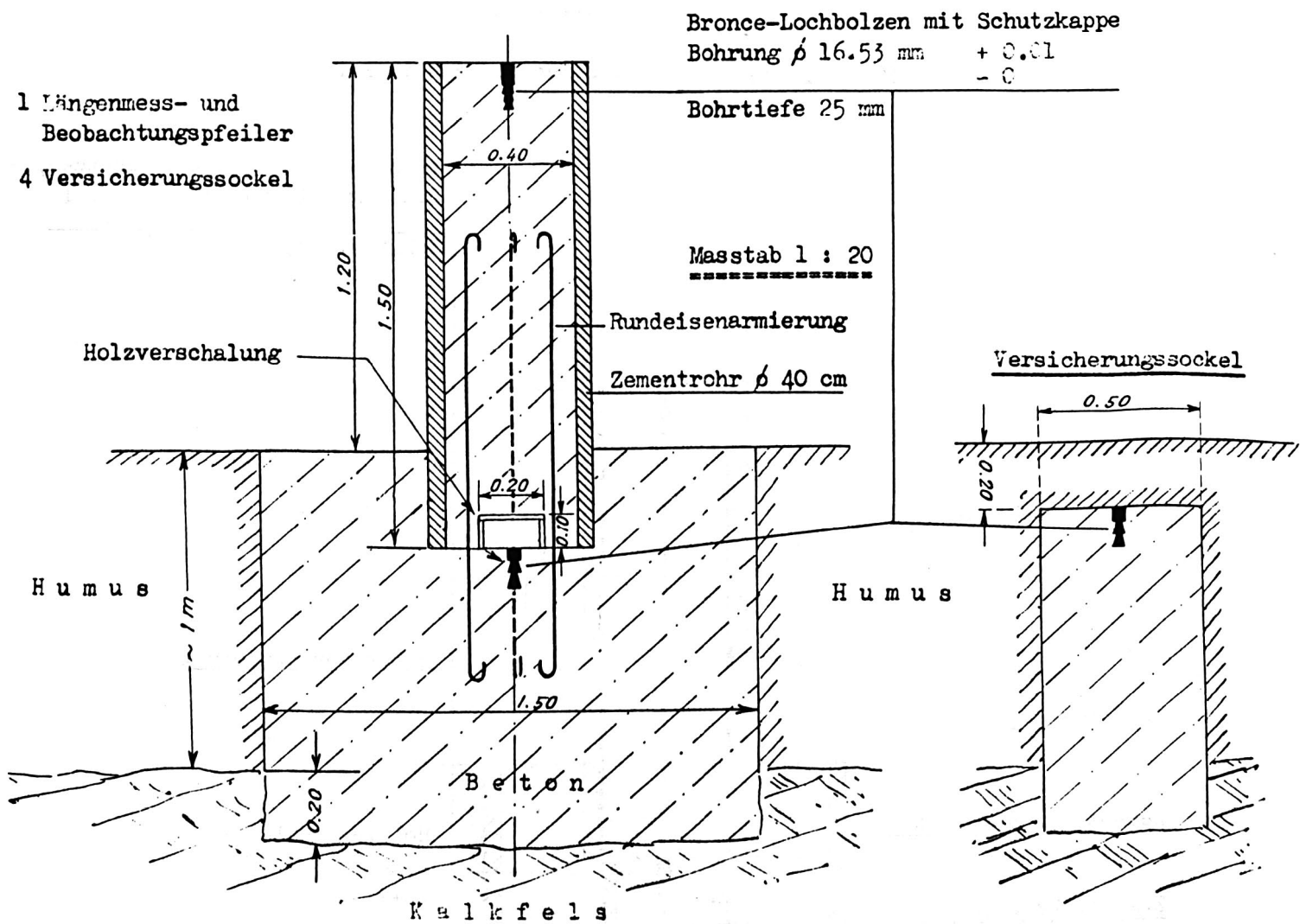
EXZENTRIZITÄT

Anlage 6

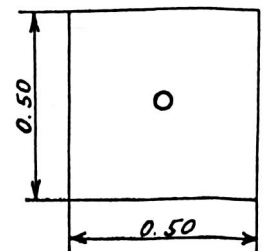
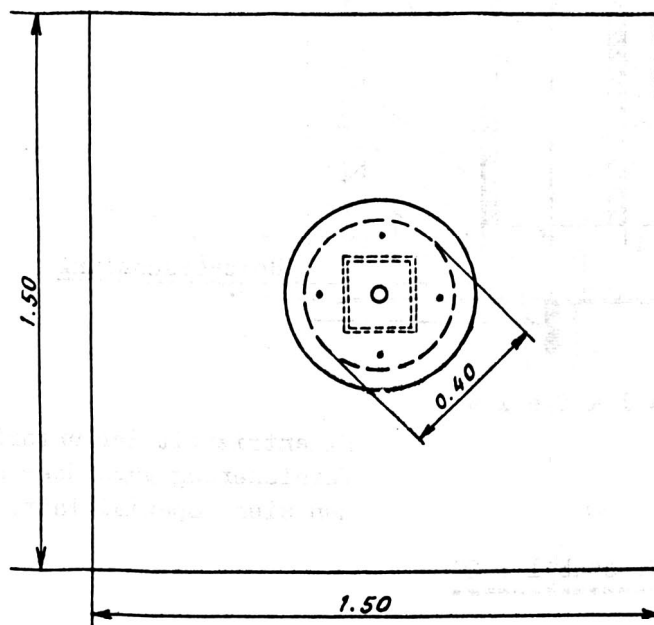
des unteren Bolzens gegen den oberen
des Punktes BN



Basispunkt A am Fuss des Montlingerberges



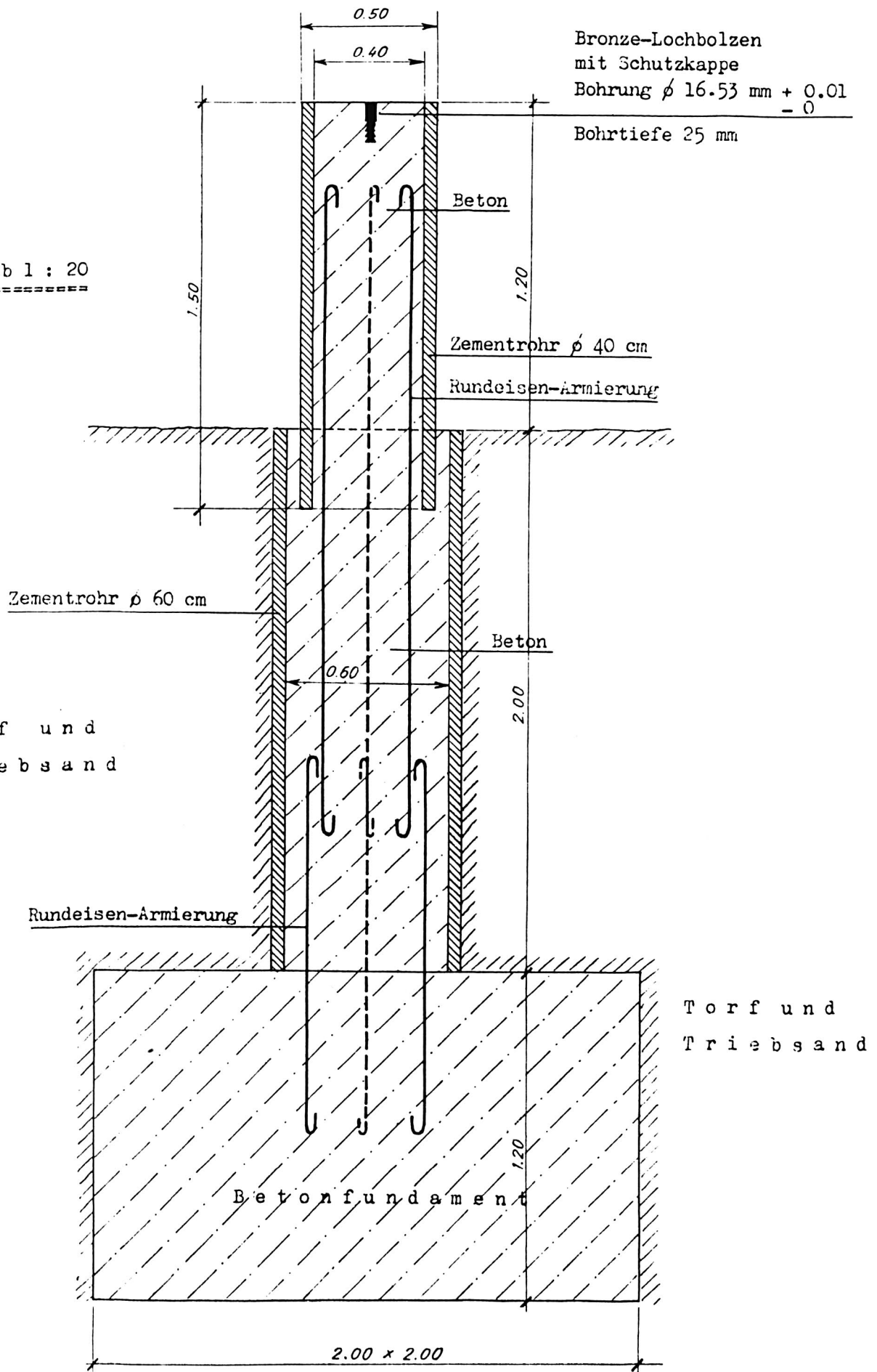
Exzentrizität der unterirdischen Versicherung gegenüber Pfeilerbolzen siehe Spezialblatt.



Pfeiler B der Hilfsbasis
am Fuss des Montlingerberges

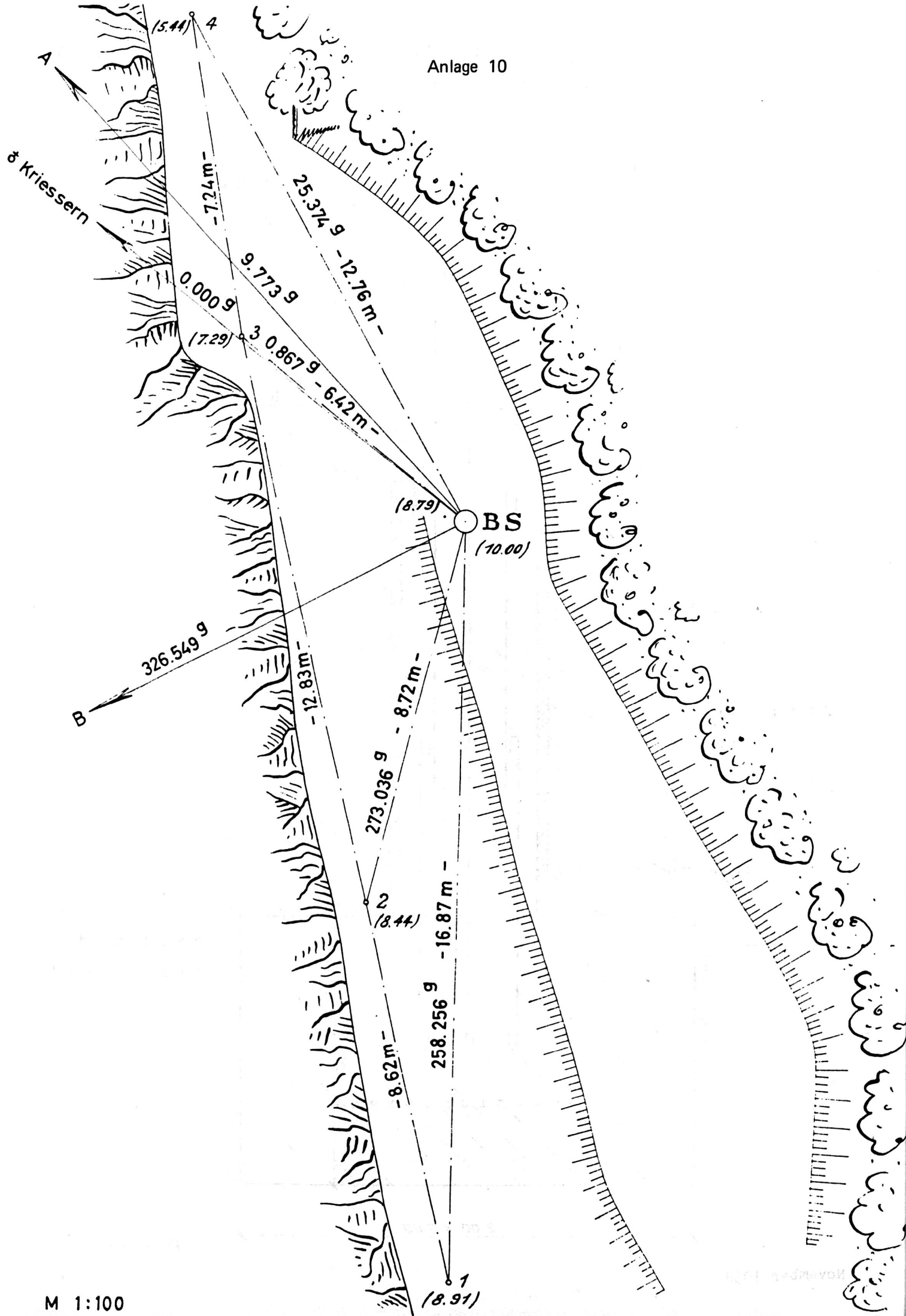
Anlage 9

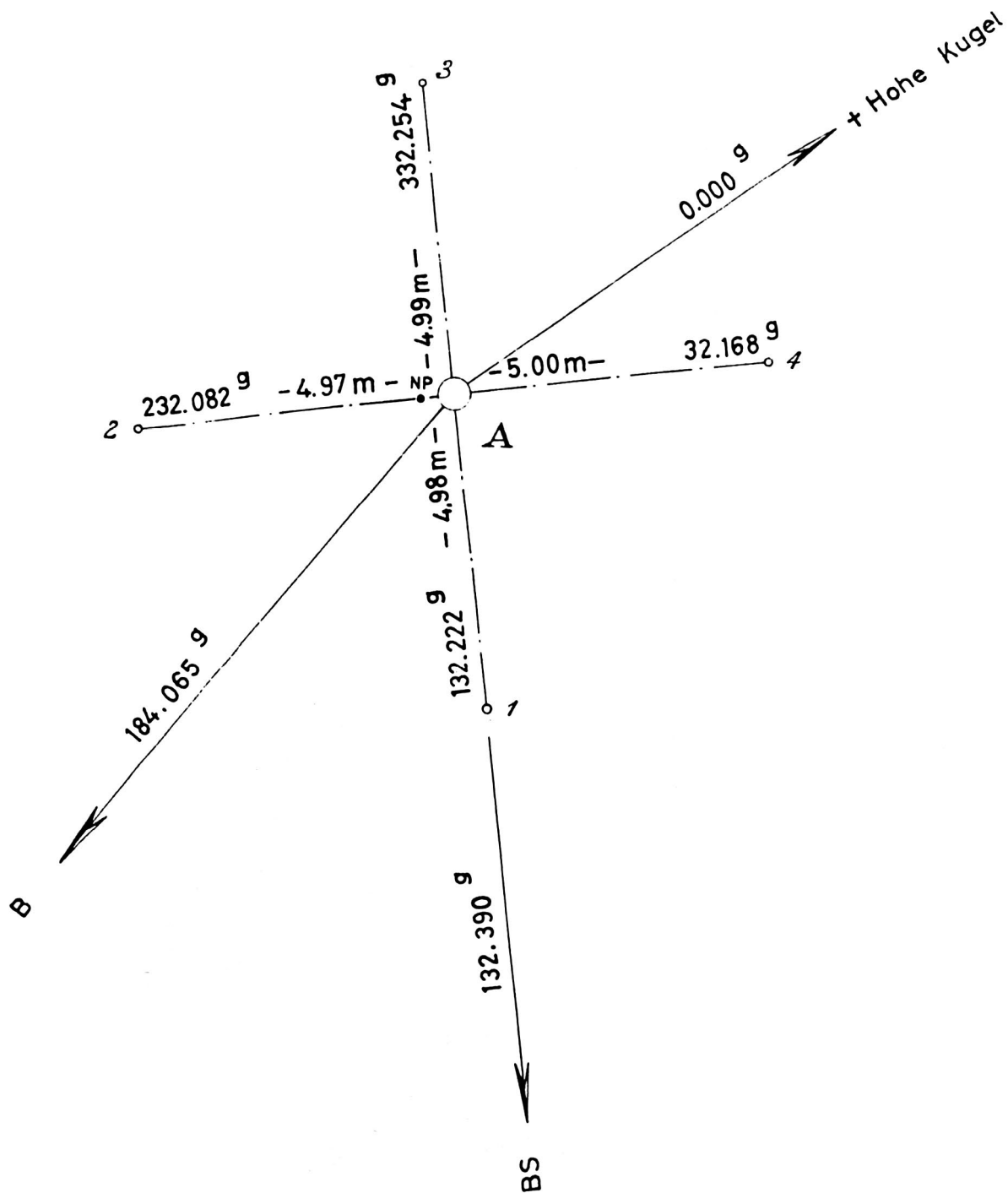
Masstab 1 : 20
 =====



November 1958

Anlage 10

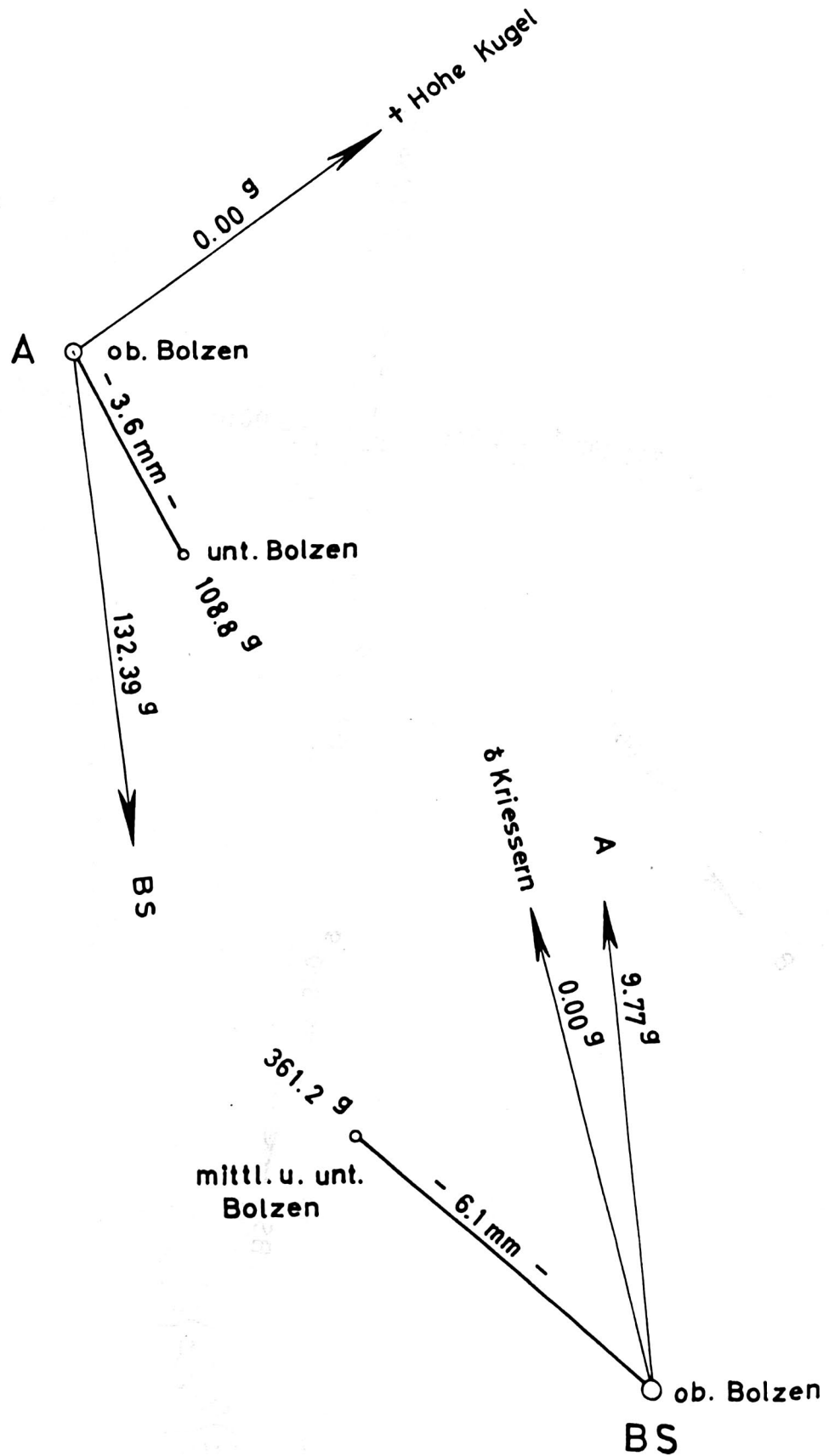




EXZENTRIZITÄTEN

Anlage 12

der mittleren bzw. unteren Bolzen
gegen die oberen der Punkte BS u. A



A. ALLGEMEINER ZEITPLAN

	April	Mal	Juni	Juli	August	September	Oktober	November	Dezember	Januar	Februar
Bauarbeiten											
Einsetzen d. Zapfen											
Drahtvergleich Frankfurt-Sindling.											
Drahtvergleich Braunschweig/Paris											
Basismessung nach besonderem Plan											

B. ZEITPLAN DER DRAHTMESSUNG

August												September											
20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30 31												1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22											
Drahttransport				Ffm. München				Mü. Kri.						Kri. Mü.					München Ffm.				
Drahtvergleich Frankfurt	V a,b VI c,d																						V a,b VI c,d
Drahtvergleich Norm. Kilometer					I-VI a,b c														I-VI a,b c,d				
Drahtmessung									a+b 3	Draht a 4 2 1	a+b+c 3												
Ablotung									3 2x2	4 2x5	2 2x3	1 2x3	3 2x2	3 2x2	4 2x5	2 2x3	1 2x3	3 2x2					
Nivellement																							
Alignement																							
Messung der Brechungswinkel					Tagesmessung					Hilfsdreieck	Nachtmessung			Hilfsdreieck				Tagesmessung					

- I, II, III, IV, V, VI - Meßtruppe
- 1 = Basisabschnitt 1 (PP 7 nach Basis Nord)

2 = Basisabschnitt 2 (PP 7 nach PP 2)

3 = Basisabschnitt 3 (PP 1 nach PP 2)

4 = Basisabschnitt 4 (PP 1 nach Basis Süd, B)
- a = Messung mit dem 1. Draht

b = Messung mit dem 2. Draht

c = Messung mit dem Reservedraht

d = Messung mit dem Normaldraht

2x5 = Anzahl der Ablotungen auf dem entsprechenden Abschnitt

**BUREAU INTERNATIONAL
DES
POIDS & MESURES**

14 août 1959

Pavillon de Breteuil, SÈVRES (S.-&-O.)

N° 32

CERTIFICAT

de quatre fils géodésiques en invar de 24 m
N°s A27, 301, 302, 303,

appartenant

à l'Institut de Géodésie Appliquée, à Francfort-sur-le-Main.
(Addition au Certificat N° 37 du 26 décembre 1958)

Ces instruments ont été rapportés au Bureau International le 3 juin 1959. Ils ont été comparés, sous la traction de 10 kilogrammes-force, à l'intervalle (0.24) de la base à repères du Bureau International.

On a effectué, dans l'état même de leur arrivée au Bureau, dix doubles séries de mesures des fils, à des températures comprises entre 18,7 et 21,3 °C.

Les comparaisons ont été ramenées à la température de 15°C, à l'aide des coefficients de dilatation suivants (coefficients moyens entre 0 et t°C):

Fil N° A27	$\alpha = (- 0,165 + 0,002\ 25\ t).10^{-6}$
" 301	$\alpha = (- 0,295 + 0,008\ 27\ t).10^{-6}$
" 302	$\alpha = (- 0,366 + 0,008\ 44\ t).10^{-6}$
" 303	$\alpha = (- 0,314 + 0,008\ 25\ t).10^{-6}$

portés au précédent certificat.

On a obtenu les résultats suivants:

/.....

Distance horizontale, à 15°C,
des traits homologues des fils
librement suspendus sous une traction de 10 kg-force

Fil N° A27	24 m	- 7,58 mm
" 301	24 m	+ 13,57 mm
" 302	24 m	+ 10,46 mm
" 303	24 m	+ 20,22 mm

Ces mesures ont été effectuées de juin à août 1959.

Le Directeur,



Physikalisch-Technische Bundesanstalt



Prüfungsschein

Gegenstand: 4 Meßdrähte aus Indilatans von 24 m Länge
 Herst.-Nr.: 526, 527, 528, 529
 Hersteller: Secretan, Paris
 Antragsteller: Deutsches Geodätisches Forschungsinstitut, München
 Gesch.-Nr.: PTB 24 296/58 I A/Y
 Amtliches Zeichen: —

Die Drähte wurden frei durchhängend zwischen 2 in gleicher Höhe liegenden Marken vermessen; das Spannungsgewicht betrug 10 009,3 g, die Fallbeschleunigung am Meßort 981,2682 Gal. In der folgenden Tabelle ist die Länge des betreffenden Intervalls bei 20 °C angegeben, dabei wurden die Skalen so betrachtet, daß sich ihre Nullmarken links befanden. Die Unsicherheit der Längenangaben beträgt etwa $\pm 20 \mu\text{m}$.

Der Ausdehnungskoeffizient gilt für Temperaturen zwischen 10 und 30 °C; die Unsicherheit beträgt etwa $\pm 0,05 \mu\text{m}/\text{grd m}$.

Draht Nr.	Intervall		Länge 24 m ... μm	Ausdehnungs- koeffizient $\mu\text{m}/\text{grd m}$
	linker Skalenstrich	rechter Skalenstrich		
526	0 mm	bis 0 mm	+ 715	+ 0,12
527	0 mm	bis 0 mm	- 176	+ 0,11
528	0 mm	bis 0 mm	+ 385	+ 0,11
529	0 mm	bis 1 mm	+ 512	+ 0,12

Wegen der bekannten Instabilität der hier verwendeten Eisen-Nickel-Legierungen (36 % Ni) gelten die Werte mit den angegebenen Unsicherheiten nur für den Zeitpunkt der Prüfung.

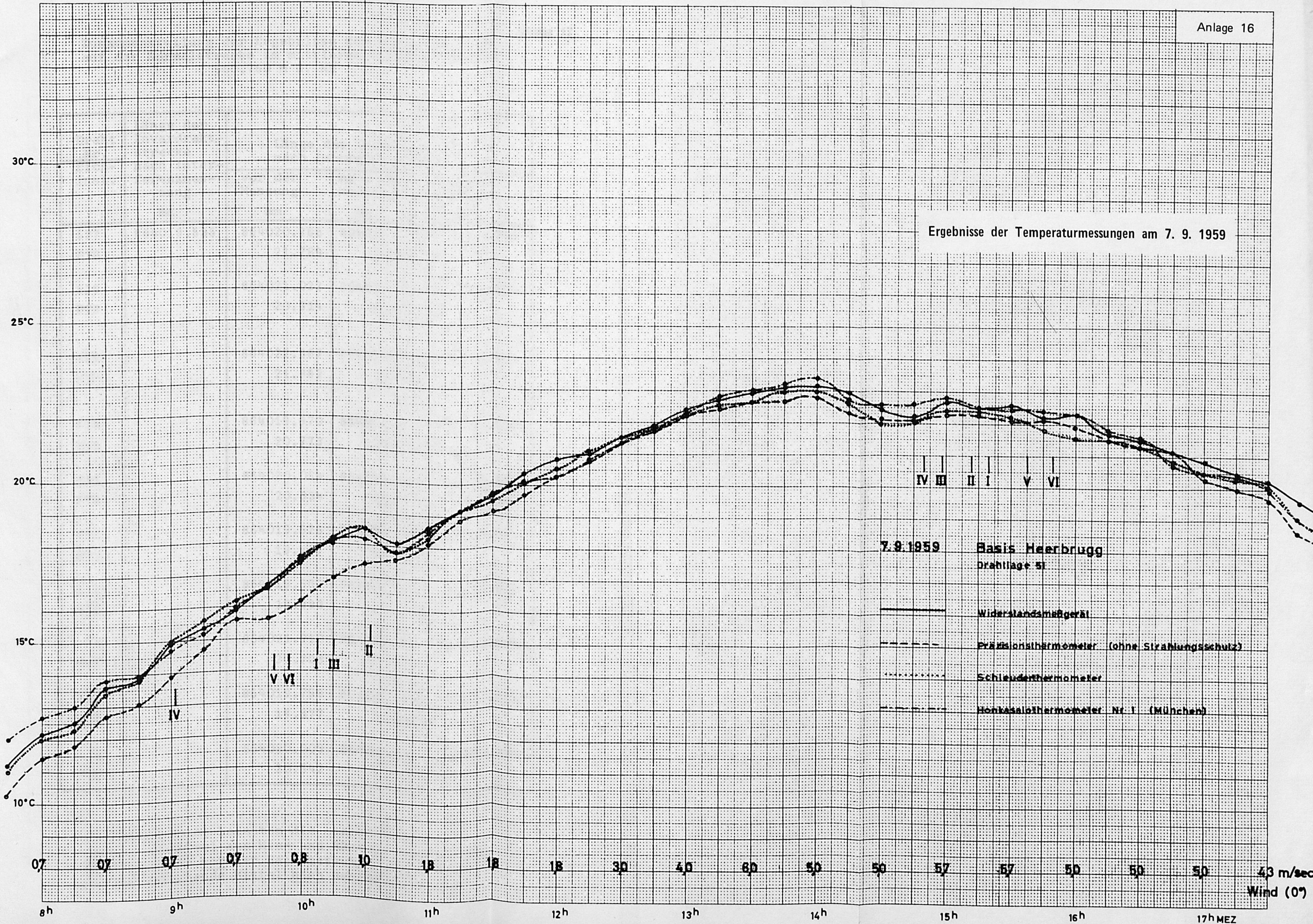
Physikalisch-Technische Bundesanstalt
 Abteilung I -

Braunschweig,
 15. Dezember 1958.

Im Auftrage
Hoffmeyer
 (Dr. Hoffmeyer, Oberregierungsrat)

Prüfungsscheine ohne Unterschrift und Dienststempel haben keine Gültigkeit.
 Die Prüfungsscheine dürfen für geschäftliche Zwecke nur in unverändertem Wortlaut und ohne Zusätze weiterverbreitet werden.
 Für Änderungen und Auszüge ist vorher die Genehmigung der PTB einzuholen.

Ergebnisse der Temperaturmessungen am 7. 9. 1959



Zusammenstellung der Ergebnisse der Drahtmessungen
auf der Normalstrecke im mittleren Messungshorizont
550.760 m ü. NN

Draht Nr. Eich- inst.	Länge der Invardraht- strecke nach Inter- ferenzmes- sung mm	Länge der Invardrahtstrecke nach Laboreichungen		
		vor der Messung mm	nach der Messung mm	Gesamt- mittel mm
527 PTB	864019.535	864020.266 21.789	864019.719 21.241	864020.754
529 PTB		864021.022 20.514	864021.555 21.047	864021.034
526 PTB		864022.667 21.882	864021.076 20.291	864021.479
528 PTB		864019.870 20.773	864019.359 20.262	864020.066
511 PTB		864020.054 20.334	864019.543 19.823	864019.938
510 PTB		864019.626 19.427	864018.719 18.520	864019.073
A 27 BIPM		864019.680 19.993	864020.040 20.353	864020.016
37 PTB		864021.210 20.703	864021.282 20.775	864020.992
301 BIPM		864019.799 18.877	864021.239 20.317	864020.058
38 PTB		864020.609 20.542	864020.177 20.110	864020.360

Für jeden Draht bedeuten die oberen Zahlen das jeweilige Mittel aus Hin- und Rückmessung auf der Normalstrecke vor der Basismessung, die unteren das entsprechende Mittel nach der Basismessung.

Draht Nr.	Tstr.	A-41	41-56	56-95	95-117 31.8.59	95-117 4.7.5.9.59	95-117 10.9.59	117-130 31.8.59	117-130 4.7.5.9.59	117-130 10.9.59	130-148	148-165	165-171	171-179	179-187	187-194	194-208	208-219	219-230	230-236	236-242	242-246	246-251	251-257	257-262	262-267	267-272	272-277	277-287	287-291	291-BN	Summe A-BN
Eich- Inst.	Gew.	984 m +.....mm	360 m +.....mm	936 m +.....mm	528 m +.....mm	528 m +.....mm	528 m +.....mm	312 m +.....mm	312 m +.....mm	312 m +.....mm	432 m +.....mm	408 m +.....mm	144 m +.....mm	192 m +.....mm	192 m +.....mm	168 m +.....mm	336 m +.....mm	264 m +.....mm	264 m +.....mm	144 m +.....mm	144 m +.....mm	96 m +.....mm	120 m +.....mm	144 m +.....mm	120 m +.....mm	120 m +.....mm	120 m +.....mm	120 m +.....mm	240 m +.....mm	96 m +.....mm	144 m +.....mm	7128 m +.....mm
527	1	214.602 213.979 214.291	171.647 171.419 171.533	41.231 40.538 40.934	244.730 244.396 244.553	245.403 245.069 245.235	245.020 244.686 244.853	103.705 103.507 103.606	104.116 103.918 104.017	104.059 103.861 103.960	174.937 174.665 174.800	192.402 192.144 192.273	100.285 100.194 100.240	150.992 150.870 150.931	128.490 128.368 128.429	87.856 87.750 87.803	110.002 109.789 109.895	148.105 147.938 148.022	138.439 138.272 138.356	15.827 15.736 15.782	79.231 79.140 79.186	63.001 62.940 62.970	48.011 47.935 47.973	11.727 11.636 11.682	82.781 82.705 82.743	107.629 107.553 107.591	48.637 48.561 48.599	15.624 15.548 15.586	75.763 75.915 75.839	132.780 132.841 132.811	340.885 340.976 340.930	1931.039 1926.537 1928.784
529	1	213.958 214.565 214.262	171.274 171.496 171.385	40.066 40.643 40.354	244.757 245.082 244.919	243.989 244.314 244.151	244.710 245.035 244.872	103.763 103.955 103.859	103.643 103.835 103.739	103.433 103.625 103.529	175.450 175.716 175.583	191.697 191.949 191.823	100.109 100.198 100.154	150.651 150.769 150.710	128.313 128.431 128.372	87.835 87.939 87.887	110.123 110.330 110.226	147.409 147.572 147.491	138.121 138.284 138.203	15.602 15.691 15.647	79.035 79.124 79.080	62.616 62.675 62.645	48.164 48.238 48.201	11.550 11.619 11.595	82.502 82.576 82.539	107.097 107.171 107.131	48.437 48.511 48.474	15.944 16.018 15.981	75.504 75.356 75.430	132.606 132.547 132.577	340.999 340.910 340.954	1924.942 1929.337 1927.138
526	1	216.656 214.644 215.750	172.693 172.030 172.362	42.610 40.886 41.748	246.022 245.050 245.536	245.820 244.848 245.334	245.548 244.576 245.062	104.796 104.221 104.508	104.323 103.748 104.035	104.185 103.610 103.897	176.139 175.343 175.741	192.944 192.193 192.569	100.821 100.556 100.689	151.141 150.787 150.964	128.500 128.146 128.323	88.669 88.360 88.515	110.930 110.311 110.670	148.520 148.034 148.277	138.861 138.375 138.618	16.359 16.094 16.227	78.421 78.156 78.289	62.933 62.756 62.844	48.017 47.796 47.908	12.026 11.761 11.894	82.816 82.595 82.706	107.427 107.206 107.317	48.918 48.697 48.808	16.273 16.052 16.163	75.421 75.863 75.642	132.531 132.708 132.620	340.513 340.778 340.645	1943.441 1930.314 1936.883
528	1	214.188 213.606 213.897	172.085 171.872 171.979	40.345 39.791 40.068	244.347 244.035 244.191	244.519 244.207 244.363	243.774 243.462 243.618	103.312 103.127 103.219	104.004 103.819 103.911	103.427 103.242 103.334	175.530 175.274 175.402	192.044 191.803 191.924	100.742 100.657 100.700	150.750 150.636 150.693	128.155 128.041 128.098	88.145 88.046 88.096	109.978 109.779 109.878	147.884 147.728 147.806	138.032 137.876 137.954	15.952 15.857 15.910	77.793 77.708 77.751	62.661 62.604 62.632	47.738 47.667 47.703	11.737 11.652 11.695	82.517 82.446 82.482	107.158 107.087 107.123	48.540 48.469 48.505	15.740 15.669 15.705	76.035 76.177 76.106	132.961 133.018 132.990	340.736 340.821 340.778	1925.776 1921.559 1923.672
511	1	214.623 214.041 214.332	171.822 171.609 171.716	40.981 40.427 40.704	245.093 244.781 244.937	245.181 244.869 245.025	245.383 245.071 245.227	103.824 103.639 103.732	104.010 103.825 103.918	104.508 104.323 104.416	175.420 175.164 175.292	192.545 192.304 192.425	100.403 100.318 100.361	151.029 150.915 150.972	128.301 128.187 128.244	88.463 88.364 88.414	110.490 110.291 110.391	148.003 147.847 147.925	138.464 138.308 138.386	15.690 15.605 15.648	78.925 78.840 78.882	62.666 62.609 62.638	47.934 47.863 47.898	11.810 11.725 11.768	82.708 82.637 82.673	107.434 107.363 107.399	48.618 48.547 48.582	15.973 15.902 15.938	75.691 75.833 75.762	132.583 132.640 132.612	340.806 340.891 340.846	1932.555 1928.338 1930.451
510	1	215.499 214.466 214.982	171.336 170.958 171.147	39.860 38.877 39.368	243.912 243.358 243.635	244.436 243.882 244.159	244.793 244.239 244.516	103.068 102.740 102.904	103.587 103.259 103.423	104.089 103.761 103.925	176.059 175.605 175.832	192.582 192.154 192.368	100.787 100.636 100.712	150.979 150.777 150.878	128.357 128.155 128.256	88.677 88.501 88.589	110.767 110.414 110.590	148.186 147.909 148.048	138.568 138.291 138.430	16.158 16.007 16.083	78.451 78.300 78.376	62.934 62.833 62.884	47.868 47.742 47.805	11.694 11.543 11.618	82.706 82.580 82.643	107.449 107.323 107.386	48.862 48.736 48.799	16.118 15.992 16.055	75.664 75.916 75.790	132.842 132.943 132.892	340.838 340.989 340.914	1932.514 1925.030 1928.773
A 27	1	214.376 214.786 214.581	171.917 172.067 171.992	40.802 41.192 40.997	244.891 245.111 245.001	244.881 245.101 244.991	244.637 244.857 244.747	103.647 103.777 103.712	103.627 103.757 103.692	103.732 103.862 103.797	174.955 175.135 175.045	192.369 192.539 192.454	100.288 100.348 100.318	151.099 151.179 151.139	128.210 128.290 128.250	88.280 88.350 88.315	110.346 110.486 110.416	147.770 147.880 147.825	138.359 138.469 138.414	15.659 15.719 15.689	78.965 79.025 78.995	62.685 62.725 62.705	47.926 47.976 47.951	11.775 11.835 11.805	82.711 82.761 82.736	107.532 107.582 107.557	48.417 48.467 48.442	15.890 15.940 15.915	75.611 75.511 75.561	132.783 132.743 132.763	340.783 340.723 340.753	1929.626 1932.596 1931.111
37	1	215.450 215.532 215.491	172.397 172.427 172.412	41.574 41.652 41.613	245.257 245.301 245.279	244.922 244.966 244.944	245.108 245.152 245.130	104.322 104.348 104.335	104.055 104.081 104.068	104.280 104.306 104.293	175.671 175.707 175.689	192.656 192.690 192.673	100.635 100.647 100.641	151.349 151.365 151.357	128.575 128.591 128.583	88.251 88.265 88.258	110.417 110.445 110.431	148.145 148.167 148.156	138.194 138.216 138.205	15.715 15.728 15.722	79.007 79.019 79.013	62.790 62.798 62.794	47.974 47.984 47.979	11.852 11.864 11.858	82.739 82.749 82.744	107.620 107.630 107.625	48.755 48.765 48.760	15.917 15.927 15.922	75.790 75.770 75.780	132.633 132.625 132.629	340.781 340.769 340.775	1935.795 1936.389 1936.092
301	1	213.588 215.228 214.408	171.505 172.105 171.806	40.325 41.885 41.105	243.932 244.812 244.372	244.387 245.267 244.827	243.773 244.653 244.213	102.861 103.381 103.121	103.521 104.041 103.781	103.146 103.666 103.406	174.383 175.103 174.743	191.797 192.477 192.137	100.560 100.800 100.680	150.591 150.911 150.751	127.972 128.292 128.132	88.087 88.367 88.227	109.880 110.440 110.160	147.506 147.946 147.726	137.934 138.374 138.154	16.017 16.257 16.137	78.118 78.358 78.238	62.739 62.899 62.819	47.704 47.904 47.804	11.473 11.713 11.593	82.478 82.678 82.578	107.105 107.305 107.205	48.625 48.825 48.725	15.817 16.017 15.917	75.880 75.480 75.580	132.904 132.744 132.824	340.886 340.646 340.766	1921.742 1933.622 1927.682
38	1	215.705 215.214 215.460	172.475 172.295 172.385	41.951 41.483 41.717	244.987 244.723 244.855	245.772 245.508 245.640	245.543 245.279 245.411	103.509 103.353 103.431	103.984 103.828 103.906	104.289 104.133 104.211	175.643 175.427 175.535	192.753 192.549 192.651	100.727 100.655 100.691	151.055 150.959 151.007	128.422 128.326 128.374	88.493 88.409 88.451	110.456 110.288 110.372	148.055 147.923 147.989	138.793 138.661 138.727	16.328 16.256 16.292	78.514 78.442 78.478	62.938 62.890 62.914	48.037 47.977 48.007	11.994 11.922 11.958	82.762 82.666 82.696	107.693 107.633 107.663	48.853 48.793 48.823	16.150 16.090 16.120	75.474 75.594 75.534	132.750 132.798 132.774	340.564 340.636 340.600	1938.335 1934.771 1936.553
Mittel		214.8646 214.6261 214.7454	171.9152 171.8279 171.8717	40.9745 40.7474 40.8608	244.8509 244.7230 244.8670	244.8509 244.7230 244.8670	244.7649	103.8275 103.7516 103.8490	103.8275 103.7516 103.8490	103.8275 103.7516 103.8490	175.4187 175.3139 175.3662	192.3789 192.2802 192.3297	100.535 100.500 100.518	150.9636 150.9168 150.9402	128.3295 128.2827 128.3061	88.2756 88.2351 88.2555	110.3389 110.2573 110.2979	147.9583 147.8944 147.9265	138.3765 138.3126 138.3447	15.9308 15.8960 15.9137	78.5460 78.6112 78.5288	62.7963 62.7729 62.7845	47.9373 47.9082 47.9229	11.7638 11.7290 11.7466	82.6684 82.6393 82.6540	107.4144 107.3853 107.3997	48.6662 48.6371 48.6517	15.9446 15.9155 15.9302	75.6833 75.7415 75.7124	132.7373 132.7607 132.7492	340.7791 340.8139 340.7963	1931.5765 1929.8483 1930.7139

Draht Nr.	Tstr.	A-41	41-56	56-95	95-117 31.8.59	95-117 4.75.9.59	95-117 10.9.59	117-130 31.8.59	117-130 4.75.9.59	117-130 10.9.59	130-148	179-187	187-194	194-202	202-210	210-230	230-236	236-242	242-246	246-251	251-257	257-262	262-267	267-272	272-277	277-287	287-291	291-BN	Summe A-BN
	Gew.	984 m +.....mm	360 m +.....mm	936 m +.....mm	528 m +.....mm	528 m +.....mm	528 m +.....mm	312 m +.....mm	312 m +.....mm	312 m +.....mm	432 m +.....mm	192 m +.....mm	168 m +.....mm	336 m +.....mm	264 m +.....mm	264 m +.....mm	144 m +.....mm	144 m +.....mm	96 m +.....mm	120 m +.....mm	144 m +.....mm	120 m +.....mm	120 m +.....mm	120 m +.....mm	120 m +.....mm	240 m +.....mm	96 m +.....mm	144 m +.....mm	7128 m +.....mm
K 1	0.5	214.898 214.898	172.094 172.094	40.594 40.594	244.824 244.824	- 244.028	- 243.495	104.147 104.147	- 103.397	- 103.322	- 174.933	- 128.048	- 88.140	- 109.811	- 147.308	- 137.926	- 15.260	- 78.666	- 62.539	- 47.664	- 11.605	- 82.366	- 107.370	- 48.454	- 15.781	- 76.091	- 132.914	- 341.112	- 1923.395
K 2	0.5	212.601 212.601	171.067 171.067	38.867 38.867	- 244.192	- 244.192	- 244.192	- 103.317	- 103.317	- 103.317	- 174.527	- 127.709	- 87.919	- 109.608	- 147.599	- 138.062	- 15.992	- 78.107	- 62.727	- 47.748	- 11.522	- 82.361	- 107.249	- 48.464	- 15.935	- 76.127	- 132.891	- 340.831	- 1917.679
527	1	213.770 212.036 212.905	171.342 170.708 171.026	40.439 38.789 39.616	244.284 243.353 243.820	244.957 244.026 244.493	244.574 243.643 244.110	103.445 102.891 103.166	103.852 103.302 103.577	103.795 103.245 103.520	174.571 173.810 174.191	128.327 127.989 128.158	87.714 87.418 87.567	109.718 109.125 109.422	147.882 147.417 147.650	138.216 137.751 137.984	15.705 15.452 15.579	79.109 78.856 78.983	62.920 62.750 62.835	47.909 47.698 47.804	11.605 11.352 11.479	82.679 82.468 82.574	107.527 107.316 107.422	48.535 48.324 48.430	15.522 15.311 15.417	75.966 76.389 76.177	132.861 133.031 132.946	341.007 341.260 341.133	1925.006 1912.449 1918.744
529	1	212.265 212.843 212.552	170.654 170.865 170.759	38.455 39.005 38.728	243.848 244.158 244.002	243.080 243.390 243.234	243.801 244.111 243.955	103.226 103.409 103.317	103.106 103.280 103.197	102.896 103.079 102.987	174.706 174.960 174.832	127.982 128.095 128.033	87.546 87.645 87.595	109.545 109.742 109.643	146.955 147.110 147.032	137.664 137.822 137.744	15.354 15.439 15.396	78.787 78.872 78.829	62.451 62.507 62.479	47.957 48.028 47.992	11.302 11.387 11.344	82.295 82.366 82.330	106.896 106.961 106.925	48.230 48.301 48.265	15.737 15.803 15.772	75.917 75.776 75.847	132.771 132.715 132.743	341.247 341.162 341.205	1912.668 1916.858 1914.750
526	1	213.089 213.986 213.536	171.388 171.715 171.552	39.217 40.067 39.642	244.108 244.588 244.348	243.906 244.386 244.146	243.634 244.114 243.874	103.665 103.948 103.806	103.192 103.475 103.333	103.054 103.337 103.195	174.573 174.965 174.769	127.804 127.978 127.891	88.060 88.213 88.137	109.712 110.017 109.864	147.563 147.803 147.683	137.904 138.144 138.024	15.837 15.968 15.903	77.899 78.030 77.965	62.585 62.672 62.628	47.532 47.691 47.637	11.504 11.635 11.570	82.381 82.490 82.436	106.992 107.101 107.047	48.483 48.592 48.538	15.838 15.947 15.893	76.291 76.073 76.182	132.879 132.792 132.836	341.035 340.904 340.969	1917.602 1924.080 1920.844
528	1	213.807 212.778 213.295	171.946 171.569 171.758	39.982 39.003 39.495	244.143 243.591 243.869	244.315 243.763 244.040	243.570 243.018 243.295	103.191 102.864 103.028	103.883 103.556 103.720	103.306 102.979 103.143	175.362 174.910 175.137	128.030 127.879 127.980	88.080 87.905 87.993	109.848 109.496 109.673	147.782 147.506 147.644	137.930 137.654 137.792	15.896 15.746 15.821	77.737 77.587 77.662	62.624 62.523 62.574	47.692 47.566 47.628	11.681 11.531 11.606	82.471 82.345 82.408	107.112 106.986 107.049	48.494 48.368 48.431	15.694 15.568 15.631	76.128 76.379 76.253	132.998 133.099 133.048	340.792 340.942 340.367	1923.016 1915.560 1919.300
511	1	214.082 213.762 213.922	171.624 171.507 171.566	40.466 40.162 40.314	244.803 244.631 244.717	244.891 244.719 244.805	245.093 244.921 245.007	103.652 103.551 103.602	103.838 103.737 103.788	104.336 104.235 104.286	175.182 175.042 175.112	128.195 128.133 128.164	88.371 88.316 88.344	110.305 110.196 110.250	147.858 147.772 147.815	138.319 138.233 138.276	15.611 15.564 15.588	78.846 78.799 78.822	62.613 62.582 62.598	47.868 47.829 47.848	11.731 11.684 11.708	82.642 82.603 82.622	107.368 107.329 107.348	48.552 48.513 48.532	15.907 15.868 15.888	75.823 75.901 75.862	132.636 132.667 132.652	340.885 340.932 340.908	1928.635 1926.318 1927.476
510	1	215.446 215.671 215.558	171.316 171.399 171.358	39.809 40.024 39.916	243.884 244.005 243.944	244.408 244.529 244.468	244.765 244.886 244.826	103.051 103.122 103.086	103.570 103.641 103.606	104.072 104.143 104.108	176.035 176.134 176.084	128.346 128.390 128.368	88.668 88.707 88.688	110.749 110.826 110.788	148.172 148.232 148.202	138.554 138.614 138.584	16.150 16.183 16.166	78.443 78.476 78.460	62.929 62.951 62.940	47.862 47.889 47.876	11.686 11.719 11.702	82.700 82.727 82.714	107.443 107.470 107.456	48.856 48.883 48.870	16.112 16.139 16.126	75.677 75.622 75.650	132.847 132.825 132.836	340.846 340.813 340.830	1932.129 1933.750 1932.946
A 27	1	214.212 213.843 214.028	171.857 171.722 171.790	40.646 40.295 40.470	244.803 244.605 244.704	244.793 244.595 244.694	244.549 244.351 244.450	103.595 103.478 103.536	103.575 103.458 103.516	103.680 103.563 103.622	174.883 174.721 174.802	128.178 128.106 128.142	88.252 88.189 88.220	110.290 110.164 110.227	147.726 147.627 147.676	138.315 138.216 138.265	15.635 15.581 15.608	78.941 78.887 78.914	62.869 62.633 62.651	47.906 47.861 47.884	11.751 11.697 11.724	82.691 82.646 82.668	107.512 107.467 107.490	48.397 48.352 48.374	15.870 15.825 15.848	75.651 75.741 75.696	132.799 132.835 132.817	340.807 340.861 340.834	1928.438 1925.765 1927.101
37	1	213.523 214.138 213.830	171.692 171.917 171.804	39.741 40.326 40.034	244.223 244.553 244.388	243.888 244.218 244.053	244.074 244.404 244.239	103.711 103.906 103.808	103.444 103.639 103.542	103.669 103.864 103.765	174.825 175.095 174.960	128.199 128.319 128.259	87.922 88.027 87.974	109.759 109.969 109.864	147.628 147.793 147.710	137.677 137.842 137.760	15.434 15.524 15.479	78.725 78.815 78.770	62.602 62.665 62.632	47.739 47.814 47.776	11.570 11.660 11.615	82.504 82.579 82.542	107.385 107.460 107.422	48.520 48.595 48.558	15.682 15.757 15.720	76.260 76.110 76.185	132.821 132.761 132.791	341.063 340.973 341.018	1921.836 1926.291 1924.062
301	1	213.301 214.326 213.814	171.401 171.776 171.588	40.052 41.027 40.540	243.778 244.328 244.053	244.233 244.783 244.508	243.619 244.169 243.894	102.770 103.095 102.932	103.430 103.755 103.592	103.055 103.380 103.218	174.257 174.707 174.482	127.916 128.116 128.016	88.038 88.213 88.126	109.782 110.132 109.957	147.429 147.704 147.566	137.857 138.132 137.994	15.975 16.125 16.050	78.076 78.226 78.151	62.711 62.811 62.761	47.669 47.794 47.732	11.431 11.581 11.506	82.443 82.568 82.506	107.070 107.195 107.132	48.590 48.715 48.652	15.782 15.907 15.844	75.950 75.700 75.825	132.932 132.832 132.882	340.928 340.778 340.853	1919.663 1927.088 1923.374
38	1	214.476 214.558 214.517	172.025 172.055 172.040	40.781 40.859 40.820	244.327 244.371 244.349	245.112 245.156 245.134	244.883 244.927 244.905	103.119 103.145 103.132	103.594 103.620 103.607	103.899 103.925 103.912	175.103 175.139 175.121	128.182 128.198 128.190	88.283 88.297 88.290	110.036 110.064 110.050	147.725 147.747 147.736	138.463 138.485 138.474	16.148 16.160 16.154	78.334 78.346 78.340	62.818 62.826 62.822	47.887 47.897 47.892	11.814 11.826 11.820	82.576 82.586 82.581	107.543 107.553 107.548	48.703 48.713 48.708	16.000 16.010 16.005	75.774 75.754 75.764	132.870 132.862 132.866	340.744 340.732 340.738	1929.425 1930.019 1929.722
Mittel		213.8495 213.7373 213.7915	171.5516 171.5017 171.5292	39.9890 39.9039 39.9369	244.2872 244.2587 244.2481	244.2872 244.2587 244.2481	244.2180	103.3797	103.4997 103.4809 103.5406	103.5524	174.9490 174.9281 174.9294	128.1209 128.0983 128.0986	88.0934 88.0872 88.0876	109.9744 109.9491 109.9498	147.6720 147.6513 147.6516	138.0899 138.0806 138.0811	15.7745 15.7607 15.7609	78.4897 78.4800 78.4802	62.6922 62.6846 62.6866	47.4071 47.3930 47.3977	11.6075 11.6032 11.6034	82.5382 82.5220 82.5222	107.2842 107.2857 107.2862	48.5360 48.5286 48.5288	15.8144 15.8180 15.8184	75.9437 75.9595 75.9591	132.8414 132.8474 132.8472	340.9354 340.9390 340.9388	1923.9713 1923.3930 1923.5399

Zusammenstellung der Ergebnisse der Drahtmessungen
für die Hilfsbasis in mittlerer Messungshöhe

Draht Nr.	Eich- inst.	Gew.	Amtliche Drahtkonstanten 216 m +.....mm	Drahtkonstanten aus dem Normalstrecken- vergleich 216 m +.....mm
K 1	BIPM	0,5	- - - - -	97.784 - <u>97.784</u>
K 2	BIPM	0,5	- - - - -	- <u>96.926</u> 96.926
527	PTB	1	97.471 97.335 <u>97.403</u>	97.289 96.908 <u>97.099</u>
529	PTB	1	97.400 97.534 <u>97.467</u>	97.029 97.156 <u>97.092</u>
526	PTB	1	97.793 97.395 <u>97.594</u>	97.010 97.206 <u>97.108</u>
528	PTB	1	97.255 97.127 <u>97.191</u>	97.172 96.946 <u>97.059</u>
511	PTB	1	97.449 97.321 <u>97.385</u>	97.330 97.260 <u>97.295</u>
510	PTB	1	98.038 97.811 <u>97.924</u>	98.026 98.076 <u>98.051</u>
A 27	BIPM	1	97.601 97.691 <u>97.646</u>	97.564 97.484 <u>97.524</u>
37	PTB	1	97.894 97.912 <u>97.903</u>	97.470 97.606 <u>97.538</u>
301	BIPM	1	97.222 97.582 <u>97.402</u>	97.160 97.384 <u>97.272</u>
38	PTB	1	97.625 97.517 <u>97.571</u>	97.355 97.373 <u>97.364</u>
Mittel			97.5748 97.5225 <u>97.5486</u>	97.3616 97.3202 <u>97.3415</u>