

BAYERISCHE AKADEMIE DER WISSENSCHAFTEN  
MATHEMATISCH-NATURWISSENSCHAFTLICHE KLASSE

---

# SITZUNGSBERICHTE

JAHRGANG

1964

MÜNCHEN 1965

VERLAG DER BAYERISCHEN AKADEMIE DER WISSENSCHAFTEN

In Kommission bei der C. H. Beck'schen Verlagsbuchhandlung München

# Geodätische Arbeiten zur Untersuchung der Gründungsstabilität bei Anlage eines 300 Ge-V-Protonen-Synchrotrons

Von Max Kneißl, München

Vorgetragen am 5. Juni 1964

## Übersicht

1.	Vorbemerkungen . . . . .	108
2.	Versuchsfeld Ebersberger Forst . . . . .	110
2.1	Untersuchung von Horizontalbewegungen des Bodens . . . . .	110
2.1.1	Aufgabenstellung . . . . .	110
2.1.2	Geologische Gutachten . . . . .	110
2.1.3	Anlage und Ausbau der Normalstrecke . . . . .	112
2.1.4	Bericht über die Interferenzmessungen . . . . .	114
2.1.5	Diskussion der Interferenzmessungen . . . . .	117
2.1.6	Pfeilerbewegungen . . . . .	119
2.1.7	Bewegungen der Jäдерinpfähle . . . . .	122
2.1.8	Schlußfolgerungen . . . . .	122
2.2	Vertikalbewegungen . . . . .	122
2.2.1	Allgemeine Angaben . . . . .	122
2.2.2	Beschreibung der Nivellementsstrecke . . . . .	123
2.2.3	Streckeneinteilung . . . . .	123
2.2.4	Instrumente . . . . .	123
2.2.5	Beobachtung . . . . .	124
2.2.6	Beobachtungsergebnisse . . . . .	124
2.2.7	Diskussion der Ergebnisse . . . . .	125
2.2.7.1	Fehlerberechnung . . . . .	125
2.2.7.2	Nachweis von im Mittel zwischen Hin- und Rücknivellement nicht getilgten systematischen Fehlern (eventuelle Bodenbewegungen) .	125
2.2.7.3	Schleifenschlußfehler . . . . .	126
2.2.7.4	Schleifenausgleich . . . . .	126
2.2.8	Schlußfolgerungen . . . . .	127
3.	Untergrundverhältnisse, Grundwasserstände und Bodentempera- turen . . . . .	127
4.	Zulässige Belastung von Münchener Böden . . . . .	128
	Tabellen 1-15 . . . . .	129
	Anlagen 1-11 . . . . .	142

## 1. Vorbemerkungen

Die Anlage eines 300 Ge-V-Protonen-Synchrotrons erfordert ein Ringbauwerk mit einem Durchmesser von 2,4 km. Gebäude für Laboratorien, Büros, Werkstätten und Verwaltung können innerhalb des Ringes untergebracht werden. Außerhalb des Ringes werden ziemlich lange Experimentierstreifen benötigt, wobei man auch noch alle Möglichkeiten für spätere Erweiterungen beachten muß. Damit wird für die gesamte Anlage eine Mindestgröße von 15 km<sup>2</sup> mit einer Mindestbreite von 3 km gefordert, wobei man noch einen etwa 10 km langen Fluchtweg vorsehen sollte.

Zur Sicherung und Abschirmung sollte das Ringgebäude in einen tiefen Ringgraben gebaut und später durch Erde abgedeckt werden, während die Experimentierhallen oberirdisch angeordnet werden sollen. Für das Ringgebäude müßte man eine Tiefe von etwa 12 m unter der Erdoberfläche vorsehen. Wegen des Ringumfangs von 7,5 km wird ein leistungsfähiges Transportsystem für Personen und Material benötigt. Dies könnte innerhalb des Tunnels gebaut werden, aber die billigste Art ist offensichtlich der Bau einer Straße, die dem Tunnel rundherum folgt, aber im Freien, und die mehrere (10-16) Eingänge in den Tunnel mit geeigneten Ausstrahlungs- und Klimaverschlüssen besitzt. Diese Straße mit den Eingängen wird einfacher auf einer ebenen Anlage oder wenigstens auf einem ebenen Ring zu bauen sein.

Die Ringanlage selbst sollte horizontal angeordnet werden, wobei später bei voller Belastung und bei Betrieb der Anlage eine Stabilität und Genauigkeit in Lage und Höhe von  $\pm 0,1$  mm gewährleistet werden soll. Diese Anforderungen liegen bei einem Ringdurchmesser von 2,4 km an der Grenze der erreichbaren Genauigkeit geodätischer Vermessung und an der Grenze mikro-seismischer und thermischer Bewegungen der obersten Erdkruste und der Bewegungen, die durch wechselnden Grundwasserstand auftreten können. Bei dem Umfang und dem Gewicht der geplanten Anlagen werden zudem an die Tragfähigkeit des Bodens außergewöhnliche Anforderungen gestellt. Bei der Tiefe der Fundamentgründung und der hohen Belastung kann die verlangte Stabilität nur bei sehr tief liegendem Grundwasser

erreicht werden. Dem gegenüber wird aber ein sehr hoher Bedarf an Kühlwasser gefordert. Kühlwasser muß in einem Betrag von  $25 \text{ m}^3/\text{min.}$  anfangs verfügbar sein, viel mehr aber ( $50\text{--}100 \text{ m}^3/\text{min.}$ ), wenn die Vorratsringe hinzugefügt würden. Zudem werden eine niedrige und, falls möglich, konstante Temperatur, ein nicht zu hoher Härtegrad sowie geringer Korrosionseinfluß des Wassers gefordert.

Neben diesen Forderungen wird aber noch eine hohe elektrische Energie, Stadtgas, Hochschulnähe, Eisenbahn und Autobahnanschluß und die Unterbringung von rund 7000 bis 10000 Wissenschaftlern und Mitarbeitern gefordert.

Um geeignetes Gelände in Europa zu finden, wurden Untersuchungen in sorgfältig ausgewählten Musterböden vorgeschlagen. So wird nördlich von Marseille die Stabilität und Tragfähigkeit einer mehrere hundert Meter dicken Kalksteinplatte, in Italien die Tragfähigkeit von Dolomitenfels untersucht.

Dem Berichterstatter oblag es, durch Verhandlungen mit dem Bayerischen Staatsministerium für Wirtschaft und dem Bayerischen Geologischen Landesamt geeignetes Gelände in Bayern vorzuschlagen und über das Bundesministerium für Wissenschaftliche Forschung und das Bundesministerium für Wohnungswesen, Städtebau und Raumordnung darüber hinaus in der Bundesrepublik entsprechende Möglichkeiten zu überprüfen.

Auf Grund zahlreicher Untersuchungen und Vorschläge, die auch eine etwaige Unterbringung in Berlin und Untersuchungen im Jura einschlossen, kam man zu der Überzeugung, daß in der Bundesrepublik Deutschland nur horizontalliegende Kiesböden, wie sie etwa in der Umgebung von München und Augsburg zu finden sind, die notwendige Stabilität aufweisen könnten. Um dies zu bestätigen, wurde im Ebersberger Forst eine Reihe von geodätischen und bodenmechanischen Untersuchungen<sup>1</sup> durchgeführt. Über die geodätischen Untersuchungen wird nachfolgend berichtet.

---

<sup>1</sup> Die bodenmechanischen Untersuchungen wurden vom Institut für Grundbau und Bodenmechanik der Technischen Hochschule München (Prüfbericht Labor Nr. 2934/50 u. 2934/51) durchgeführt.

## 2. Versuchsfeld Ebersberger Forst

### 2.1 Untersuchung von Horizontalbewegungen des Bodens (Stabilität in der Lage)

#### 2.1.1 Aufgabenstellung

Im Ebersberger Forst wurde 1957/1958 eine Normalstrecke von 864 m Länge eingerichtet, sorgfältig vermarktet und in den Jahren 1958, 1960, 1961 und 1963 von verschiedenen Beobachtern mit dem Väisälä-Interferenzkomparator mehrmals ausgemessen. Ihre Länge diente laufend der Eichung von Invardrähten, in den letzten Jahren auch mehr und mehr als Vergleichsstrecke für lichtelektrische und elektronische Entfernungsmesser (Geodimeter, Tellurometer, Electrotape, Distomat).

Durch Vergleich der in den verschiedenen Jahren durchgeführten Väisälämessungen über die Gesamtstrecke und die Teilstrecken kann die Stabilität der Pfeiler und der durch sie markierten Strecken untersucht werden, und daraus lassen sich Rückschlüsse auf horizontale Bodenbewegungen ziehen. Dabei müssen die örtlichen Voraussetzungen und die verschiedenen Fehlerquellen (Topographie, Geologie, Pfeilerfundierungen, Temperatur- und Witterungseinflüsse, Refraktion, Beobachtungs- und Übertragungsfehler und vieles andere mehr) sorgfältig beachtet und analysiert werden.

#### 2.1.2 Geologische Gutachten

Zur Beurteilung der Stabilität des Bodens wurden im Jahre 1955 und 1957 von Herrn Prof. Dr. I. Schaefer, vom Bayerischen Geologischen Landesamt München, geologische Gutachten eingeholt. Dabei wurde zunächst von Herrn Dr. Schaefer eine allgemeine Beurteilung der gesamten Umgebung Münchens für die Anlage einer Basisvergleichsstrecke erbeten. Mit Rücksicht auf die grundlegende Bedeutung dieses Gutachtens für die seinerzeitige endgültige Auswahl der Ebersberger Normalstrecke soll dieses Gutachten in *Anlage 1* beigegeben werden, und die hierzu gestellten geodätischen Forderungen werden nochmals aufgezählt:

- a) Länge der Basisvergleichsstrecke: 1 km,
- b) Länge: a) in möglichst horizontalem Gelände,
  - b) nach Möglichkeit in breiter Waldschneise oder Waldlichtung,
  - c) in genügender Entfernung von stärkeren Verkehrslinien (Eisenbahn, Hauptstraßen),
- c) Richtung: wegen der vorherrschenden Winde Süd-Nord-Richtung bevorzugt,
- d) Untergrund: a) in sich fest, Vermeidung von Lockergestein,
  - b) im größeren Rahmen möglichst innerhalb einer tektonisch stabilen Zone liegend,
  - c) geologisch möglichst gleichartig,
- e) Gründungstiefe: Endpunkte und ein Zwischenpunkt: 3-4 m, übrige Zwischenpunkte: 1 m.

Bei Beachtung dieser Forderungen kam Herr Dr. Schaefer zu dem Schluß, daß im Ebersberger Forst hierfür die günstigsten Voraussetzungen vorliegen.

Auf Grund dieses Gutachtens und einer eingehenden Geländeerkundung wurde im Ebersberger Forst die endgültige Lage des geplanten Normalkilometers festgelegt und mit folgendem Schreiben noch ein weiteres geologisches Gutachten zur Standfestigkeit der Betonpfeiler und der Grundwasserverhältnisse eingeholt:

„Das Deutsche Geodätische Forschungsinstitut beabsichtigt im Hohenlindener Grenzgeräumbt die Errichtung eines europäischen Normalkilometers, der zur Sicherung eines einheitlichen Maßstabes der Haupttriangulation der europäischen Länder dienen soll, sowie die Anlage einer Grundlinie von rund 8 km Länge. Die Erkundung erfolgt im Einvernehmen mit dem Bayerischen Landesvermessungsamt. Bevor die erforderlichen Verhandlungen mit dem Bayerischen Staatsministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten um Genehmigung der Anlage der Basis eingeleitet werden, bitte ich um Erstellung eines geologischen Gutachtens.

Der Normalkilometer soll nördlich der Gaststätte St. Hubertus angelegt werden. Für seine Anlage müssen im Abstand von etwa

0 m, 1 m, 6 m, 24 m, 72 m, 216 m, 432 m, 216 m, 72 m, 24 m, 6 m, 1 m, 0 m feste Betonpfeiler und Betontische bis zu einer Tiefe von etwa 2 m eingebracht und so fundiert werden, daß ihre Höhe sich möglichst einige Jahre innerhalb eines Millimeters erhalten läßt. Ferner müssen für die Basisstrecke alle 24 m Holzpfeiler oder Betonpfeiler rund 1,8 m tief in den Boden gerammt werden.

Das geologische Gutachten soll nun darüber Aufschluß geben, ob in dem genannten Gebiet (siehe beiliegendes Blatt „Hohenlinden 694“ der topographischen Karte von Bayern 1:25000) eine sichere Lage der Betonpfeiler zu erwarten ist. Insbesondere soll das Gutachten auch Aufschluß geben über die Grundwasser-Verhältnisse, damit die Pfeiler trocken fundiert werden können.“

Auf diese Anfrage gab das Bayerische Geologische Landesamt folgendes Gutachten<sup>1</sup> ab:

a) Für die geplante, in der beigefügten Karte rot gezeichnete Basis-Strecke im Gebiet des Ebersberger Forstes ist eine sichere Gründung der Betonpfeiler durchaus zu erwarten. Der Untergrund besteht aus letzteiszeitlichen Schottern, die eine genügende Setzung erfahren haben; die Standfestigkeit wird zudem durch ein gutes Mischungsverhältnis von fein- und grobkörnigen Sanden und Kiesen, wie es sich immer in Endmoränennähe findet, erhöht. Die Verwitterungsdecke beträgt nur 0,50–1,10 m, bereitet also für Beton-Gründungen keine Schwierigkeiten.

b) Die Grundwasserverhältnisse sind hier im einzelnen nicht bekannt, doch kann aus dem Vergleich mit ähnlich gelagerten Beispielen des übrigen Alpenvorlandes als sicher angenommen werden, daß der Grundwasserspiegel überall unter – 10 m (ab Geländeoberfläche) liegt, – dabei im südlichen Teil der Basis-Strecke tiefer als im nördlichen. Die Pfeiler werden also in trockenen Untergrund fundiert werden können.

### 2.1.3 Anlage und Ausbau der Normalstrecke

Die Normalstrecke im Ebersberger Forst besteht aus drei nebeneinander liegenden Meßbahnen für die Invardrahtmessung,

<sup>1</sup> Geologisches Gutachten für den europäischen Normalkilometer im Ebersberger Forst des Bayerischen Geologischen Landesamts vom 17. 1. 1957.

die Interferenzmessung mit dem Väisälä-Komparator und für Messungen mit 50 m-Invarbändern. Die Bauarbeiten wurden auf der Invardrahtstrecke 1957 mit dem Setzen der Betonpfähle auf den 24 m-Zwischenpunkten begonnen. Die etwa 1,2 bis 1,5 m tiefen Löcher wurden mit einem Erdbohrer, Durchmesser 10 cm, gebohrt. In diese Löcher wurde ein Verband von vier 8 mm-Rundeisen, der noch 0,7 m über die Erdoberfläche herausragte, eingesetzt und dann die Betonmischung – Z 325, Schnellbinder – eingefüllt. Über der Erdoberfläche wurde ein Betonrohr mit Innendurchmesser 10 cm aufgesetzt und im selben Arbeitsgang mit ausgegossen.

Die Interferenzstrecke wurde so angelegt, daß die Strecke sowohl in einem Stück als auch in zwei Teilstücken zu 432 m von den beiden Endpunkten ausgehend gemessen werden kann. Die Pfeiler stehen in folgenden Entfernungen (in Metern) von den beiden Endpunkten aus:

N-0-1-6-24-72-216-432-216-72-24-6-1-0-S.

Die mit N und S bezeichneten Pfeiler tragen das Fernrohr und die Lichtquelle des Väisälä-Komparators. Für die Eichung von 50 m-Invarbändern sind von Norden beginnend noch Pfeiler bei 5 m, 25 m, 100 m, 300 m und 600 m eingeschaltet worden. Genauere Angaben über die Ausführung der Pfeiler enthalten die *Anlagen 2 mit 5*. Es sei darauf hingewiesen, daß der Pfeiler bei 300 m auf dem Nordabschnitt nicht wie angegeben in Form der Anlage 4, sondern wegen der großen Bauhöhe nach Anlage 5 erstellt worden ist. Alle Pfeiler, die im Freien stehen, erhielten außerdem eine Isolierung aus 3 cm starken Meva-Isoliermatten mit darüber liegender 22 mm dicker Holzschalung. Die Pfeiler 0-1 (*Anlage 6*) an beiden Enden, sowie der Pfeiler 432 erhielten 1962 eine Isolierung aus 20 mm starkem Exporit (auf der Pfeileroberfläche 10 mm) und darüber eine Verkleidung aus 0,5 mm dickem Aluminiumblech (auf der Oberfläche der Pfeiler 1,0 mm). Die Pfeiler bei 5 m und 6 m, sowie der Pfeiler bei 72 m auf dem Nordabschnitt, die in Hütten stehen, sind nicht verkleidet.

Über den Pfeilern 0-1 und 6 m einschließlich der Fernrohrpfeiler stehen an beiden Enden der Normalstrecke 12 m lange Holzhütten, deren Seitenwände nach allen Seiten aufklappbar

sind, über dem Pfeiler bei 72 m auf dem Nordabschnitt eine kleinere Hütte von  $2,5 \times 2,5$  m Grundfläche. Die Invarbandstrecke besteht aus 100 m langen Eisenbahnschienenstücken, die auf Schwellen verschraubt sind und in einem Schotterbett liegen. Sie beginnt am Nordende und hat eine Länge von 600 m.

Die eigentlichen Endpunkte der Normalstrecke liegen unter den Endpunkten der Invardrahtstrecke und sind in Form der Dittrichschen Festlegung ausgeführt (*Anlagen 7 und 8*). Eine dritte unterirdische Festlegung liegt unter der Mitte der Invarstrecke. Die ebenfalls in Anlage 7 dargestellte „ständige oberirdische Vermarkung“ besteht aus einem Jäderinzapfen und bildet zugleich Anfangs-, Mittel- und Endpunkt der Invardrahtstrecke. Die für die Übertragungsmessungen von der Interferenzstrecke auf die unterirdischen Festlegungen (UF) notwendigen Sichten in den UF sind durch betonierte Lotungsschächte gewährleistet.

#### 2.1.4 Bericht über die Interferenzmessungen

##### a) Die Messungen 1958.<sup>1</sup>

Die erste Interferenzmessung auf der Normalstrecke erfolgte im Jahre 1958. Die Strecke wurde getrennt in zwei Hälften zu 432 m gemessen, und zwar der Nordabschnitt durch die Herren Dr. Eichhorn und Dr. Hillebrand vom Geodätischen Institut der Technischen Hochschule München, der Südabschnitt durch Herrn Professor Honkasalo, Helsinki, und Herrn Dr. Eichhorn. Als Ausgangsmaß diente Quarzmeter Nr. 31 mit einer Gleichung

$$L_{31} = 1 \text{ m} + [43,77 + 0,421 (t - 20^\circ\text{C}) + 0,00159 (t - 20^\circ\text{C})^2 - 0,00099 (B - 760 \text{ mmHg})] [\mu].$$

Die Ergebnisse der ersten Interferenzmessung sind in *Tabelle 1* zusammengestellt. Die dort angegebenen Längen bedeuten: Ergebnis der Interferenzmessung + Dicke des Nullspiegels + Einfluß der Schichtdicke auf den Spiegeln 0 und 1. Diese Längen

---

<sup>1</sup> Die Berechnungen, zum großen Teil auch die Messungen sowie die Zusammenstellung der Tabellen wurden von meinem Mitarbeiter Herrn Dr.-Ing. H. Herzog besorgt.

stellen den schrägen Abstand der Zentrierstangen auf den Interferenzpfeilern dar und sind für die verschiedenen Jahre miteinander vergleichbar. Eine Ausnahme macht lediglich die Strecke 0-432 auf dem Südabschnitt. Hier liegt die Zentrierstange bei 432 vom Südende aus gesehen hinter dem Spiegel; daher wird hier zum Ergebnis der Interferenzmessung auch noch die Dicke des Spiegels 432 addiert. Trotzdem sind die Ergebnisse der verschiedenen Jahre nicht miteinander vergleichbar, weil Nullpunktänderungen des Zentrierapparates in das Meßergebnis eingehen.

#### b) Die Messungen 1960.

Die zweite Messung fand Juli/August 1960 statt und wurde von Dr.-Ing. H. Herzog, DGFI durchgeführt. Wie 1958 wurden Nord- und Südabschnitt getrennt beobachtet. Die verwendeten Quarzmeter und ihre Gleichungen waren:

$$\text{Nr. 31 } L = 1 \text{ m} + [ + 43,764 + 0,421 (t - 20^\circ\text{C}) + 0,00159 \cdot (t - 20^\circ\text{C})^2 - 0,00099 (B - 760 \text{ mmHg}) ] [\mu]$$

$$\text{Nr. 42 } L = 1 \text{ m} + [ + 33,161 + 0,421 (t - 20^\circ\text{C}) + 0,00159 \cdot (t - 20^\circ\text{C})^2 - 0,00099 (B - 760 \text{ mmHg}) ] [\mu].$$

Die Ergebnisse dieser Messungen sind in *Tabelle 2* zusammengestellt.

#### c) Die Messungen 1961.

Die dritte Interferenzmessung auf der Normalstrecke fand im März 1961 statt. An diesen Messungen nahmen das DGFI und auch wieder Herr Professor Honkasalo mit dem Komparator des Finnischen Geodätischen Instituts teil. Dieses Jahr konnte erstmalig vom Nordende aus die ganze Normalstrecke gemessen werden.

Auf einen Umbau des Komparators auf dem Südabschnitt konnte daher diesmal verzichtet werden. Zuerst wurde der Komparator des DGFI aufgebaut und am 2. März einmal und am 3. März zweimal die Strecke 432 m gemessen. Dann wurden die wesentlichsten Teile des Komparators wie Quarzmeter, Spiegel, Kollimator und Beobachtungsteleskop ausgetauscht und anschließend noch fünfmal die Strecke 0-432 gemessen. Dazwischen

gelang an zwei Tagen die Herstellung der Interferenzen über 864 m.

Die benutzten Quarzmeter und ihre Gleichungen waren:

$$\text{Nr. 31 L} = 1 \text{ m} + [ + 43,764 + 0,421 (t - 20^\circ \text{C}) + 0,00159 (t - 20^\circ \text{C})^2 - 0,00099 (B - 760 \text{ mmHg}) ] [\mu]$$

$$\text{Nr. 42 L} = 1 \text{ m} + [ + 33,161 + 0,421 (t - 20^\circ \text{C}) + 0,00159 (t - 20^\circ \text{C})^2 - 0,00099 (B - 760 \text{ mmHg}) ] [\mu]$$

$$\text{Nr. VIII L} = 1 \text{ m} + [ + 149,90 + 0,430 (t - 20^\circ \text{C}) + 0,00159 (t - 20^\circ \text{C})^2 - 0,00347 (B - 760 \text{ mmHg}) ] [\mu]$$

$$\text{Nr. CI L} = 1 \text{ m} + [ + 136,00 + 0,434 (t - 20^\circ \text{C}) + 0,00159 (t - 20^\circ \text{C})^2 - 0,00477 (B - 760 \text{ mmHg}) ] [\mu].$$

Die Ergebnisse dieser Messungen sind in *Tabelle 3* zusammengestellt.

d) Die Messungen 1963.

Die letzten Interferenzmessungen wurden durch das DGFI im Mai 1963 durchgeführt. Dabei wurden Süd- und Nordabschnitt getrennt, außerdem die ganze Normalstrecke vom Süden aus gemessen. Es wurden folgende Quarzmeter verwendet:

$$\text{Nr. 53 L} = 1 \text{ m} + [ + 33,60 + 0,421 (t - 20^\circ \text{C}) + 0,00159 (t - 20^\circ \text{C})^2 - 0,00099 (B - 760 \text{ mmHg}) ] [\mu]$$

$$\text{Nr. 42 L} = 1 \text{ m} + [ + 33,161 + 0,421 (t - 20^\circ \text{C}) + 0,00159 (t - 20^\circ \text{C})^2 - 0,00099 (B - 760 \text{ mmHg}) ] [\mu].$$

Die Ergebnisse für die Abstände zwischen den Zentrierstangen auf den Interferenzpfeilern sind in *Tabelle 4* zusammengestellt.

Die theoretische Genauigkeit einer Interferenzmessung mit dem Väisälä-Komparator in einem vollen Hin- und Rückgang liegt bei etwa  $10^{-7}$  der gemessenen Strecke. Betrachtet man die Tabellen 1 bis 4, so fällt auf, daß die Abweichungen der einzelnen Messungen von ihrem Mittelwert viel größer sind, als zu erwarten wäre, und daß die  $v$  für eine Messung linear mit der Entfernung wachsen. Es wurden daher im Anschluß an die Messungen 1961 alle bis dahin ausgeführten Interferenzmessungen in Ebersberg von meinem Mitarbeiter Dr. Herzog einer kritischen Untersuchung unterzogen.

Der Väisälä-Komparator arbeitet nach dem Multiplikationsverfahren. Dies bedeutet, daß der Genauigkeit der ersten kurzen Strecken ganz besondere Bedeutung zukommt. Nun liegen in Ebersberg die ersten 9 m der Strecke in einer Hütte, deren Seitenwände während der Messung weit geöffnet sind, damit eine gute Durchlüftung stattfindet. Dennoch werden zwischen Außenraum und dem Innern der Hütte Temperaturunterschiede bis über  $1\text{ }^{\circ}\text{C}$  gemessen. Anhand der Ergebnisse der Interferenzmessungen kommt Herr Dr. Herzog zu dem Schluß, daß die gemessenen großen Temperaturunterschiede nicht reell sind und die daraus errechneten Refraktionskorrekturen die Messungsergebnisse wesentlich verschlechtern. Durch eine Ausgleichung der Messungen 1958–1961 hat Herr Dr. Herzog festgestellt, daß nur 14% des gemessenen Lufttemperaturunterschiedes reell sind. Unter Berücksichtigung dieser Ausgleichung wurden die Interferenzmessungen 1958–1961 neu berechnet und in den *Tabellen 5 bis 7* zusammengestellt.

Obwohl die Pfeiler 0–1 nach den Messungen 1961 eine Isolierung und die Thermometer einen etwas besseren Strahlenschutz erhielten, tritt bei den Messungen 1963 wieder die gleiche Erscheinung auf. Es wurden daher auch bei dieser Messung die Refraktionskoeffizienten 0–1–6–24 auf 14% reduziert und die so erhaltenen Streckenlängen in *Tabelle 8* zusammengestellt. Die Ergebnisse der Tabellen 5 bis 8 sollen als Grundlage für die Betrachtung der Pfeilerbewegungen dienen.

Mit den Ergebnissen der Tabellen 5 bis 8 und den Ergebnissen der Übertragungsmessungen erhält man nach Anbringen der Korrekturen wegen Neigung der Interferenzstrecke und ihrer Höhe über UF A für die Abstände zwischen den unterirdischen Festlegungen im Horizont von UF A die Werte der *Tabelle 9*.

#### 2.1.5 Diskussion der Interferenzmessungen

Auf Grund theoretischer Überlegungen ist für eine einmalige Interferenzmessung im Hin- und Rückgang eine innere Genauigkeit von  $1 \cdot 10^{-7}$  der gemessenen Strecke zu erwarten. Aus der gemeinsamen Ausgleichung der Meßergebnisse von 1958 bis 1961 erhält man als mittleren Fehler einer Messung

$$m_0 = \pm 1,3 \cdot 10^{-7} \text{ und aus den Messungen 1963}$$

$m_0 = \pm 2,2 \cdot 10^{-7}$ . Die mittleren Fehler der Mittelwerte für die Abstände der Spiegelpfeiler 0-432 liegen in den einzelnen Jahren zwischen 0,5 und  $0,8 \cdot 10^{-7}$ . Da es 1963 möglich war, die Interferenzen über 864 m zu messen und außerdem beide Normalstreckenabschnitte getrennt zu messen, besteht auch noch die Möglichkeit, die direkt gemessene Länge des Nordabschnitts (Abstand der Zentrierstangen auf den Interferenzpfeilern) der aus den Messungen auf dem Südabschnitt abgeleiteten Länge gegenüberzustellen. Es ergab sich

Nord direkt:	$432048,818 \pm 0,027$ mm
Nord indirekt:	$,834 \pm 0,050$ mm
Differenz:	$0,016 \pm 0,057$ mm.

Die Übereinstimmung der beiden Werte ist ausgezeichnet.

Es wird darauf hingewiesen, daß es sich dabei um jene Meßergebnisse handelt, bei denen die gemessenen Refraktionskorrekturen 0-1-6-24 auf 14% ihres gemessenen Betrages reduziert worden sind. Diese Ergebnisse dürften nach den bisherigen Erfahrungen frei von wesentlichen systematischen Fehlern und deren angegebene mittlere Unsicherheiten annähernd repräsentativ sein.

Für die Abstände zwischen den unterirdischen Festlegungen kommt als weitere wesentliche Fehlerquelle noch die Unsicherheit der Übertragung von den Spiegeln auf die UF hinzu. Bei sorgfältiger Ausführung aller Zielmarken und bei Benutzung von künstlicher Beleuchtung kann man gut eine innere Genauigkeit von  $\pm 0,02$  mm für eine Übertragung erreichen. Der größte Fehler bei der Übertragung beruht auf dem Umstand, daß die Visur zum anderen Endpunkt der Strecke am Rande eines Fichtenhochwaldes entlang geht und damit bei ungünstiger Witterung infolge Seitenrefraktion Fehler bis maximal 0,2 mm auftreten können. Da sich diese Fehler bei gleichzeitiger Messung an beiden Endpunkten der Strecke nicht aufheben, sondern addieren, wurden die Übertragungsmessungen stets über einen längeren Zeitraum verteilt und außerdem bei unterschiedlicher Witterung ausgeführt. Eine Genauigkeit für die Mittelwerte der Übertragungsmessungen von  $\pm 0,05$  mm dürfte jedoch in

jedem Jahr erreicht worden sein. Erfahrungsgemäß ist die Übertragung beim Pfeiler 432 in der Mitte der Normalstrecke am unsichersten; da man aber aus den Ergebnissen der Interferenzmessungen wieder weiß, daß dieser Pfeiler sehr stabil ist, kann sich die Unsicherheit der Übertragung zwar in den Längenangaben für die Teilstücke der Normalstrecke auswirken, nicht aber in der Länge der ganzen Normalstrecke.

Zusammenfassend kann man sagen, daß die in der Tabelle 9 angegebenen Unsicherheiten für die Teilstrecken etwas zu günstig ausgefallen sein könnten, für die Gesamtstrecke jedoch annähernd repräsentativ sein dürften.

#### 2.1.6 Pfeilerbewegungen

##### a) Kurzzeitige Bewegungen der Interferenzpfeiler.

Auf den Pfeilern 0-1 liegen die Zentrierstangen 0,5 m aus der Pfeilermitte; für sie sind daher größere Bewegungen zu erwarten als für die anderen Pfeiler. 1961 waren die Interferenzmessungen auf einen Zeitraum von 20 Tagen verteilt. In *Tabelle 10* wurde versucht, die Bewegungen der einzelnen Pfeiler innerhalb dieser 20 Tage darzustellen.

Die Darstellung ist auf die Pfeiler 0-72 beschränkt, weil hier die Fehler der Interferenzmessung sicher noch klein gegenüber den Pfeilerbewegungen sind. Wenn man davon ausgeht, daß die Bewegungen der übrigen Pfeiler nur klein und etwa zufällig verteilt sind, kann man die Bewegungen des Nullspiegels als systematischen Anteil von den Abweichungen der Einzelmessungen über die Entfernungen 0-6, 0-24 und 0-72 m gegen ihren Mittelwert abspalten. Die Spalten 2, 4 und 6 der Tabelle 10 enthalten die Abweichungen  $v'$ , die sich für die einzelnen Interferenzmessungen über die betreffende Entfernung von ihrem jeweiligen Mittelwert ergeben. Bildet man für jeden Messungstag den Mittelwert für die  $v'$  über die Entfernungen 0-6, 0-24 und 0-72 m, so erhält man die in Spalte 8 mit  $b$  bezeichneten Werte für die Bewegungen des 0-Spiegels. Dabei bedeutet ein positives Vorzeichen von  $b$ , daß sich der Spiegel in Richtung auf den Pfeiler 432 bewegt hat. Bringt man die so erhaltenen  $b$ -Werte an die  $v'$  der Strecken 0-6, 0-24 und 0-72 m an, so erhält man die in den Spalten 3, 5 und 7 mit  $v$  bezeichneten Bewegungen der Pfeiler 6, 24 und 72.

Diese liegen für einen Zeitraum von drei Wochen alle in einem Bereich von  $15\mu$ . Damit ist die Stabilität der Pfeiler und des Untergrundes in hervorragender Weise bestätigt. Die Tabelle 8 zeigt, daß sich die Wärmeisolierung auf die Bewegungen des Pfeilers 0 während der Messung 1963 positiv ausgewirkt hat und außerdem die oben festgestellten geringen Bewegungen der Pfeiler für einen kurzen Zeitraum bestätigt werden.

b) Langfristige Bewegungen der Interferenzpfeiler.

In *Tabelle 11* sind noch einmal die Ergebnisse für die Abstände der Interferenzpfeiler von den Endpunkten Nord und Süd in den einzelnen Jahren zusammengestellt. Die Spalten 3, 5 und 7 enthalten die Änderungen dieser Abstände zwischen den Interferenzmessungen. Die große Differenz für die Strecke 0-216 auf dem Nordabschnitt zwischen den Jahren 1960 und 1961 ist auf eine Lageänderung der Justierstange auf dem Pfeiler, nicht auf eine Pfeilerbewegung zurückzuführen.

In der folgenden *Tabelle 12* sind aus den oben aufgeführten Angaben unter der Annahme, daß die Summe der Bewegungen aller Pfeiler Null sei, die Bewegungen der einzelnen Pfeiler abgeleitet worden. Dabei bedeutet ein positives Vorzeichen eine Bewegung nach Norden, ein negatives eine Bewegung nach Süden. Der Pfeiler 72 auf dem Südabschnitt steht in einer ca. 2 m tiefen Grube und hat somit eine relativ große Höhe, was seine etwas herausfallend großen Bewegungen erklärt. Man sieht, daß im Laufe eines Jahres mit Bodenbewegungen um 0,1 mm gerechnet werden kann. Falls Bewegungen mit Jahresperiode vorhanden sein sollten, so wären diese hier bereits zum großen Teil mit enthalten, da sich die einzelnen Interferenzmessungen auf Frühjahr, Sommer und Herbst verteilen.

Außer den Bewegungen der Interferenzpfeiler kann man auch die Bewegungen der unterirdischen Festlegungen betrachten. Zuerst soll jedoch die Streckendifferenz Südabschnitt minus Nordabschnitt untersucht werden. Sie bietet einen guten Einblick in die tatsächlich erreichte Meßgenauigkeit, da sie die Fehler der Interferenzmessung (wenn beide Abschnitte getrennt beobachtet werden), die Fehler der Übertragungsmessungen an allen drei Festlegungen und außerdem Einflüsse der Bewegungen

der UF enthält, während proportional zur Entfernung fortschreitende Bodenbewegungen und langzeitige Änderungen am Quarzometersystem nicht in die Differenz eingehen. Aus Tabelle 9 erhält man die Differenz  $(UF\ B - UF\ C) - (UF\ A - UF\ B)$  zu

1958	+ 1,03 mm	1960	+ 1,50 mm
1961	+ 1,40 mm	1963	+ 1,37 mm.

Die Konstanz der Differenz bei den letzten drei Messungen deutet auf eine gute Genauigkeit der Messungen und eine ebenso gute Lagebeständigkeit der UF hin. Ob die Abweichung der Differenz von 1958 auf eine Bewegung der UF B oder auf systematische Fehler in der Übertragung bei 432 m zurückzuführen ist, kann nicht geklärt werden. In der reinen Interferenzmessung ist die Ursache offensichtlich nicht zu suchen.

Die Tabelle 9 zeigt eine stetige Verkürzung der gesamten Normalstrecke, die sich nicht nur – abgesehen von den Messungen 1958 – in den beiden Teilstücken, sondern auch bereits in den Längen für die Abstände zwischen den Interferenzpfeilern (Tab. 11) abzeichnet. Danach würde die jährliche Verkürzung der Normalstrecke rund  $1 \cdot 10^{-7}$  ausmachen. Für diesen Effekt sind folgende Erklärungen möglich:

1. Zufällige Häufung von Meßfehlern und Bodenbewegungen.
2. Gleichmäßige Kontraktion des Bodens.
3. Maßstabsänderung (Verlängerung) des Väisäläschen Quarzometersystems.

Im 1. und 2. Fall können nur weitere Messungen zur Klärung beitragen, wobei durch erneute Absoluteichung der Quarzometer sichergestellt werden muß, daß keine Maßstabsänderungen am Quarzometersystem vorhanden sind. Eine Absoluteichung der beiden Quarzometer 31 und 42 des DGF I bei der Physikalisch-Technischen Bundesanstalt in Braunschweig ist beantragt. Die unter 2. und 3. genannten Möglichkeiten gewinnen an Wahrscheinlichkeit, wenn man zum Vergleich die Ergebnisse der Interferenzmessungen von Nummela/Finnland betrachtet, für die Kukkamäki beim Internationalen Kurs für geodätische Streckenmessung 1961 in München folgende Zahlenwerte angab:

1947	864	121,89 ± 0,05 mm
1952		,55 ± 0,06 mm
1955		,49 ± 0,08 mm
1958		,37 ± 0,06 mm.

Hier erhält man also eine jährliche Längenabnahme von  $0,6 \cdot 10^{-7}$  gegenüber  $0,5 \cdot 10^{-7}$  in München.

### 2.1.7 Bewegungen der Jäderinpfähle

Die auf der Normalstrecke von 1958 bis 1962 durchgeführten Invardrahtmessungen erlauben eine Untersuchung der Bewegungen der Jäderinpfähle. Dabei wurde davon ausgegangen, daß sich die unterirdischen Festlegungen A, B und C nicht bewegt haben. Die Lagen der Jäderinpfähle wurden mit Hilfe der Lotungen und der Drahtmessungen zwischen den UF interpoliert. Die so erhaltene Lageunsicherheit kann maximal 0,1 mm erreichen. Die Ergebnisse sind in *Tabelle 13* zusammengestellt.

### 2.1.8 Schlußfolgerungen

Die über fast fünf Jahre ausgedehnten Interferenzmessungen in Ebersberg bestätigen die hervorragende Lagestabilität des untersuchten Kiesbodens schon in den oberen 1 bis 2 m. Alle Differenzen liegen praktisch innerhalb der Beobachtungsgenauigkeit.

## 2.2 Vertikalbewegungen

### 2.2.1 Allgemeine Angaben

Zur Untersuchung etwaiger vertikaler Bodenbewegungen, insbesondere durch langfristige Bodenhebungen und Bodensenkungen im Zusammenhang mit Änderungen des Grundwasserstandes wurde im Bereich der Ebersberger Normalstrecke eine Nivellementsversuchsstrecke (Anlage 9) angelegt. An den Punkten 1, 3 und 11 wurden Grundwasserpegel, in der Nähe von Punkt 9 eine Meßstelle für die Temperatur in verschiedenen Tiefen durch das Institut für Grundbau und Bodenmechanik der Technischen Hochschule München eingerichtet, um den Zusammenhang zwischen Grundwasserstand und Bodenbewegungen zu erkennen.

## 2.2.2 Beschreibung der Nivellementsstrecke

Die Nivellementsstrecke umfaßt ein Rechteck von  $1600 \times 800$  m mit einer Querverbindung, so daß zwei aneinanderstoßende Quadrate von je  $800 \times 800$  m gebildet werden (Anlage 9). Die langen Seiten verlaufen von NNO nach SSW, die kurzen Seiten senkrecht dazu. Es sind insgesamt 11 Ramppfähle (UR) sowie in unmittelbarer Nähe der Ramppfähle 1, 3, 5 und 7 Pfeiler mit Bolzen (PB) eingebracht (s. Anlage 10 und 11). Diese Pfeiler dienen dazu, die Standfestigkeit von Pfeilern und Ramppfählen vergleichen zu können. Die gesamte Strecke verläuft innerhalb hohen Fichtenbestandes entlang der teilweise bis zu 50 m breiten Schneisen, vorwiegend auf gewalzten Schotterstraßen. Das nördliche Quadrat zeigt nur sehr geringe Höhenunterschiede. Dagegen liegt der südöstliche Punkt des südlichen Quadrates auf einer Moräne, etwa 15 m höher als der nördliche Teil der Nivellementsstrecke.

### 2.2.3 Streckeneinteilung

Die Zielweiten wurden auf 20–30 m festgelegt, mit Ausnahme einer Steilstrecke an der SO-Ecke, in der die Zielweiten auf 11 m verkürzt werden mußten. Die Instrumentenstände wurden so gewählt, daß Rück- und Vorblick bis auf 2–3 dm gleich lang sind. Die Lattenwechsellpunkte wurden mit Hartholzpflocken vermarktet, welche an der Kopfseite Schraubenbolzen zum Aufsetzen der Latte besitzen. Zwischen den Pfeilern bestehen vier Teilstrecken von 800 m und 2 Teilstrecken von 1600 m. Zwischen den Ramppfählen bestehen 9 Teilstrecken von 200 m und 3 Teilstrecken von 300–400 m. Alle diese Teilstrecken wurden so unterteilt, daß sich jeweils eine gerade Anzahl von Instrumentenständen ergab.

### 2.2.4 Instrumente

Zur Beobachtung wurden das Wild N 3 – Nivellier Nr. 75 561 sowie die zugehörigen Invarbandlatten Nr. 115 und 142 verwendet. Die Justierung des Instrumentes wurde laufend überprüft. Das Lattenmeter wurde auf einem Komparator bestimmt, eine Lattenkorrektur an den Beobachtungsergebnissen jedoch nicht

angebracht, weil im Rahmen dieser Untersuchung nur die zu den verschiedenen Zeitpunkten festgestellten relativen Höhenunterschiede von Interesse sind.

### 2.2.5 Beobachtung

Die Messungen begannen, sobald der Schnee soweit abgeschmolzen war, daß das Gelände auch mit Instrumenten begangen werden konnte. Sie wurden im Abstand von 4 Wochen wiederholt, so daß insgesamt 6 Hin- und Rückmessungen der gesamten Strecke durchgeführt werden konnten.

Die Nivellements erfolgten bei unterschiedlichster Witterung: Sonne, bedeckt und leichter Regen. Infolge der günstigen Lage im Hochwald war es meist möglich, auch bei starker Sonneneinstrahlung zu nivellieren.

### 2.2.6 Beobachtungsergebnisse

Die Beobachtungsergebnisse einschließlich Schleifenschlußfehler und mittlerer Kilometerfehler sind in *Tabelle 14* zusammengefaßt. Die Zusammenstellung beschränkt sich auf die UR, da der Vergleich zwischen UR und PB in diesem Zusammenhang nicht interessiert. Da ferner die PB nicht regelmäßig über die Strecke verteilt sind, können sie zu der vorliegenden Untersuchung keinen Beitrag leisten. Die Schleife A besteht aus 6 Teilstrecken, die Schleife B aus 7 Teilstrecken und schließlich die Gesamtstrecke aus 12 Teilstrecken (Anlage 9).

In der Zusammenstellung bedeuten:

- $r$  = Streckenlänge
- $\Delta h'$  = Mittel aus Hin- und Rücknivellement
- $\Delta$  = Differenz: Hin- minus Rückmessung
- $\mu_{1,0}$  = mittlerer totaler km-Fehler des Doppelnivellements
- $\mu_s$  = systematischer Nivellierfehler für 1 km Doppelnivellement
- $\Delta'$  =  $\Delta - 2\mu_s \cdot r$  (vom systematischen Anteil befreite Differenz zwischen Hin- und Rücknivellement)
- $\mu_{2,0}$  = mittlerer zufälliger km-Fehler des Doppelnivellements
- $\mu_1^2 = 1/4 \left[ \frac{\Sigma \Delta^2}{\Sigma L} - \frac{\Sigma r^2}{(\Sigma L)^2} \Sigma \frac{S^2}{L} \right]$  = mittlerer zufälliger km-Fehler für das Doppelnivellement (Internationale Fehlerformel)

$\Delta h =$  Mittelwert aller  $\Delta h'$

$$\mu_0 = \pm \sqrt{\frac{[vv]}{r(n-1)}} \text{ bzw. } \mu_m = \pm \sqrt{\frac{[vv]}{r \cdot n(n-1)}},$$

wobei  $v = \Delta h - \Delta h'$ ;  $n =$  Anzahl der Messungen.

### 2.2.7 Diskussion der Ergebnisse

#### 2.2.7.1 Fehlerberechnung

Die mittleren totalen km-Fehler  $\mu_{1,0}$  sind besonders bei dem 2. Nivellement und 4. Nivellement verhältnismäßig hoch. Außerdem weisen die Streckendifferenzen  $\Delta$  zum großen Teil gleiche Vorzeichen auf. Es wurde versucht, einen systematischen Fehleranteil abzuspalten, der die Absolutwerte der positiven und negativen Höhenunterschiede auf dem Hin- und Rückweg in verschiedenem Sinn gleichviel beeinflusst. Diese systematischen Fehleranteile ( $\mu_s$ ) sind in der Zusammenfassung ausgewiesen. Sodann wurde der von systematischem Anteil befreite mittlere zufällige km-Fehler  $\mu_{2,0}$  berechnet. Es zeigt sich, daß die mittleren km-Fehler wesentlich zurückgehen. Um die Werte zu überprüfen, wurde der mittlere zufällige km-Fehler  $\mu_1$  nach der internationalen Fehlerformel berechnet und dieser unten beige-schrieben. Bis auf die beiden letzten Nivellements zeigt sich eine recht gute Übereinstimmung bei den Einzelmessungen. Auch die quadratischen Mittelwerte stimmen in etwa überein. Auf eine Berechnung des systematischen mittleren km-Fehlers nach der internationalen Fehlerformel mußte verzichtet werden, weil diese Formel für Linien, die ein Netz bilden, nicht anwendbar ist.

#### 2.2.7.2. Nachweis von im Mittel zwischen Hin- und Rücknivellement nicht getilgten systematischen Fehlern (eventuelle Bodenbewegungen)

Es wurden die gemessenen Höhenunterschiede der einzelnen Teilstrecken zu einem Jahresmittel zusammengefaßt. Aus dem Vergleich der arithmetischen Mittelwerte mit den Einzelmessungen erhält man den mittleren Fehler einer Messung  $\mu_0$  und des arithmetischen Mittels  $\mu_m$ . Anschließend wurden die quadratischen Mittelwerte der  $\mu_0$  und  $\mu_m$  gebildet, so daß man einen

unmittelbaren Vergleich mit dem quadratischen Mittelwert der  $\mu_{1,0}$  erhält. Es ergibt sich

$$\begin{aligned}\mu_0 &= \pm 0,52 \text{ mm/km gegen } \mu_{1,0} = \pm 0,47 \text{ mm/km;} \\ \mu_m &= \pm 0,21 \text{ mm/km.}\end{aligned}$$

Man mußte erwarten, daß  $\mu_0$  kleiner ist als  $\mu_{1,0}$ , in dem sich neben den zufälligen Fehleranteilen auch die im Hin- und Rücknivellement auftretenden systematischen Fehler auswirken. Dies ist nicht der Fall, im Gegenteil,  $\mu_0$  ist etwas größer als  $\mu_{1,0}$ . Man könnte nun zur Erklärung dieser Tatsache systematische Fehler heranziehen, die im Mittel zwischen Hin- und Rücknivellement nicht getilgt sind, oder auch Boden- bzw. Pfeilerbewegungen. Bei dem geringen Unterschied der mittleren Fehler  $\mu_0$  und  $\mu_{1,0}$  jedoch kann man nicht eindeutig auf Bodenbewegungen schließen, zumindest muß man sagen, daß eventuelle Bodenbewegungen von den Beobachtungsfehlern überdeckt wurden. Die mittleren Fehler des arithmetischen Mittels  $\mu_m$  liegen bei 0,1–0,3 mm/km, also erheblich unter den mittleren Fehlern, die sich aus den Differenzen zwischen Hin- und Rückmessung ergeben. Es folgt daraus, daß die im Laufe des Jahres aufgetretenen Bodenbewegungen jedenfalls geringer sind als die Beobachtungsdifferenzen.

### 2.2.7.3 Schleifenschlußfehler

Die Schleifenschlußfehler variieren zwischen 0,2 bis 2,8 mm, wobei die negativen Werte stark überwiegen. Ein Unterschied zwischen der Umfangsschleife und den beiden kleinen Schleifen besteht nicht. Dies kann auch nicht erwartet werden, da auch die Umfangsschleife als „kurz“ angesehen werden muß.

### 2.2.7.4 Schleifenausgleichung

Die Schleifenausgleichung wurde nach dem Verfahren von Gauß-Vogler durchgeführt. Die Ergebnisse sind in *Tabelle 15* zusammengestellt. Wie bei nur einer Überbestimmung zu erwarten war, wird der quadratische Mittelwert des mittleren Fehlers  $\mu_0$  mit  $\pm 0,44$  mm/km gegenüber den Werten vor der Ausgleichung ( $\pm 0,52$  mm/km) nicht wesentlich geringer, d. h. der erzielte Genauigkeitsgewinn ist unbedeutend. Die unter 2.2.7.2. er-

wähnte Tatsache, daß bei den Teilstrecken 5-6, 6-7 und 7-8 die mittleren Fehler  $\mu_0$  höher liegen als bei allen übrigen Teilstrecken, tritt jetzt nicht mehr zutage.

### 2.2.8 Schlußfolgerungen

Die Vermarkungen der Höhenpunkte sind erst etwas über ein Jahr alt. Über ihre Stabilität können noch keine endgültigen Aussagen gemacht werden. Die Nivellementsergebnisse schwanken innerhalb der ausgewiesenen Beobachtungsgenauigkeit. Bodenbewegungen sind nicht erkennbar. Weitere Beobachtungen über längere Zeiträume sind notwendig.

## 3. Untergrundverhältnisse, Grundwasserstände und Bodentemperaturen

Über die Untersuchung der Untergrundverhältnisse hat Herr Prof. Dr. Jelinek ausführlich berichtet. Hiernach ergaben sich entsprechend den Bohrtiefen die Koten der Endteufen zu folgenden Werten:

Bohrung	Forsthaus	N-Strecke	N-Strecke	SO-Ecke
		Nord	Süd	
Ansatzhöhe	554,00	548,75	553,18	— m ü. N. N.
Bohrtiefe	41,70	40,00	41,00	20,00 m unter
Kote der				O.K.G.
Endteufe	512,30	508,75	512,18	— m ü. N. N.

Zusammenfassend gibt Herr Prof. Dr. Jelinek folgende charakteristische Koten für die einzelnen Bohrungen an:

Bohrung	1	2	3
O.K.-Gelände	554,00	548,75	553,18 m ü. N. N.
O.K.-Tertiär	512,30	510,25	518,18 m ü. N. N.
Grundwasser	516,00	515,05	520,38 m ü. N. N.
Endteufe	512,30	508,75	512,18 m ü. N. N.

Hiernach steht der Grundwasserspiegel mit 33 m bis 38 m unter der Geländeoberkante so tief an, daß sich Schwankungen

des Grundwasserstandes in den obersten Schichten kaum bemerkbar machen können. Zudem traten 1963 nur sehr geringe Schwankungen im Grundwasserspiegel auf.

Herr Prof. Dr. Jelinek berichtet auch über Bodentemperaturmessungen. Dabei traten zunächst technische Schwierigkeiten auf, so daß verbindliche Messungen erst ab 16. 10. 1963 durchgeführt werden konnten. Die beobachteten Temperaturschwankungen waren sehr gering, so daß Einflüsse auf Bodenbewegungen an der Geländeoberfläche nicht erwartet werden können.

#### 4. Zulässige Belastung von Münchener Böden

Die vorgesehenen Bodenbelastungen konnten wegen der damit verbundenen hohen Kosten nicht durchgeführt werden. Aus langjährigen Erfahrungen lassen sich aber etwa folgende Durchschnittswerte angeben:

Geologische Schichtung	Belastung kg/cm <sup>2</sup>
1. Jungalluvium	1,5–2 kg/cm <sup>2</sup>
2. Altalluvium	3–4 kg/cm <sup>2</sup>
3. Diluvialböden	
Nieder- u. Hochterrasse	4 kg/cm <sup>2</sup>
4. Tertiärer Flinz	5 kg/cm <sup>2</sup>

Die vorstehenden Belastungsangaben sind nicht anzuwenden im Bereich der Verwitterungsdecken dieser Böden oder bei besonderen bodenkundlichen Verhältnissen.

Tabelle 1. Ergebnis der Interferenzmessungen 1958 für die Abstände der Zentrierstangen

I	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Datum	0-6	v	0-24	v	0-72	v	0-216	v	0-432	v
	μ	μ	μ	μ	μ	μ	μ	μ	μ	μ

Nordabschnitt

30. 6.	+18590	+ 7	+20061	+ 13	+13297	+ 14	+32730	+ 44	+48881	+ 81
1. 7.	597	± 0	088	— 14	349	— 38	863	— 89	49142	— 180
2. 7.	605	— 8	075	— 1	315	— 4	787	— 13	48987	— 25
3. 7.	597	± 0	070	+ 4	283	+ 28	716	+ 58	48836	+ 126
Mittel	+18597	± 3	+20074	± 6	+13311	± 14	+32774	± 33	+48962	± 68

Südabschnitt

6. 10.	+25087	+ 15	+28578	+ 22	+21929	+ 7	+43414	+ 34	+58553	+ 24
7. 10.	106	— 4	609	— 9	932	+ 4	458	— 10	542	+ 35
8. 10.	106	— 4	596	+ 4	935	+ 1	471	— 23	618	— 41
9. 10.	109	— 7	619	— 19	948	— 12	450	— 2	596	— 19
Mittel	+25102	± 5	+28600	± 9	+21936	± 4	+43448	± 12	+58577	± 18

Tabelle 2. Ergebnis der Interferenzmessungen 1960 für die Abstände der Zentrierstangen

I	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
Datum	Zeit	Dauer	Temp.	Wetter	Quarz- meter	Beob.	0-6	v	0-24	v	0-72	v	0-216	v	0-432	v
		h min	°C				μ	μ	μ	μ	μ	μ	μ	μ	μ	μ
Nordabschnitt																
24. 7.	18 <sup>52</sup> -21 <sup>21</sup>	2 29	11	vorher Regen, bei Messung klar	31	He	+18495 ± 10	+20060 ± 12	+13191 ± 12	+32507 ± 27	+48715 ± 65					
25. 7.	18 <sup>01</sup> -20 <sup>25</sup>	2 24	14	bedeckt	42	He	501 ± 4	073 — 1	—	586 — 52	897 — 117					
26. 7.	18 <sup>25</sup> -20 <sup>16</sup>	1 51	16	wechselnd mit Sonne	31	He	511 — 6	074 — 2	209 — 6	494 ± 40	720 ± 60					
27. 7.	16 <sup>56</sup> -18 <sup>56</sup>	2 00	15	anfangs Gewitter dann wechselnd	42	He	515 — 10	081 — 9	210 — 7	548 — 14	788 — 8					
Mittel (einfach) und dessen mittlerer Fehler							+18595 ± 5	+20072 ± 4	+13203 ± 6	+32534 ± 21	+48780 ± 42					
Südabschnitt																
3. 8.	19 <sup>10</sup> -21 <sup>51</sup>	2 41	10	klar, Mondschein	31	He	+25005 ± 1	+28637 ± 11	—	+43391 ± 119	+58199 ± 187					
4. 8.	18 <sup>30</sup> -21 <sup>32</sup>	3 02	15	leicht bedeckt	42	He	001 ± 5	633 ± 15	+22302 ± 53	380 ± 130	154 ± 32					
5. 8.	13 <sup>43</sup> -16 <sup>39</sup>	2 56	19	regnerisch	31	He	007 — 1	661 — 13	384 — 29	643 — 133	594 — 204					
5. 8.	17 <sup>01</sup> -18 <sup>59</sup>	1 58	18	bedeckt	42	He	011 — 5	661 — 13	380 — 25	625 — 115	598 — 212					
Mittel (einfach) und dessen mittlerer Fehler							+25006 ± 2	+28648 ± 8	+22355 ± 27	+43510 ± 72	+58386 ± 121					

Tabelle 3. Ergebnis der Interferenzmessungen 1961 für die Abstände der Zentrierstangen auf dem Nordabschnitt

I	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
Datum	Zeit	Dauer	Temp.	Wetter	Kompa- rator Quarz- meter	Beob.	0-6	v	0-24	v	0-72	v	0-216	v	0-432	v
		h min	°C				$\mu$	$\mu$	$\mu$	$\mu$	$\mu$	$\mu$	$\mu$	$\mu$	$\mu$	$\mu$
2. 3.	15 <sup>44</sup> -18 <sup>07</sup>	2 23	4	bedeckt	D 31	He	+ 18430	$\pm$ 0	+ 70100	- 4	+ 13185	+ 12	+ 31405	+ 68	+ 48661	+ 133
3. 3.	14 <sup>10</sup> -16 <sup>40</sup>	2 30	4	bedeckt	D 42	He	439	- 9	121	- 25	258	- 61	663	- 190	49141	- 347
3. 3.	16 <sup>17</sup> -18 <sup>33</sup>	1 46	4	bedeckt	D 31	He	432	- 2	093	+ 3	176	+ 21	415	+ 58	48645	+ 149
13. 3.	14 <sup>30</sup> -17 <sup>40</sup>	3 10	9	bedeckt, Regen	F VIII	Ho	445	- 15	114	- 18	213	- 16	507	- 34	48853	- 59
15. 3.	14 <sup>30</sup> -17 <sup>38</sup>	2 48	9	stark bedeckt	F XI	Ho	447	- 17	109	- 13	233	- 36	551	- 78	948	- 154
20. 3.	16 <sup>11</sup> -19 <sup>04</sup>	2 53	2	wechselnd bewölkt	F VIII	Ho	429	+ 1	077	+ 19	168	+ 29	389	+ 84	643	+ 151
21. 3.	14 <sup>36</sup> -17 <sup>44</sup>	2 28	2	wechs. bew., Schnee	F XI	Ho	415	+ 15	071	+ 25	165	+ 32	399	+ 74	661	+ 133
23. 3.	16 <sup>45</sup> -20 <sup>30</sup>	4 05	4	wechselnd bewölkt	F VIII	He	406	+ 24	083	+ 13	178	+ 19	455	+ 18	799	- 5
Mittel (einfach) und dessen mittlerer Fehler							+18430 $\pm$ 5	+20096 $\pm$ 6	+13197 $\pm$ 13	+31473 $\pm$ 34	+48794 $\pm$ 64					

Tabelle 4.  
Ergebnisse der Interferenzmessungen 1963. Abstände der Zentrierstangen mit allen gemessenen Temperaturkorrekturen

I	2	3	4	5	6	7	8	9
Datum	Zeit	Dauer h min	Temp. °C	Wetter	Quarzm.	Beob.	0-6 μ	v μ
1963				Nordabschnitt				
29. 5. I	15.53-19.40	3 47	19	heiter, frischer Wind	42	He	+18386	0
29. 5. II	19.40-22.04	2 24	15	heiter, leichter Wind	53	He	384	+ 2
30. 5.	18.36-21.10	2 34	18	heiter, frischer Wind	42	He	386	0
31. 5.	18.06-19.10	1 04	19	heiter, schwacher Wind	53	He	389	- 3
							+18386	± 1
I	10	11	12	13	14	15	16	17
Datum	0-24 μ	v μ	0-72 μ	v μ	0-216 μ	v μ	0-432 μ	v μ
1963								
29. 5. I	+20064	+ 1	+13 122	+ 3	+31645	- 7	+48758	+ 4
29. 5. II	064	+ 1	126	- 1	637	+ 1	758	+ 4
30. 5.	069	- 4	125	0	643	- 5	809	- 47
31. 5.	063	+ 2	126	- 1	625	+ 13	721	+ 41
	+20065	± 1	+13 125	± 1	+31638	± 5	+48762	± 18

Die angegebenen Längen setzen sich zusammen aus:

Ergebnis der Interferenzmessung + Spiegeldicke o + Einfluß der Schichtdicke.

I	2	3	4	5	6	7	8	9
Datum	Zeit	Dauer h min	Temp. °C	Wetter	Quarzsm.	Beob.	0-6 μ	v μ
17. 5.	15.25-19.35	4 10	12	Südschnitt den ganzen Tag bewölkt, leichter Wind	42	He	+ 24501	+ 1
20. 5.	18.55-22.00	3 05	4	tagsüber wechselnd, bei Messung heiter, fast windstill	53	He	501	+ 1
21. 5.	19.33-22.23	2 50	8	den ganzen Tag heiter, kaum Wind	42	He	501	+ 1
22. 5. I	20.18-23.13	2 55	11	den ganzen Tag heiter	53	He	502	0
24. 5. I	14.30-16.55	2 25	12	den ganzen Tag 1/1 bedeckt	42	He	503	- 1
24. 5. II	16.59-19.10	2 11	11	den ganzen Tag 1/1 bedeckt	53	He	502	0
							+ 24502	± 0

I	10	11	12	13	14	15	16	17
Datum	0-24 μ	v μ	0-72 μ	v μ	0-216 μ	v μ	0-432 μ	v μ
17. 5.	+ 28614	- 11	+ 22816	- 28	+ 43572	- 120	+ 58149	- 215
20. 5.	584	+ 19	712	+ 76	232	+ 220	+ 57472	+ 462
21. 5.	603	0	784	+ 4	443	+ 9	+ 57924	+ 10
22. 5. I	593	+ 10	762	+ 26	359	+ 93	+ 57740	+ 194
24. 5. I	619	- 16	844	- 56	611	- 159	+ 58273	- 339
24. 5. II	606	- 3	808	- 20	495	- 43	+ 58044	- 110
	+ 28603	± 5	+ 22788	± 19	+ 43452	± 57	+ 57934	± 119

Die angegebenen Längen setzen sich zusammen aus: Ergebnis der Interferenzmessung bezogen auf die Zentrierungen 36312 bei 0 und 31612 bei 432 + Spiegeldicke 0 + Einfluß der Schichtdicke. Bei 0-432/Süd kommt noch die Dicke des Spiegels 432 hinzu.

Tabelle 5. Zusammenstellung der ausgeglichenen Ergebnisse der Interferenzmessungen 1958 für die Abstände der Zentrierstangen

I	2	3	4	5	6	7	8	9	10	II
Datum	0-6	v	0-24	v	0-72	v	0-216	v	0-432	v
	$\mu$									

## Nordabschnitt

30. 6.	+ 18 591	+ 7	+ 20 070	+ 10	+ 13 324	+ 7	+ 32 812	+ 22	+ 49 045	+ 37
1. 7.	597	+ 1	088	- 8	351	- 20	868	- 34	151	- 69
2. 7.	606	- 8	080	$\pm$ 0	330	+ 1	831	+ 3	075	+ 7
3. 7.	599	- 1	082	- 2	320	+ 11	826	+ 8	057	+ 25
Mittel	+ 18 598		+ 20 080		+ 13 331		+ 32 834		+ 49 082	

## Südabschnitt

6. 10.	+ 25 089	+ 14	+ 28 594	+ 15	+ 21 978	- 16	+ 43 560	- 36	+ 58 845	- 116
7. 10.	107	- 4	615	- 6	951	+ 11	514	+ 10	653	+ 76
8. 10.	106	- 3	601	+ 8	950	+ 12	517	+ 7	710	+ 19
9. 10.	109	- 6	625	- 16	967	- 5	506	+ 18	708	+ 21
Mittel	+ 25 103		+ 28 609		+ 21 962		+ 43 524		+ 58 729	

Tabelle 6. Zusammenstellung der ausgeglichenen Ergebnisse der Interferenzmessungen 1960 für die Abstände der Zentrierstangen

I	2	3	4	5	6	7	8	9	10	II
Datum	0-6	v	0-24	v	0-72	v	0-216	v	0-7432	v
	$\mu$	$\mu$								

Nordabschnitt

24. 7.	+ 18496	+ 10	+ 20071	+ 9	+ 13224	+ 7	+ 32608	+ 1	+ 48917	+ 14
25. 7.	501	+ 5	078	+ 2	—	—	634	-25	993	-62
26. 7.	511	- 5	082	- 2	234	- 3	568	+ 41	868	+ 63
27. 7.	516	- 10	090	- 10	236	- 5	627	- 18	945	- 14
Mittel	+ 18506		+ 20080		+ 13231		+ 32609		+ 48931	

Südabschnitt

3. 8.	+ 25007	$\pm$ 0	+ 28662	- 2	—	—	+ 43614	- 1	+ 58646	- 54
4. 8.	002	+ 5	653	+ 7	+ 22362	+ 14	559	+ 54	511	+ 81
5. 8.I	007	$\pm$ 0	660	$\pm$ 0	381	- 5	635	- 22	577	+ 15
5. 8.II	011	- 4	663	- 3	386	- 10	644	- 31	635	- 43
Mittel	+ 25007		+ 28660		+ 22376		+ 43613		+ 58592	

Tabelle 7. Zusammenstellung der ausgeglichenen Ergebnisse der Interferenzmessungen 1961 für die Abstände der Zentrierstangen

I	2	3	4	5	6	7	8	9	10	II
Datum	0-6	v	0-24	v	0-72	v	0-216	v	0-432	v
	$\mu$	$\mu$								
Nordabschnitt										
2. 3.	+ 18431	— 1	+ 20107	— 13	+ 13205	— 13	+ 31465	— 7	+ 48781	— 13
3. 3. I	(439)		(121)		(257)		(660)		(49135)	
3. 3. II	433	— 3	101	— 7	199	— 7	484	— 26	48782	— 14
13. 3.	445	— 15	112	— 18	206	— 14	485	— 27	809	— 41
15. 3.	447	— 17	100	— 6	205	— 13	468	— 10	782	— 14
20. 3.	430	± 0	084	+ 10	188	+ 4	449	+ 9	763	+ 5
21. 3.	416	+ 14	072	+ 22	169	+ 23	410	+ 48	683	+ 85
23. 3.	406	+ 24	082	+ 12	174	+ 18	442	+ 16	773	— 5
Mittel	+ 18430		+ 20094		+ 13192		+ 31458		+ 48768	

Tabelle 8. Ergebnisse der Interferenzmessungen 1963  
Mit ausgeglichenen Temperaturkorrekturen 0-1-6-24 (Faktor 0,855)

I	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Datum	0-6	v	0-24	v	0-72	v	0-216	v	0-432	v
	$\mu$									

Nordabschnitt										
1963										
29. 5. I	+ 18386	0	+ 20066	+ 2	+ 13129	+ 5	+ 31666	0	+ 48799	+ 19
29. 5. II	384	+ 2	069	- 1	141	- 7	681	- 15	846	- 28
30. 5.	386	0	073	- 5	136	- 2	677	- 11	877	- 59
31. 5.	389	- 3	065	+ 3	131	+ 3	641	+ 25	752	+ 66
Mittel	+ 18386	$\pm 1$	+ 20068	$\pm 2$	+ 13134	$\pm 3$	+ 31666	$\pm 9$	+ 48818	$\pm 27$

Südabschnitt										
1963										
17. 5.	+ 24502	0	+ 28617	- 2	+ 22824	0	+ 43597	- 36	+ 58200	- 49
20. 5.	503	- 1	610	+ 5	790	+ 34	466	+ 95	+ 57942	+ 209
21. 5.	502	0	621	- 6	838	- 14	605	- 44	+ 58248	- 97
22. 5.	502	0	613	+ 2	823	+ 1	543	+ 18	+ 58107	+ 44
24. 5. I	503	- 1	619	- 4	845	- 21	614	- 53	+ 58279	- 128
24. 5. II	502	0	611	+ 4	823	+ 1	539	+ 22	+ 58133	+ 18
Mittel	+ 24502	$\pm 0$	+ 28615	$\pm 2$	+ 22824	$\pm 8$	+ 43561	$\pm 23$	+ 58151	$\pm 50$

Tabelle 9. Zusammenstellung der Abstände zwischen den UF im Horizont von UF A

1	2	3	4
	UF A-UF B	UF B-UF C	UF A-UF C
	mm	mm	mm
1958 Juli/Okt.	432031,76 ± 0,04	432032,79 ± 0,05	864064,54 ± 0,07
1960 Juli/Aug.	432031,44 ± 0,06	432032,94 ± 0,07	864064,38 ± 0,09
1961 März	432031,41 ± 0,04	432032,81 ± 0,04	864064,22 ± 0,05
1963 Mai	432031,38 ± 0,04	432032,75 ± 0,05	864064,13 ± 0,07

Tabelle 10. Bestimmung der Pfeilerbewegungen

1	2	3	4	5	6	7	8
Datum	0-6		0-24		0-72		b
	v'	v	v'	v	v'	v	
	μ	μ	μ	μ	μ	μ	μ
2. 3.	- 1	+ 8	- 13	- 4	- 13	- 4	- 9
3. 3. II	- 3	+ 2	- 7	- 2	- 7	- 2	- 5
13. 3.	- 15	+ 1	- 18	- 2	- 14	+ 2	- 16
15. 3.	- 17	- 5	- 6	+ 6	- 13	- 1	- 12
20. 3.	± 0	- 5	+ 10	+ 5	+ 4	- 1	+ 5
21. 3.	+ 14	- 6	+ 22	+ 2	+ 23	+ 3	+ 20
23. 3.	+ 24	+ 6	+ 12	- 6	+ 18	± 0	+ 18

Tabelle 11. Änderungen der Abstände der Interferenzpfeiler von den Pfeilern 0 von 1958-1963

1	2	3	4	5	6	7	8
Strecke	Juli/Okt. 1958	$\Delta_{4-2}$	Juli/Aug. 1960	$\Delta_{6-4}$	März 1961	$\Delta_{8-6}$	Mai 1963
	mm	1/100 mm	mm	1/100 mm	mm	1/100 mm	mm
Nordabschnitt							
0-6	+ 18,60	- 9	+ 18,51	- 8	+ 18,43	- 4	+ 18,39
0-24	+ 20,08	$\pm$ 0	+ 20,08	+ 1	+ 20,09	- 2	+ 20,07
0-72	+ 13,33	- 10	+ 13,23	- 4	+ 13,19	- 6	+ 13,13
0-216	+ 32,83	- 22	+ 32,61	-	+ 31,46 <sup>1</sup>	+ 21	+ 31,67
0-432	+ 49,08	- 15	+ 48,93	- 16	+ 48,77	+ 5	+ 48,82
Südabschnitt							
0-6	+ 25,10	- 9	+ 25,01		<sup>3</sup>	$\Delta_{8-6}$ - 51	+ 24,50
0-24	+ 28,61	+ 5	+ 28,66			- 4	+ 28,62
0-72 <sup>2</sup>	+ 21,96	+ 42	+ 22,38			+ 44	+ 22,82
0-216	+ 43,52	+ 9	+ 43,61			- 5	+ 43,56
0-432	nicht vergleichbar						

<sup>1</sup> Keine Pfeilerbewegung, sondern Lageänderung der Zentrierstange auf dem Pfeiler. <sup>2</sup> Pfeiler steht in etwa 2 m tiefer Grube. <sup>3</sup> 1961 nicht gemessen

Tabelle 12

1	2	3	4	5	6
Pfeiler	Nordabschnitt			Südabschnitt	
	1958-1960	1960-1961	1961-1963	1958-1960	1960-1963
	1/100 mm	1/100 mm	1/100 mm	1/100 mm	1/100 mm
0	- 9	- 6	+ 2	- 9	+ 3
6	0	+ 2	+ 6	- 18	- 48
24	- 9	- 7	+ 4	- 4	- 1
72	+ 1	- 2	+ 8	+ 33	+ 47
216	+ 13	- <sup>1</sup>	- 19	0	- 2
432	+ 6	+ 10	- 3	- <sup>2</sup>	- <sup>2</sup>

Positive Vorzeichen bedeutet eine Bewegung nach Norden!

<sup>1</sup> 1960 Lageänderung der Zentrierstange auf dem Pfeiler!

<sup>2</sup> Streckenlängen nicht vergleichbar!

Tabelle 13. Normalstrecke Ebersberg  
Lageänderungen der Jäderinpfähle in 0,1 mm

Nr.	1958	1959	1960	1961	1962
0	-1	0	-2	0	
1	0	-2	0	0	
2	0	0	+1	-1	
3	0	0	0	0	
4	-1	-1	0	0	
5	0	0	0	0	
6	-1	-2	-1	-1	
7	0	0	0	0	
8	0	0	0	+1	
9	+1	-1	0	-1	
10	+2	+1	0	0	
11	0	-1	+1	-1	
12	0	0	+1	-1	
13	+1	0	+1	0	
14	-1	0	0	0	
15	0	+1	0	0	
16	-1	+1	0	+2	
17	-1	-1	0	+1	
18	0	+2	-2	+1	
19	0	+1	+1	+1	
20	0	+2	0	0	
21	0	0	0	0	
22	-1	-1	0	0	
23	+2	0	+1	+1	
24	0	-1	0	+1	
25	0	0	0	+1	
26	0	0	+1	+1	
27	0	+1	-1	0	
28	0	+2	0	0	
29	0	+1	0	0	
30	+1	0	0	0	
31	+1	0	0	+1	
32	0	-1	0	0	
33	+10 <sup>1</sup>	0	+2	-3	
34	+3	-1	0	0	
35	-1	0	-1	+1	
36	0	-2	-2	0	

<sup>1</sup> Kein Rechenfehler! Überlanger Pfahl in 2 m tiefer Grube.

<sup>2</sup> Jäderinzapfen ersetzt.

Tabelle 14

Strecke zw. UR	r km	29. 4.-10. 5. 1963 1. Messung			27. 5.-31. 5. 1963 2. Messung			1. 7.-4. 7. 1963 3. Messung			20. 8.-26. 8. 1963 4. Messung			16. 9.-18. 9. 1963 5. Messung			11. 10.-16. 10. 1963 6. Messung			Mittel	$\mu_0$ mm/km	$\mu_m$ mm/km
		$\Delta h'$ m v	$\Delta$ mm	$d'$ mm	$\Delta h'$ m v	$\Delta$ mm	$d'$ mm	$\Delta h'$ m v	$\Delta$ mm	$d'$ mm	$\Delta h'$ m v	$\Delta$ mm	$d'$ mm	$\Delta h'$ m v	$\Delta$ mm	$d'$ mm	$\Delta h'$ m v	$\Delta$ mm	$d'$ mm			
1-2	0,46	+ 0,38133 - 11	+ 0,42	+ 0,54	+ 0,38080 + 42	+ 0,73	+ 0,69	+ 0,87	+ 0,12	+ 0,38090 + 32	- 0,44	- 0,61	+ 0,38128 - 06	+ 1,04	+ 0,68	+ 0,38186 - 64	+ 0,63	+ 0,39	+ 0,38122	$\pm 0,55$	$\pm 0,22$	
2-3	0,48	+ 3,51627 - 38	- 0,76	- 0,63	+ 3,51608 - 19	- 0,12	- 0,16	- 0,57	- 1,35	+ 3,51582 + 37	- 0,20	- 0,37	+ 3,51578 + 11	- 0,10	- 0,58	+ 3,51582 + 7	+ 0,36	+ 0,11	+ 3,51589	$\pm 0,37$	$\pm 0,15$	
3-4	0,41	+ 3,47064 - 28	- 0,07	+ 0,04	+ 3,47047 - 11	+ 0,34	+ 0,31	+ 1,18	+ 0,52	+ 3,47000 + 36	- 0,05	- 0,20	+ 3,46990 + 46	+ 0,60	+ 0,19	+ 3,47039 - 3	+ 0,62	+ 0,41	+ 3,47036	$\pm 0,54$	$\pm 0,22$	
4-5	0,40	+ 2,49743 - 15	0,00	+ 0,11	+ 2,49710 + 18	+ 0,60	+ 0,57	+ 0,96	+ 0,31	+ 2,49778 - 50	+ 0,30	+ 0,16	+ 2,49702 + 26	+ 0,27	- 0,13	+ 2,49724 + 4	+ 0,33	+ 0,12	+ 2,49728	$\pm 0,45$	$\pm 0,18$	
5-6	0,45	+ 5,62049 + 67	- 0,32	- 0,20	+ 5,62115 + 1	- 1,10	- 1,14	+ 0,50	- 0,31	+ 5,62182 - 66	- 0,33	- 0,49	+ 5,62116 0	+ 0,62	+ 0,17	+ 5,62124 + 8	+ 0,37	+ 0,14	+ 5,62116	$\pm 0,63$	$\pm 0,26$	
6-7	0,38	+ 4,29777 + 11	- 0,80	- 0,70	+ 4,29792 - 4	+ 0,30	+ 0,27	+ 0,81	+ 0,19	+ 4,29774 + 14	+ 0,67	+ 0,53	+ 4,29800 - 12	+ 0,45	+ 0,07	+ 4,29738 + 50	- 0,25	- 0,45	+ 4,29788	$\pm 0,60$	$\pm 0,24$	
7-8	0,49	+ 3,23682 - 42	+ 0,10	+ 0,23	+ 3,23578 + 62	+ 0,47	+ 0,43	+ 0,54	- 0,25	+ 3,23652 - 12	+ 0,65	+ 0,47	+ 3,23584 + 56	- 0,05	- 0,54	+ 3,23656 - 16	- 0,28	- 0,53	+ 3,23640	$\pm 0,82$	$\pm 0,30$	
8-9	0,82	- 15,26644 + 6	+ 0,17	+ 0,39	- 15,26682 + 32	- 0,05	- 0,12	+ 1,37	+ 0,04	- 15,26650 + 26	+ 0,80	+ 0,50	- 15,26650 0	+ 1,20	+ 0,38	- 15,26620 - 30	- 0,56	- 0,99	- 15,26650	$\pm 0,28$	$\pm 0,09$	
9-11	0,71	- 2,57232 - 23	+ 0,20	+ 0,39	- 2,57230 - 25	- 0,79	- 0,85	+ 1,98	+ 0,83	- 2,57304 + 49	- 0,65	- 0,90	- 2,57310 + 55	+ 0,73	+ 0,02	- 2,57244 - 11	+ 0,86	+ 0,49	- 2,57255	$\pm 0,49$	$\pm 0,20$	
11-12	0,36	- 2,21302 - 18	- 0,33	- 0,23	- 2,21297 - 23	+ 0,70	+ 0,67	+ 0,10	- 0,48	- 2,21305 + 45	+ 0,64	+ 0,51	- 2,21310 - 10	+ 0,06	- 0,30	- 2,21365 + 45	+ 0,32	+ 0,13	- 2,21320	$\pm 0,59$	$\pm 0,24$	
12-1	0,44	- 2,96857 - 3	- 0,10	+ 0,02	- 2,96802 + 32	- 0,80	- 0,84	+ 1,02	+ 0,31	- 2,96849 - 11	+ 0,85	+ 0,69	- 2,96856 - 4	+ 1,45	+ 1,01	- 2,96846 - 14	+ 0,71	+ 0,48	- 2,96860	$\pm 0,24$	$\pm 0,10$	
3-9	1,03	+ 3,85686 - 38	+ 0,17	+ 0,45	+ 3,85658 - 10	- 0,13	- 0,21	+ 1,90	+ 0,23	+ 3,85587 + 61	- 0,38	- 0,75	+ 3,85680 - 32	+ 0,09	- 0,94	+ 3,85619 + 29	- 0,18	- 0,72	+ 3,85648	$\pm 0,37$	$\pm 0,15$	
$\Sigma$	6,43																		Quadrat. Mittelwerte	$\pm 0,52$	$\pm 0,21$	
Fehlerrechnung		mm/km			mm/km			mm/km		mm/km			mm/km			mm/km			Mittelwerte	$\pm 0,35$	mm/km	
$\mu_{1.0} = \pm \sqrt{\frac{1}{4n} \left[ \frac{\Delta \Delta}{r} \right]}$		$\pm 0,29$			$\pm 0,44$			$\pm 0,71$		$\pm 0,39$			$\pm 0,53$			$\pm 0,35$			$\sqrt{\frac{[\mu_{1.0} \mu_{1.0}]}{n}}$	$\pm 0,35$	$\pm 0,47$	
$\mu_{1.2} = \frac{1}{2} \left\{ \left[ \frac{\Delta}{V r} \right] : \left[ \frac{\Delta'}{V r} \right] \right\}$		- 0,13			+ 0,04			+ 0,81		+ 0,18			+ 0,50			+ 0,26			$\frac{[\mu_{1.2}]}{n} = + 0,28$	$\pm 0,41$	$\pm 0,41$	
$\mu_{2.0} = \pm \sqrt{\frac{1}{4n} \left[ \frac{\Delta' \Delta'}{r} \right]}$		$\pm 0,28$			$\pm 0,44$			$\pm 0,38$		$\pm 0,37$			$\pm 0,36$			$\pm 0,31$			$\sqrt{\frac{[\mu_{2.0} \mu_{2.0}]}{n}}$	$\pm 0,36$	$\pm 0,36$	
$\mu_1$ (zuf. Fehler nach internat. Fehlerformel)		$\pm 0,24$			$\pm 0,40$			$\pm 0,39$		$\pm 0,30$			$\pm 0,22$			$\pm 0,19$			$\sqrt{\frac{[\mu_1 \mu_1]}{n}} =$	$\pm 0,30$	$\pm 0,30$	
Schleifenschlußfehler Schleife 1-3-5-7-9-11-1 (L = 5,40 km)		mm + 0,40			- 1,71			+ 1,75		- 2,11			- 2,83			+ 0,55			- 0,66		$\pm 0,36$	$\pm 0,36$
Schleife 1-3-9-11-1 (L = 3,48 km)		+ 0,55			- 0,73			- 0,70		- 2,43			- 1,45			+ 0,13			- 0,76		$\pm 0,30$	$\pm 0,30$
Schleife 3-5-7-9-3 (L = 3,98 km)		- 0,15			- 0,98			+ 2,45		+ 0,32			- 1,38			+ 0,42			+ 0,10		$\pm 0,30$	$\pm 0,30$

Tabelle 15. Ergebnisse nach der Schleifenausgleichung

Strecke	1. Messung $\Delta h$ (m) v (cmm)	2. Messung $\Delta h$ (m) v (cmm)	3. Messung $\Delta h$ (m) v (cmm)	4. Messung $\Delta h$ (m) v (cmm)	5. Messung $\Delta h$ (m) v (cmm)	6. Messung $\Delta h$ (m) v (cmm)	Mittel $\Delta h_m$ (m)	$\mu_0$ mm/km
1—2	+ 0,38126 + 7	+ 0,38095 + 38	+ 0,38117 + 16	+ 0,38123 + 10	+ 0,38154 — 21	+ 0,38183 — 50	+ 0,38133	$\pm 0,46$
2—3	+ 3,51619 — 19	+ 3,51623 — 23	+ 3,51587 + 13	+ 3,51588 + 12	+ 3,51605 — 5	+ 3,51579 + 21	+ 3,51600	$\pm 0,32$
3—4	+ 3,47064 — 27	+ 3,47060 — 23	+ 3,47051 — 14	+ 3,47004 + 33	+ 3,47010 + 27	+ 3,47034 + 3	+ 3,47037	$\pm 0,40$
4—5	+ 2,49743 — 14	+ 2,49723 + 6	+ 2,49753 — 24	+ 2,49714 + 15	+ 2,49722 + 7	+ 2,49719 + 10	+ 2,49729	$\pm 0,25$
5—6	+ 5,62049 + 68	+ 5,62129 — 12	+ 5,62154 — 37	+ 5,62112 + 5	+ 5,62139 — 22	+ 5,62118 — 1	+ 5,62117	$\pm 0,54$
6—7	+ 4,29777 + 13	+ 4,29804 — 14	+ 4,29827 — 37	+ 4,29778 + 12	+ 4,29819 — 29	+ 4,29733 + 57	+ 4,29790	$\pm 0,56$
7—8	+ 3,23682 — 40	+ 3,23593 + 49	+ 3,23660 — 18	+ 3,23657 — 15	+ 3,23608 + 34	+ 3,23650 — 8	+ 3,23642	$\pm 0,48$
8—9	— 15,26645 — 2	— 15,26656 + 9	— 15,26725 + 78	— 15,26614 — 33	— 15,26610 — 37	— 15,26629 — 18	— 15,26647	$\pm 0,47$
9—11	— 2,57243 + 4	— 2,57207 — 37	— 2,57212 — 27	— 2,57252 + 13	— 2,57272 + 33	— 2,57251 + 12	— 2,57239	$\pm 0,31$
11—12	— 2,21308 — 4	— 2,21286 — 26	— 2,21364 + 52	— 2,21284 — 28	— 2,21344 + 32	— 2,21287 — 25	— 2,21312	$\pm 0,57$
12—1	— 2,96864 + 31	— 2,96878 — 55	— 2,96848 + 15	— 2,96826 — 7	— 2,96831 — 2	— 2,96849 + 16	— 2,96833	$\pm 0,45$
3—9	+ 3,85670 — 2	+ 3,85653 + 15	+ 3,85720 — 52	+ 3,85651 + 17	+ 3,85688 — 20	+ 3,85625 + 43	+ 3,85668	$\pm 0,33$
							$\mu_{0,m} =$ (Quadrat. Mittelwert)	$\pm 0,44$

Dozent Dr. I. Schaefer  
Gräufelfing bei München  
Maria-Eich-Straße 120

8. 12. 1955

## Geologisches Gutachten

für das Deutsche Geodätische Forschungsinstitut  
zur Anlage einer 1 km langen Basisvergleichsstrecke in der Nähe Münchens

Bei einer geologischen Beurteilung der in der Umgebung Münchens zur Aufnahme einer Basisvergleichsstrecke in Betracht kommenden Gebiete sind folgende geodätischerseits vorgetragenen Belange zu berücksichtigen:

1. Länge der Basisvergleichsstrecke: 1 km,
2. Länge: a) in möglichst horizontalem Gelände,  
b) nach Möglichkeit in breiter Waldschneise oder Waldlichtung,  
c) in genügender Entfernung von stärkeren Verkehrslinien (Eisenbahn, Hauptstraßen),
3. Richtung: wegen der vorherrschenden Winde Süd-Nord-Richtung bevorzugt,
4. Untergrund: a) in sich fest, Vermeidung von Lockergestein,  
b) im größeren Rahmen möglichst innerhalb einer tektonisch stabilen Zone liegend,  
c) geologisch möglichst gleichartig,
5. Gründungstiefe: Endpunkte und ein Zwischenpunkt: 3-4 m, übrige Zwischenpunkte: 1 m.

Nach diesen Erfordernissen scheidet der ganze Raum nördlich, nordwestlich und nordöstlich von München aus. Schon der hohe Grundwasserstand und die an der Oberfläche anstehenden sehr jungen Gesteinsschichten und Böden raten davon ab.

Im Raum südlich von München liegt hingegen eine breite Zone, in der sich genügend Streckenabschnitte finden, die den gestellten Bedingungen genügen. Um einen günstigen Abschnitt zu ermitteln, seien sie hier aufgezählt und charakterisiert:

Im Westen der Kreuzlinger Forst; östlich der Würm der Forstenrieder Park; östlich der Isar der Perlacher und Grünwalder Forst; dann die Wälder südlich Ottobrunn; daneben der Höhenkirchener Forst; und schließlich im Osten der Ebersberger Forst.

Der größte Teil dieser Waldgebiete liegt auf jungpleistozänem Untergrund, also Gesteinsschichten, die in der letzten Eiszeit zur Bildung kamen. In der Hauptsache handelt es sich dabei um mehr oder weniger sandreiche Grobkiese, deren Mächtigkeit – von N nach S zunehmend – zwischen 16 und 30 m schwankt. Den tieferen Untergrund, auf dem diese letzteiszeitlichen Kiesdecken lagern, bilden Schichten des (obermiozänen und unterpliozänen) Tertiärs, – zumeist in feinsandiger oder sandig-mergeliger bis mergeliger Ausbildung.

Für die Auswahl der Basisstrecke ist aber zu beachten, daß von Süden her in diese aus letzteiszeitlichen Kiesdecken aufgebauten großen Waldgebiete Geländestreifen hereinragen, die von Moränenablagerungen der vorletzten (oder „Riss“-) Eiszeit gebildet werden. Sie sind im Gelände jedoch nicht überall ohne weiteres zu erkennen, da der ursprünglich bestehende (morphologische) Unterschied in der Ausbildung des Reliefs in der geologischen Vergangenheit allmählich verschwunden ist. Der geologische Unterschied ist aber geblieben: Die mittelpleistozänen Moränen heben sich grundlegend von den jungpleistozänen Schottern ab: Jene sind älter und Bildungen der eiszeitlichen Gletscher, diese sind jünger und Ablagerungen der Gletscher-Schmelzwässer. *Die nur im großen ganzen einheitlichen, im einzelnen aber sehr wechselnden Moränengebiete sollten bei der Wahl eines Platzes für die Basisvergleichsstrecke gemieden werden.*

Entsprechend wäre auch nicht zu empfehlen, die Meßstrecke von einem vorletzten-eiszeitlichen Schotterfeld auf ein letzteiszeitliches verlaufen zu lassen. Jedoch ist diese Gefahr deswegen nicht so groß, weil jene größtenteils unter Kultur genommen sind, also ackerbaulich genutzt werden, während größere Wälder, die für die Meßstrecke bevorzugt werden, in der Umgebung Münchens sich vor allem auf letzteiszeitlichem Untergrund finden.

Geologischerseits ist noch im Auge zu behalten, daß die Meßstrecke sich in einem genügenden Abstand von Tal- und Terrassenrändern befindet. Vor allem, wo sie unterschritten werden, kann es zu Massenbewegungen kommen, die sich noch in einem größeren Abstand an der Oberfläche bemerkbar machen können.

Zur *Tektonik* ist folgendes zu sagen: Ob die große Münchener Schotterebene in der Tat ein Senkungsgebiet darstellt, wie es bis heute noch die herrschende Lehrmeinung ist, kann hier unberücksichtigt bleiben. Die Meßstrecke von 1 km Länge ist gegenüber diesen großräumigen geologischen Senkungsgebieten zu klein, als daß sich auf ihr selbst tektonische Verstellungen würden bemerkbar machen können. Allerdings sollte vielleicht eine Lage an den Rändern der Münchener Schotterebene, deren charakteristische Dreiecksform durch die Orte: Fürstenfeldbruck–Holzkirchen–Moosburg festgehalten wird, gemieden werden. Falls es sich bei der Münchener Ebene wirklich um ein Senkungsgebiet handelte, lägen hier, sozusagen an den Scharnieren der tektonischen Scholle, die labilsten Geländestreifen.

Die Wahl der Himmelsrichtung der Meßstrecke braucht in den genannten Gebieten (im Gegensatz zu den weiter südlich gelegenen) geologischerseits

keine bestimmte Festlegung. Nach den jüngsten geophysikalischen Ermittlungen klingen die alpinen (O–W streichenden) Bewegungslinien weiter südlich aus, und in der Münchener Ebene durchkreuzen sich gewiß *eine ganze Zahl* verschiedenartiger und verschieden gerichteter tektonischer Linien. *Gegen die – geodätischerseits vorgeschlagene – Wahl einer Süd–Nord-Richtung bestehen von der Geologie her keine Bedenken.*

Hiernach, sowie nach Beurteilung aller anderen noch in Betracht kommenden Faktoren, erscheinen für die Wahl einer Meßstrecke in der Umgebung Münchens folgende Räume am geeignetsten:

1. Im Forstenrieder Park, mittlerer Teil, siehe Positionsblatt 713 (Baierbrunn), der Waldstreifen zwischen der Olympiastraße und der von Neuried nach Gauting, – aber nur bis zu einer Linie vom „Denkstein“ bei Punkt 594 (Römersäule) an der Olympiastraße nach Straßenkilometerstein 15 an der Gautinger Straße.

In Vorschlag wäre etwa das Eisen-Geräumb (SW–NO-Richtung) oder das nächst östlich, parallel laufende Geräumb zu bringen oder das diese kreuzende Preysing- und Ludwigsgeräumb, sowie das dazwischen und die nördlich parallel laufenden Geräumbte (diese alle in SO–NW-Richtung).

Die in NO-Richtung ziehenden Schneisen haben eine Neigung von  $8\text{‰}$ , laufen aber mit der geologischen Struktur; die in NW-Richtung ziehenden queren etwas die Schichten, besitzen dafür aber nur die Hälfte des Neigungsbetrages ( $3\text{–}4\text{‰}$ ).

2. Im Forstenrieder Park, östlicher Teil, siehe Positionsblatt 713 (Baierbrunn), das Karolinen-Geräumb und das nächst östlich parallel laufende (SW–NO) bzw. die senkrecht dazu (SO–NW) ziehenden Geräumbte (bei Punkt 578.3, 400 m und 850 m südwestlich parallel dazu).
3. Im Perlacher Forst, mittlerer Teil, siehe Positionsblatt 714 (Grünwald), Mitter-Geräumb (SO–NW) oder Wörnbrunner bzw. Perlach-Geräumb (SW–NO), – und zwar möglichst in der Mitte zwischen Eisenbahn und Hauptstraße (nach Unterhaching) einerseits und Harlachinger Wohngebiet und Unterhachinger Flur andererseits.
4. Im Höhenkirchner Forst, nordwestlicher Teil, siehe Positionsblatt 715 (Hohenbrunn), Lust-Geräumb, etwa zwischen den Punkten 561.2 und 566.0 oder das Grasbrunner Geräumb von Punkt 561.2 nach SW über Punkt 562.5 hinaus oder das Pfaffen-Geräumb, rechts und links von Punkt 566.0.
5. Im großen Ebersberger Forst käme mit Ausnahme eines Randstreifens: nordöstlich Wolfesing – östlich Purfing – östlich Frotzhofen – südlich Obelfing der ganze nordwestliche Sektor in Betracht, siehe Positionsblatt 694 (Anzing), etwa:

Das Frotzenhofener-, Edelöfter-, Hirsch- und Purfinger Hauptgeräumb (OSO–WNW-Richtung), und zwar möglichst die Abschnitte, wo auf dem Positionsblatt der Geräumbname erscheint, – oder das sie hier senkrecht kreuzende Berger-, Oberasbacher- und Unterasbacher-Geräumb (in SSW–NNO-Richtung).

Die engere Wahl unter den hier aufgeführten, näher umgrenzten Räumen zur Aufnahme der Basis-Vergleichsstrecke kann nach geodätischen Belangen oder technischen Rücksichten (incl. An- und Abfahrtsmöglichkeiten, Breite der Waldschneisen etc.) getroffen werden. Die geologischen, tektonischen und bodenkundlichen Unterschiede sind zwischen den oben ausgeschiedenen Räumen nur gering.

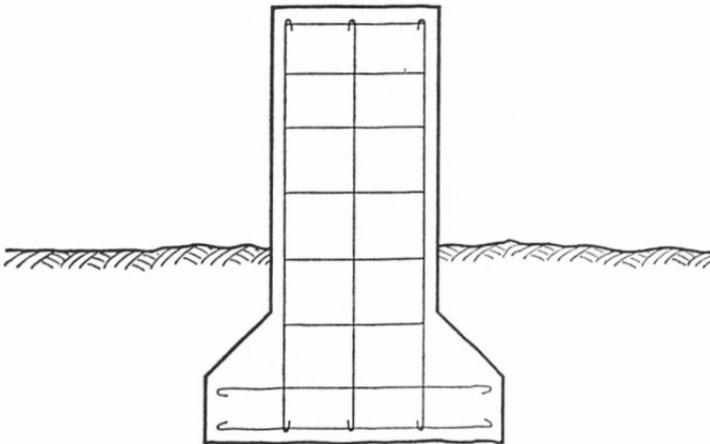
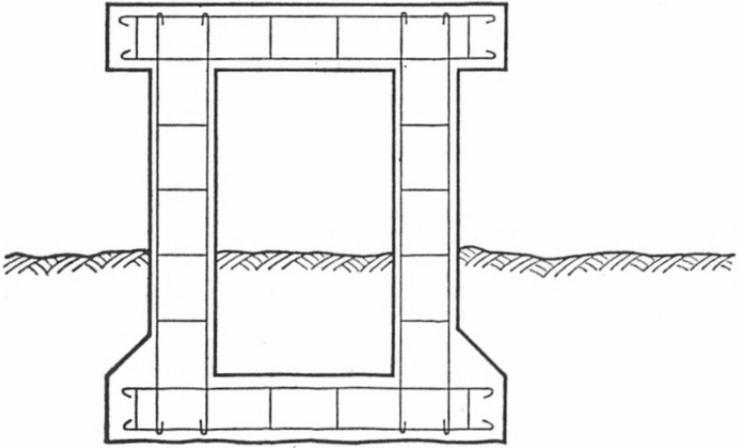
Wollte man den, wie gesagt, noch nicht erwiesenen tektonischen Rahmen der Münchener Ebene außer acht lassen, *könnte man sogar ohne weiteres die genannten Strecken im Ebersberger Forst (in der obigen Rangordnung) an die erste Stelle setzen.*

Zur Gründungstiefe ist zu sagen, daß die ausgeschiedenen Strecken so gewählt wurden, daß bei allen möglichst gleichmäßige und günstige Verhältnisse herrschen und besonders innerhalb jeder einzelnen Strecke keine größeren Abweichungen erfolgen.

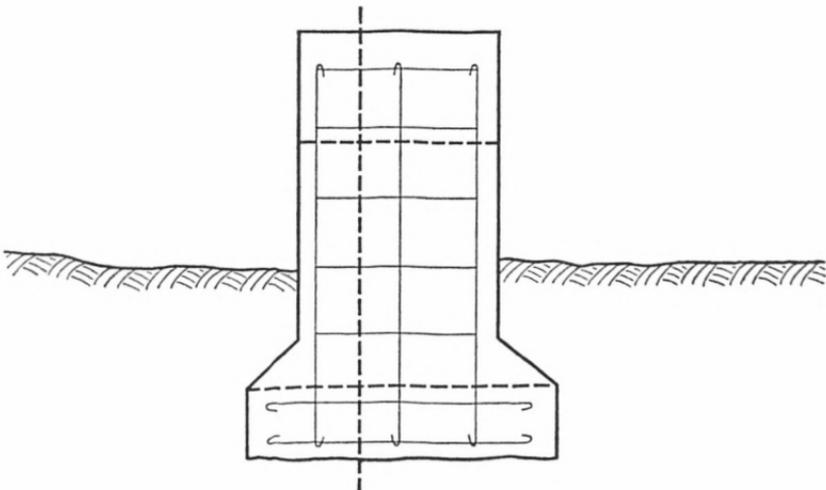
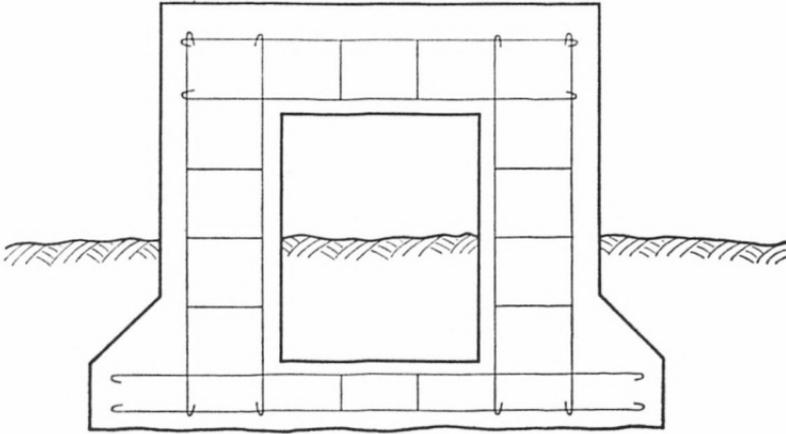
Die Bodendecke (Humus) und die Verwitterungsrinde (meist rotbrauner kiesiger Lehm oder gelblichbrauner Kies) haben im allgemeinen eine Mächtigkeit von zusammen 60–100 cm und nur gelegentlich eine solche bis 120 cm. Darunter liegt das unzersetzte, unveränderte und darum auch frostsichere Grundgestein, das, wie gesagt, zumeist aus mehr oder weniger sandigen Grobkiesen besteht, die einen guten Baugrund darstellen.

gez. Dr. Schaefer

*Interferenzstrecke  
Fernrohrpfeiler  
(Kollimatorpfeiler)*

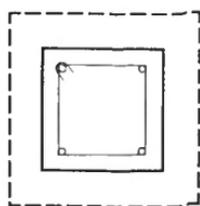
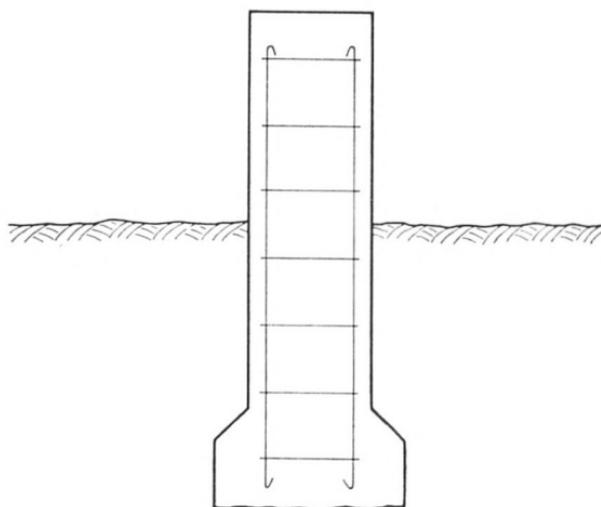


*Interferenzstrecke*  
*Pfeiler "0-1"*



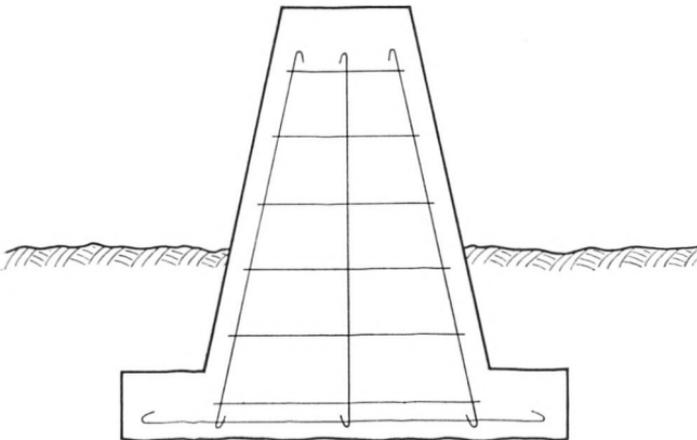
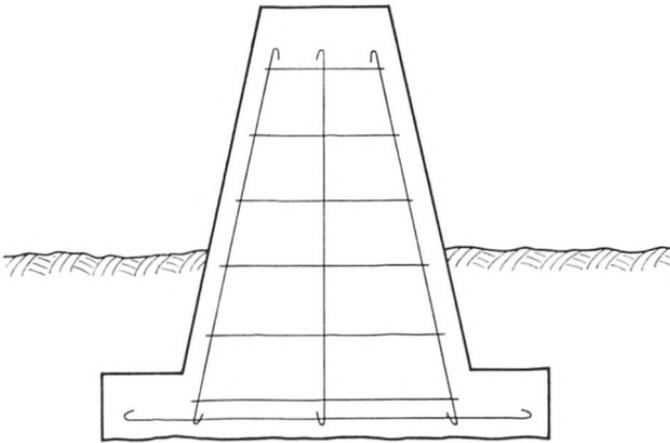
*Interferenzstrecke*

*Pfeiler: 5, 6, 24, 25, 50, 72, 100, 216, 300, 648,  
792, 840, 858 m*



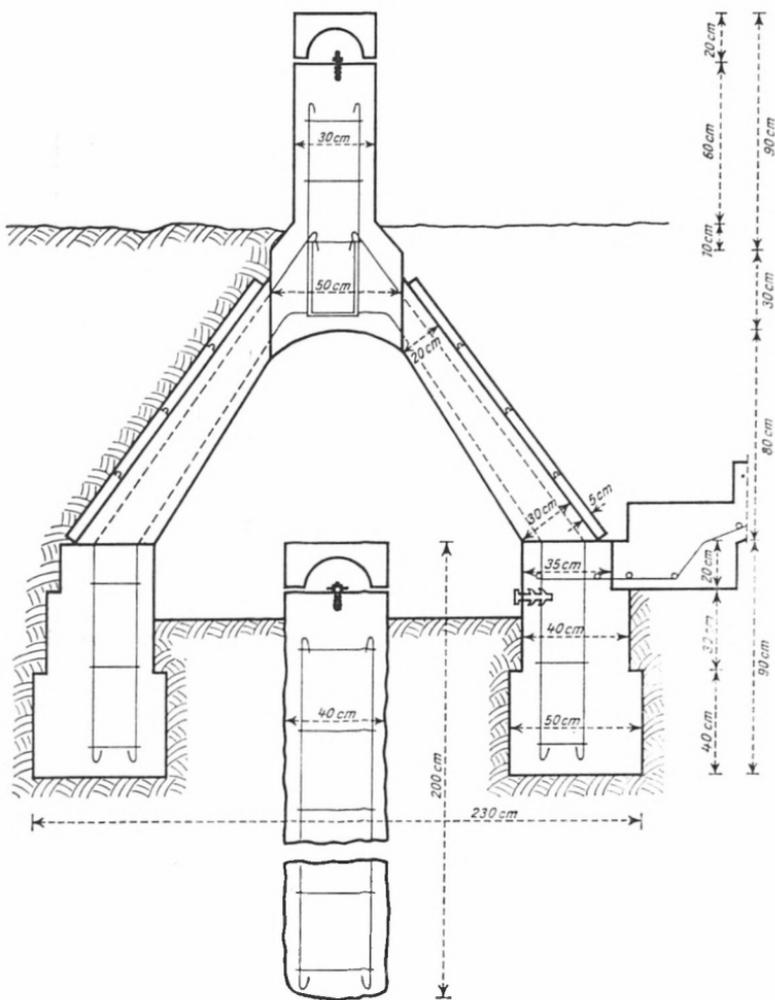
*Interferenzstrecke*

*Pfeiler: 432,600 m*

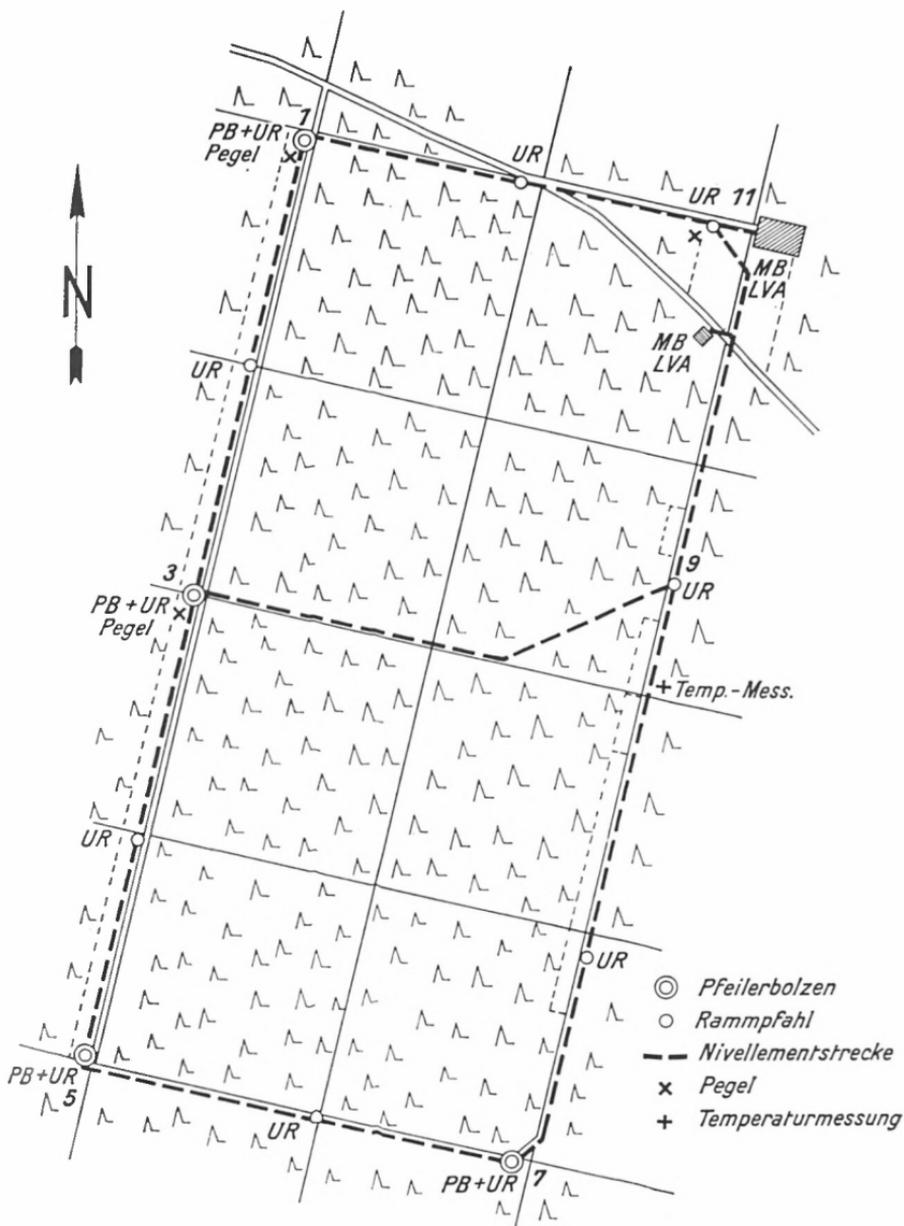




*Festlegung 0,432,864m  
der Invardrahtstrecke  
mit Dittrich'scher Festlegung und  
ständiger oberirdischer Vermarkung*

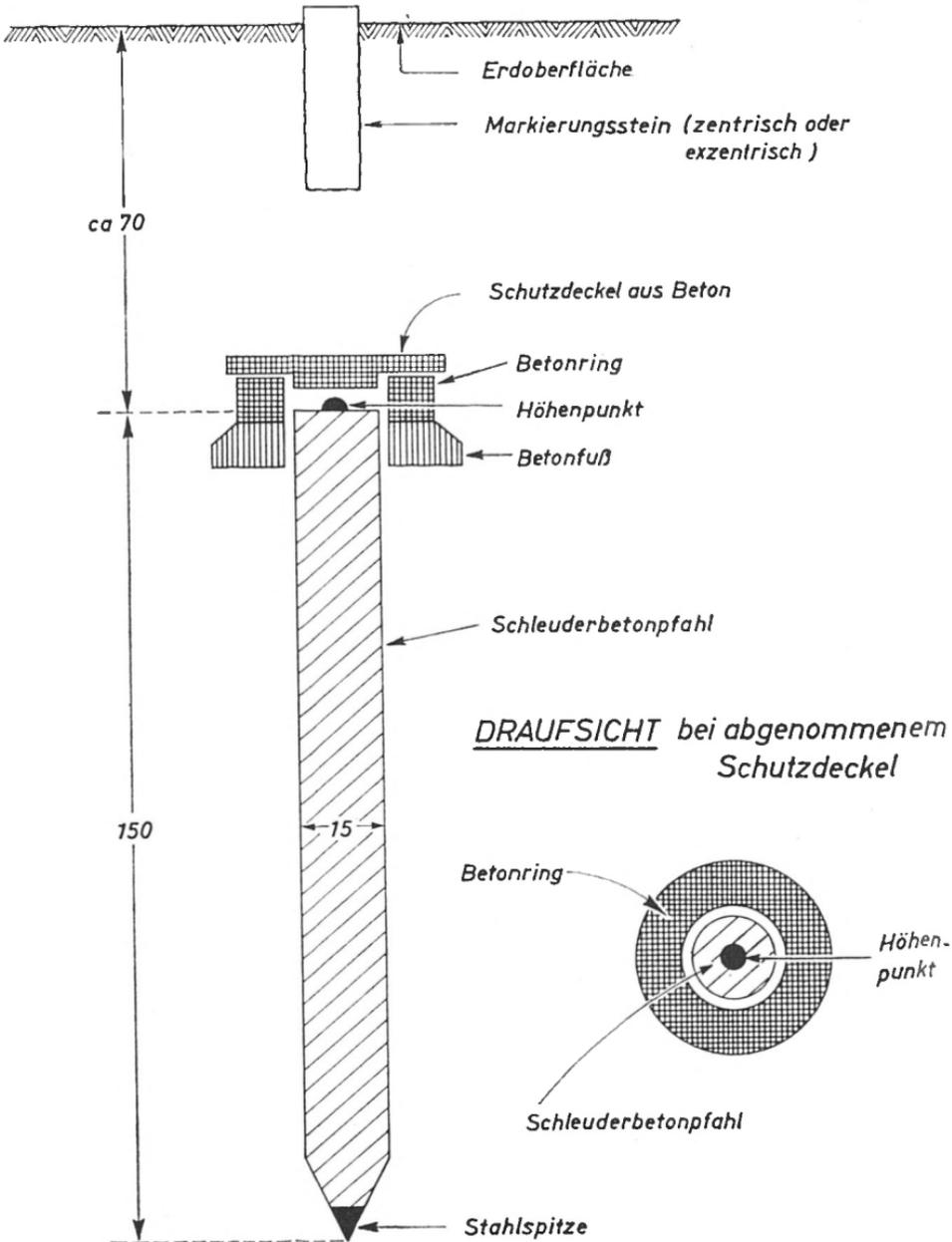




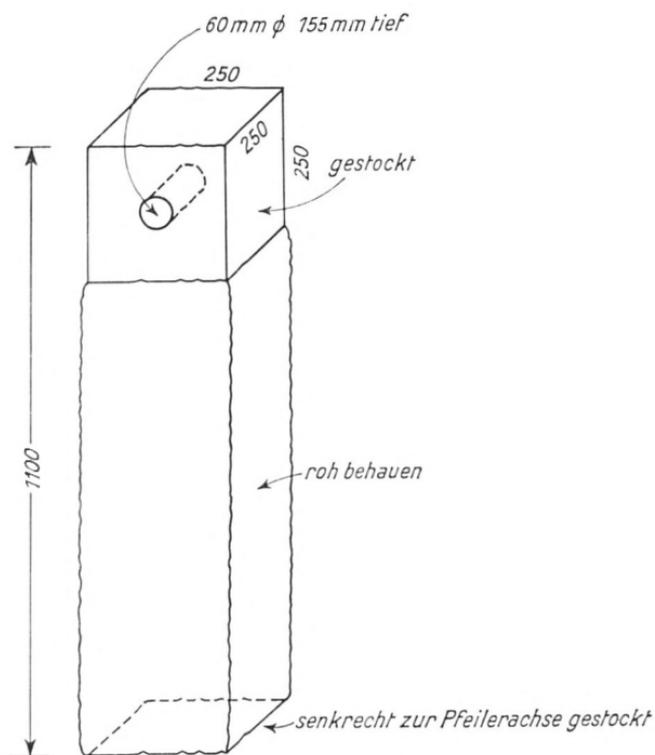


Lageplan der Nivellementstrecke

# UNTERIRDISCHER RAMMPFAHL (UR)



## Nivellementpfeiler



Maße in Millimeter