BAYERISCHE AKADEMIE DER WISSENSCHAFTEN
MATHEMATISCH-NATURWISSENSCHAFTLICHE KLASSE
ABHANDLUNGEN · NEUE FOLGE, HEFT 124

MAX KNEISSL und GERHARD EICHHORN

Geodätische Feinmessungen 1960-1964 im Bereich des Sylvensteinspeichers

Mit 21 Tabellen und 13 Figuren

Vorgelegt am 17. Mai 1965

MÜNCHEN 1966

VERLAG DER BAYERISCHEN AKADEMIE DER WISSENSCHAFTEN
IN KOMMISSION BEI DER C. H. BECK'SCHEN VERLAGSBUCHHANDLUNG

Druck der C. H. Beck'schen Buchdruckerei Nördlingen
Printed in Germany

INHALTSVERZEICHNIS

1. Speicher und Speicherbauwerke 5
1.1 Lage und Größe des Speichers und seine Zweckbestimmung 5
1.2 Die Speicherbauwerke 6
1.2.1. Der Staudamm 7
1.2.2. Das Kavernenkraftwerk 8
2. Geodätische Feinmessungen 1960–1964 zur Untersuchung von Lage- und Höhenänderungen im Bereich des Sylvensteinspeichers 11
2.1 Untersuchung von Lageänderungen 11
2.1.1. Untersuchung von Felsbewegungen 11
2.1.1.1. Triangulation: Erkundung und Vermarkung des trigonometrischen Testnetzes . 11
2.1.1.2. Triangulation: Durchführung und Genauigkeit der Richtungsbeobachtungen . . 15
2.1.1.3. Triangulation: Basismessungen 15
2.1.1.4. Koordinierung der Festpunkte 19
2.1.1.5. Vergleich der ausgeglichenen Koordinaten 20
2.1.1.6. Maßstabsvergleich zwischen den verschiedenen Basismessungen untereinander und mit dem Ergebnis der Koordinierung 21
2.1.1.7. Untersuchung und Diskussion der Lageänderungen der Festpunkte zwischen 1960 und 1964 23
2.1.2. Untersuchung von Lageänderungen der Krone des Staudammes 25
2.1.3. Untersuchung der Lage der Kaverne 26
2.1.3.1. Polygonzug im Zufahrtsstollen 26
2.1.3.2. Lageänderung der Kaverne 27
3. Untersuchung von Höhenänderungen 31
3.1 Ausgangsnivellements und allgemeiner Höhenvergleich 31
3.2 Untersuchung von Höhenänderungen des Staudammes 33
3.3 Untersuchungen von Höhenänderungen im Zufahrtsstollen und in der Kaverne 33
4. Schlußbemerkungen 34

TABELLEN

1 Zusammenstellung der Richtungsbeobachtungen
2 Zusammenstellung der quadratischen Mittelwerte der mittleren Fehler einer beobachteten Richtung
3 Zusammenstellung der ausgeglichenen Koordinaten der Dreieckspunkte
4 Zusammenstellung der ausgeglichenen Koordinaten der Zielmarken

5 a Zusammenstellung und Vergleich der transformierten Koordinaten der Dreieckspunkte

5 b Vergleich der transformierten Koordinaten der Zielmarken und Zusammenstellung der Transformationskonstanten

6 Maßstabsüberprüfung

7 Vergleich der Koordinaten der Polygonpunkte auf dem Damm

8 Vergleich der Strecken des Polygonzuges über den Staudamm

9 Vergleich der Winkel des Polygonzuges über den Staudamm

10 Vergleich der Querabstände der Bordsteinmarken von der Seite TP 8–TP 9

11 Ableitung der Orientierungen der ersten Seite des Stollenpolygonzuges in den verschiedenen Meßreihen

12 Vergleich der Strecken des Polygonzuges im Stollen

13 Vergleich der Winkel des Polygonzuges im Stollen

14 Vergleich der Koordinaten der Polygonpunkte im Stollen

15 Vergleich der Koordinaten der Polygonpunkte und der Zielmarken in der Kaverne

16 Vergleich der Ergebnisse der Pendelmessungen

17 Vergleich der Ergebnisse der Libellenbeobachtung

18 Vergleich der Abstandsmessungen an der Einlaufseite

19 Ergebnisse des Ausgangsnivellements und allgemeiner Höhenvergleich

20 Vergleich der Höhenänderungen der Kontrollpunkte auf dem Staudamm

21 Nivellement Sylvenstein: Kavernenpunkte



Sylvenstein

1. SPEICHER UND SPEICHERBAUWERKE

Der Sylvensteinspeicher, sein Zweck, seine Größe und seine einzelnen Bauwerke, die Bauorganisation, die Baukosten und Finanzierung sind eingehend beschrieben in „Sylvensteinspeicher mit Deutscher Alpenstraße" von ORBR L. Altinger.[1] Dieser Schrift entnehmen wir folgende Einzelheiten:

1.1 LAGE UND GRÖSSE DES SPEICHERS UND SEINE ZWECKBESTIMMUNG

Der Sylvensteinspeicher liegt im oberen Isartal bei Fall (Figur 1) und faßt einen *Speicherinhalt* von

Totraum	5 Mill. cbm
Niederwasseraufbesserung	30 Mill. cbm bis 42 Mill. cbm
Hochwasserrückhalt	70 Mill. cbm bis 58 Mill. cbm
Gesamtinhalt	105 Mill. cbm.

Die *Seefläche* beträgt 6,2 qkm (bei 764,00 m ü. NN).
Der *Stauspiegel* liegt bei:

Tiefste Absenkung	736,40 m ü. NN
Sommer-Normalstau	749,00 m ü. NN
Winter-Normalstau	752,00 m ü. NN
Höchststau	764,00 m ü. NN

Der Freibord beträgt 2,0 m.

Durch den Speicher ist eine Hochwasserrückhaltung bis zu 70 Millionen cbm und eine Köpfung der Isar-Scheitelwassermenge im Unterlauf möglich. Andererseits stehen dadurch auch bis zu maximal 42 Millionen cbm Wasser zur Aufbesserung des Niederwassers zur Verfügung. Die Niederwasserabgabe aus dem Speicher erfolgt über einen Triebwasserstollen und ein *Kraftwerk*, das in einer *Felskaverne* untergebracht ist, wobei mit einer Erzeugung elektrischer Energie von etwa 15 bis 20 Millionen kWh pro Jahr gerechnet wird.

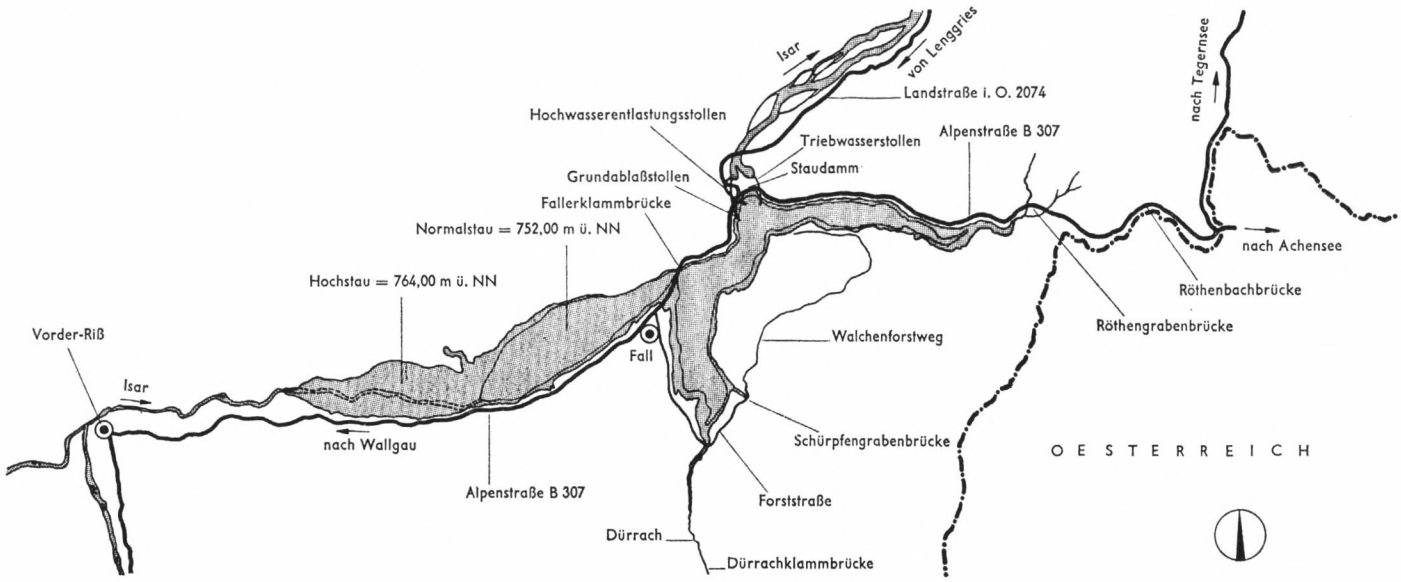
---

[1] Deutsche Bauzeitschrift, März 1964. Dieser Schrift sind mit Zustimmung des Verlags die Figuren 1 mit 6 entnommen.

Zum Bau des Staudammes am Sylvenstein sind noch weitere, sehr eingehende Veröffentlichungen erschienen, auf die hier hingewiesen wird:

1. Krauss, J.: Der Hochwasserspeicher am Sylvenstein. Bautechnik 1958, Heft 6 und 8.
2. Lorenz, W.: Der Staudamm am Sylvenstein mit Dichtungsschürze. Bautechnik 1958, Heft 6 und 8.
3. Vogt, H.: Die maschinellen und elektrischen Anlagen des Hochwasserspeichers am Sylvenstein. Energie 1959, Heft 6.
4. Krauss, J.: Die Ausführung des Staudammes am Sylvenstein. Baumaschinen und Bautechnik 1959, Heft 10.
5. Lorenz, W.: Die Dichtungsschürze des Staudammes am Sylvenstein. Baumaschinen und Bautechnik 1959, Heft 10.
6. Altinger, L.: Sylvensteinspeicher mit großer Alpenstraße. Deutsche Bauzeitschrift 1960, Heft 3.

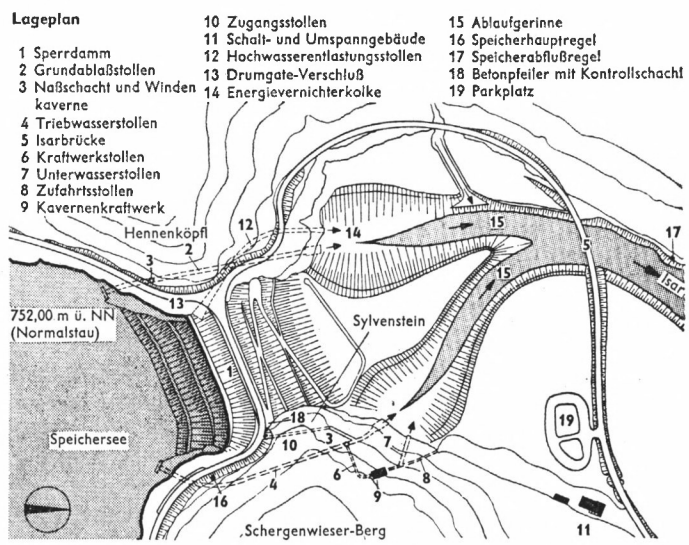
Baubeginn: 1. 4. 1954; Beendigung des Baues: Dezember 1959.
Erster Stau: 19. 4. 1959; Höchststau: 8. 5. 1961.



Figur 1. Übersichtsplan

1.2 DIE SPEICHERBAUWERKE

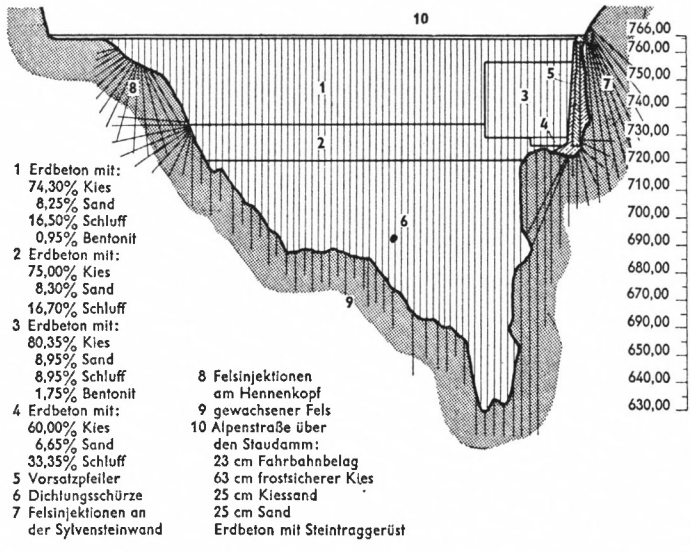
Die Speicherbauwerke sind in dem Übersichtsplan (Figur 2) dargestellt. Sie umfassen im wesentlichen den Staudamm, einen Grundablaßstollen, einen Triebwasserstollen, einen Hochwasserentlastungsstollen, den Kraftwerksstollen, den Unterwasserstollen, den Zufahrtsstollen zur Kaverne, die Kraftwerkskaverne, einen Zugangsstollen zum Unterwasserstollen und schließlich das Schalt- und Umspanngebäude. Weitere Einzelheiten und die Lage der Bauwerke sind der Figur 2 zu entnehmen. Im folgenden sollen kurz die Bauwerke beschrieben werden, auf die sich die geodätischen Feinmessungen erstrecken.



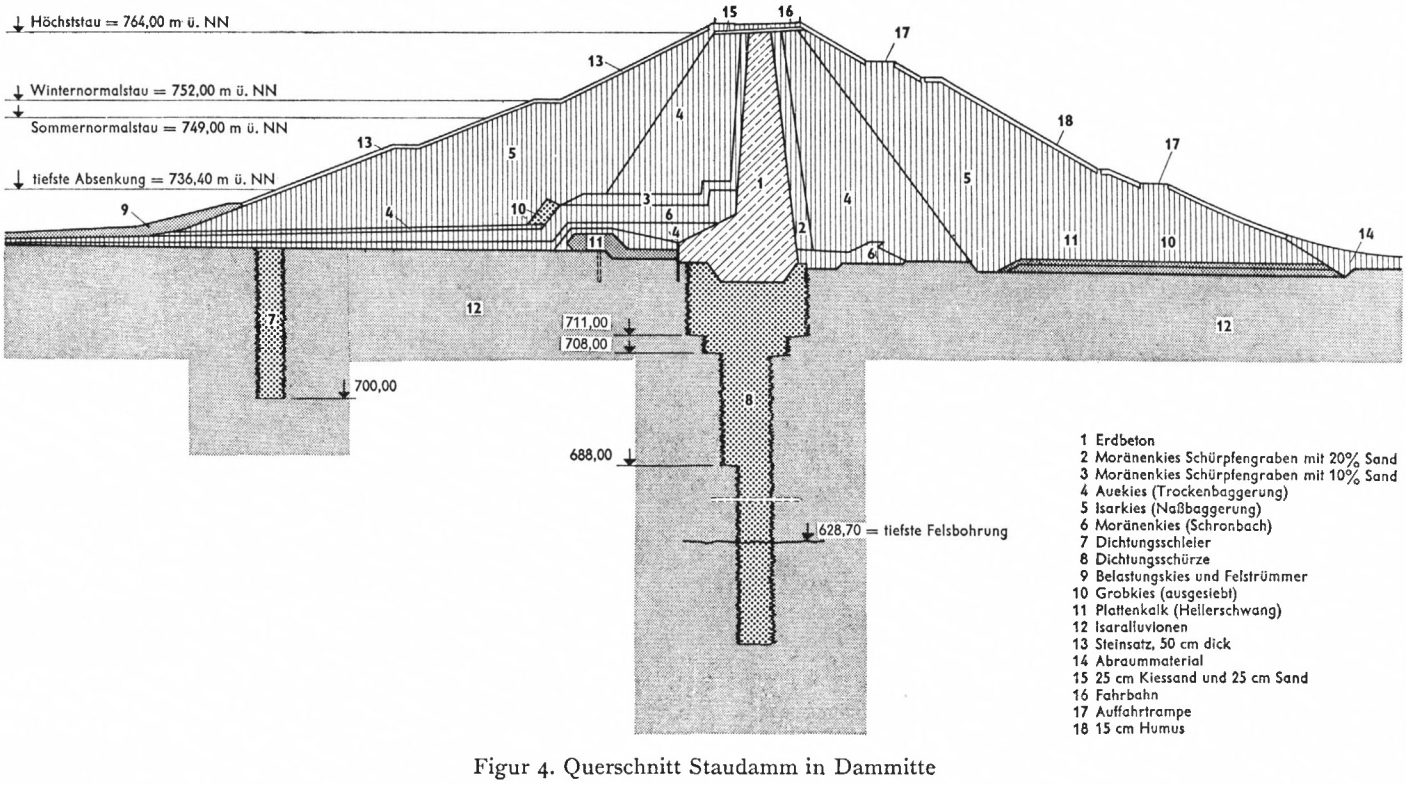
Figur 2. Übersichtslageplan der Speicherbauwerke

1.2.1 *Der Staudamm*

Der Staudamm wurde an einer natürlichen Engstelle errichtet. Das Felstor (Hauptdolomit) ist etwa 150 m breit und schließt etwa in 100 m Tiefe unter dem Flußbett. Wegen der damit verbundenen Gründungsschwierigkeiten schied die Errichtung einer Betonstaumauer aus und man entschied sich für einen Zonen-Erddamm von 42 m Höhe und rund 900000 cbm Inhalt, dessen Aufbau in den Figuren 3 und 4 schematisch dargestellt ist. Da in der



Figur 3. Längsschnitt Staudamm in Längsachse



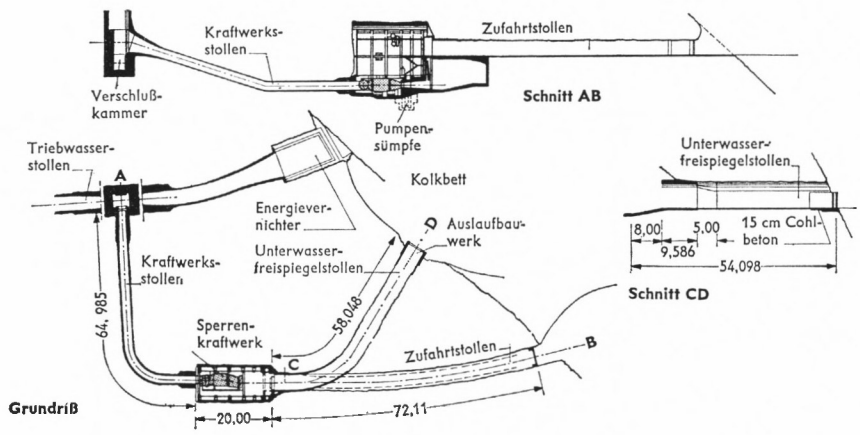
Figur 4. Querschnitt Staudamm in Dammitte

Folge hinsichtlich der Standfestigkeit des Staudammes Bedenken entstanden, sollte diese mit Hilfe geodätischer Feinmessungen untersucht werden.

1.2.2 *Das Kavernenkraftwerk*

Das Kraftwerk ist in einer Felskaverne untergebracht, die etwa 50 m Abstand vom Triebwasserstollen hat. Das Stollensystem und die Lage der Kaverne zeigt Figur 5. In die Kavernenkalotte wurde ein unbewehrtes Betongewölbe von 60 cm Dicke bei einer Stützweite von 10,5 m eingezogen, das die Lasten der Auflockerungsglocke von etwa 46 t/qm trägt. Herr Altinger schreibt zum Ausbau und zur Verankerung der Kaverne im Fels folgendes:

„Nach Vorschlag und Berechnung des Ing.-Geologen Dr. Müller, Salzburg, die Tracht, Schichtung, Klüfte, Durchtrennungsgrad, Teilbeweglichkeit, Gesteinsdruckfestigkeit, Gebirgsfestigkeit sowie elastische, Kriech- und Fließeigenschaften des Gebirges berücksichtigen, wären Sicherungskräfte im Ausmaß von rund 14 t/qm in waagrechter oder flach

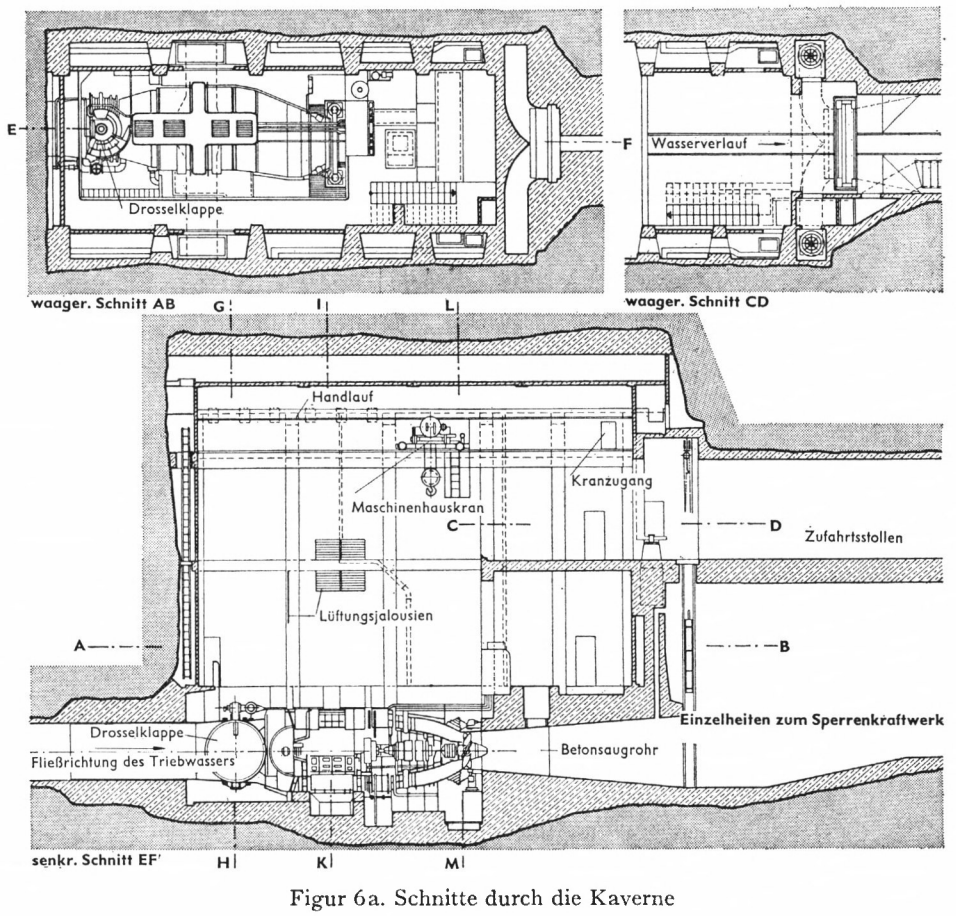


Figur 5. Gesamtübersicht Sperrenkraftwerk

ansteigender Richtung aufzubringen gewesen. Sie wurden auf die Hälfte reduziert, weil die Spannungsumlagerungen im Gebirge sehr langsam vor sich gehen. Die restlichen 7 t/qm wurden durch den Einbau einer Reihe von vorgespannten Zugankern aufgenommen. Es bleibt hinreichend Zeit, das Verhalten des Felsens zu beobachten und, falls erforderlich, später die Felssicherungen durch Zusatzanker zu verstärken. Es ergaben sich zunächst 42 Vorspannanker (insgesamt 435 lfd. m) mit je 50 t Zug. Ein Anker (System Polensky und Zöllner) besteht aus einem Bündel (15 Stück) oval gerippter Sigma-Stähle (St 145/160). Die Vorspannkräfte verhindern die zukünftig auftretenden Spannungsumlagerungen im Fels, so daß weder Formänderungen noch Auflockerungen stattfinden. Die Ankerlängen (7,6 bis 15,7 m) sind sowohl nach den gefügebedingt zu erwartenden Gleitflächen und Lockerungsbereichen, als auch nach den Stellen der größten Spannungsumlagerungen festgelegt. Die rückwärtige Verpreßstrecke der Anker von 2 m Länge liegt in einer Zone unzerrütteten Gesteins, die durch optische Sondierung der Bohrlöcher (105 mm ∅) vorher geprüft wurde. Die Ankerrichtungen vermeiden eine Parallelität der Bohrlöcher mit Kluftscharen, das Herausziehen von Gesteinskeilen zwischen 2 Kluftscharen in der Ankerzone und die Ausbildung ungünstiger Kraftrichtungen im statischen System. Weiterhin werden die Anker bei einem späteren Verguß hauptsächlich auf Zug und möglichst wenig auf

Scherung beansprucht. Pressen spannten jeden Anker nach Erhärtung der Endbefestigung auf 50 t Zug vor. Sodann erfolgte die Bitumen-Verpressung der Spannteile in den Kranbahnpfeilern, die als kraftverteilende Balken die Zugkräfte als Drücke in den Felsen einleiten. Ihre doppelseitige Bewehrung überbrückt den Ausfall eines Ankers und kann beim Einziehen zusätzlicher Anker den Wechsel eines Feldmomentes in ein Stützmoment aufnehmen. Die zwischen Ankerfuß und Ankerkopf befindliche Strecke wurde zunächst frei gelassen, um die Einleitung unkontrollierbarer, konzentrierter Spitzenbeanspruchungen in den Ankerstahl, hervorgerufen durch Formänderungen im Gestein, auszuschalten. Auch sollen sie ihre freie Bewegungsmöglichkeit und damit ihre Vorspannkräfte beibehalten, wenn sich die Lage des Gesteins unter dem Einfluß der Ankerkräfte verändert. Die offenen Ankerlängen wurden durch Umwicklung mit Jutebahnen und Bitumenanstriche vor Rost geschützt; später können die Bohrlöcher mit Bitumen oder Zement vergossen werden.

In den Feldern zwischen den Kranbahnstützen wären nach Einleitung der Ankerkräfte nur mehr Ablösungen und Lockerungen kleiner Teilschollen möglich, die von der zwiebelförmigen Druckausbreitung der Stützenreaktion nicht erfaßt werden. Bewehrte Stahlbetonplatten, eingespannt zwischen den Kranbahnstützen, bringen die notwendigen Rückstellkräfte (0,7 bis 1,0 t/qm) auf. Sie halten auch die Abwitterung des Felsens infolge Temperaturunterschieds zurück. Die beiden Stirnwände erwiesen sich ohne Sicherungsmaßnahmen wegen der günstigen Winkelbeziehung zwischen den Gesteinswänden und den Kluftrichtungen standfest. Den Kraftwerksraum umgeben gemauerte Wände und eine

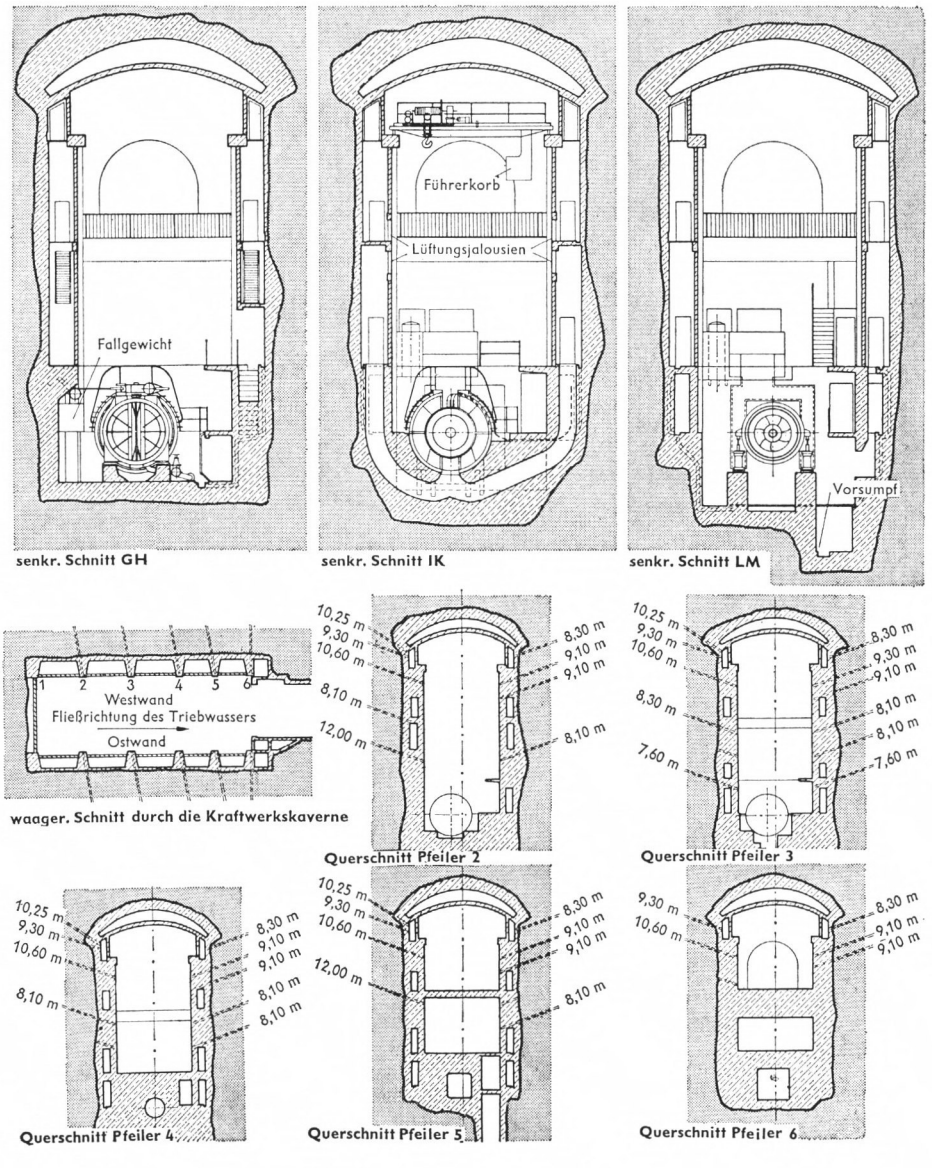


Figur 6a. Schnitte durch die Kaverne

isolierte Stahlbetonzwischendecke. Der Raum zwischen Innen- und Außenwänden ist zu Kontrollzwecken begehbar."

Die Höhe der Kaverne ergab sich einerseits aus der hochwasserfreien Lage des Zufahrtsstollens und der Montagemindesthöhe des Laufkrans und andererseits aus dem tiefsten zulässigen Unterwasserspiegel für die Lage der Turbinenachse. Im übrigen unterrichten über die Ausmaße und die Einzelausführung der Kaverne die Schnitte in Figur 6.

Zur Untersuchung der Standfestigkeit der Kaverne, insbesondere im Hinblick auf ihre Verankerung im Fels durch die Vorspannanker sollten im Sinne der oben geforderten Beobachtung des Verhaltens des Felsens und des Gebirges ebenfalls geodätische Feinmessungen durchgeführt werden. Die Kaverne ist durch den etwa 75 m langen Zufahrtsstollen zugänglich. Der Zufahrtsstollen wurde im Rohausbruch belassen, so daß überall der Fels freiliegt. Dieser ist übrigens auch an der hinteren Stirnwand der Kaverne zugänglich. Beim



Figur 6b. Schnitte durch die Kaverne

Ausgang der Kaverne verläuft der Zufahrtsstollen etwa 20 m lang gemeinsam mit dem Unterwasserstollen als zweigeschossiger Stahlbetonrahmen. Auf der betonierten Sohle ist ein Schmalspurgleis für Plattformwagen verlegt, das durch den ganzen Zufahrtsstollen führt.

2. GEODÄTISCHE FEINMESSUNGEN 1960–1964 ZUR UNTERSUCHUNG VON LAGE- UND HÖHENÄNDERUNGEN IM BEREICH DES SYLVENSTEINSPEICHERS

Durch geodätische Feinmessungen im Bereich des Sylvensteinspeichers sollten

1. die Lage und Höhe der Krone des Staudammes,
2. die Lage und Höhe der Kraftwerkskaverne

über mehrere Jahre hinweg auf etwaige Änderungen untersucht werden. Bei der Untersuchung etwaiger Lage- und Höhenänderungen eines Bauwerkes ist zu überprüfen, ob sich das ganze Bauwerk mit seiner Umgebung oder nur relativ gegenüber seiner Umgebung ändert und ob meßbare Veränderungen innerhalb des Bauwerks auftreten.

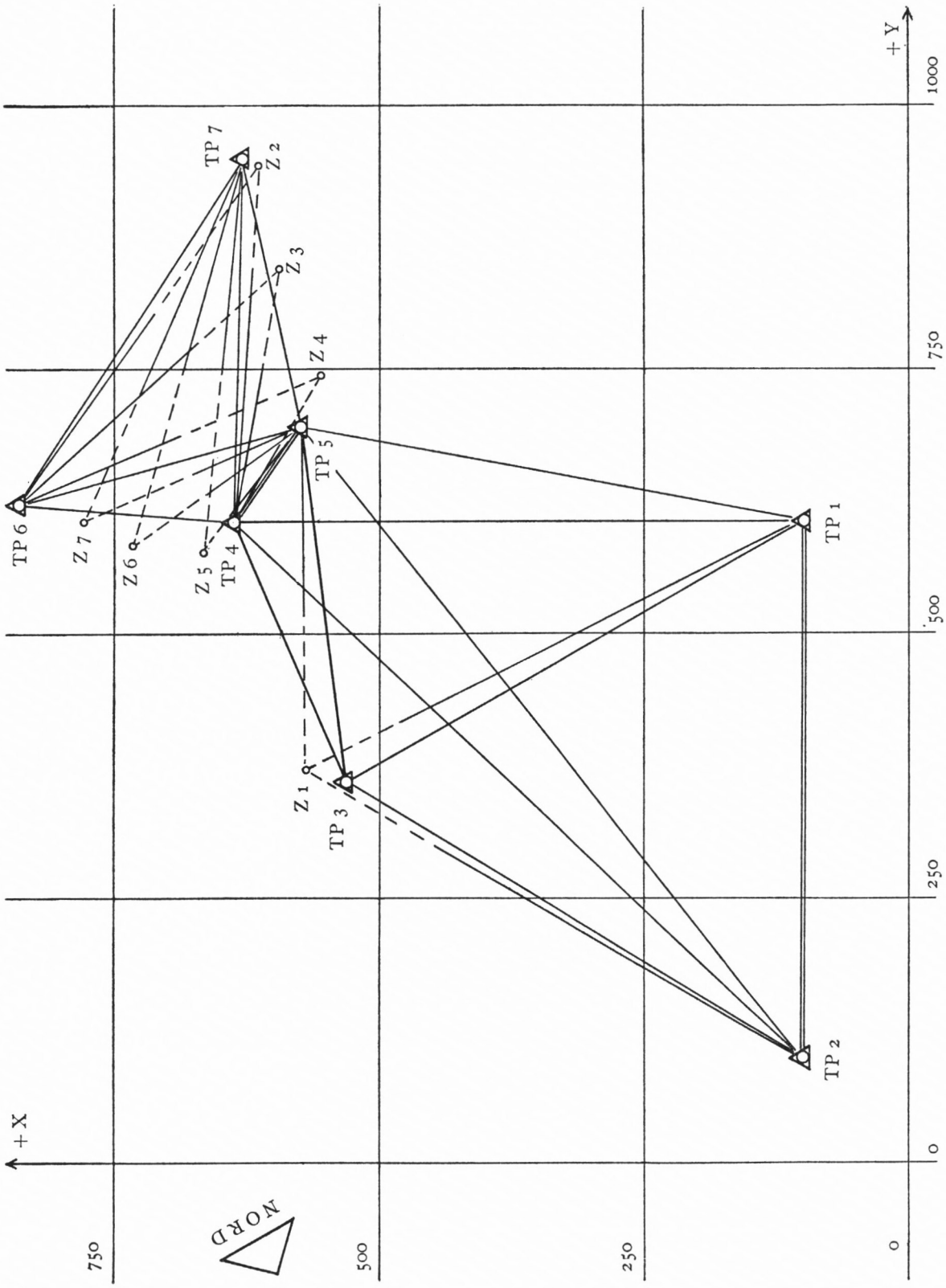
Um die erste Frage klären zu können, wurde zunächst versucht, die Unveränderlichkeit des Gebirgsstockes im Bereich des in Figur 2 dargestellten Geländes zu untersuchen. Bei der geodätischen Überprüfung von etwaigen Bewegungen eines Gebirgsstockes ist darauf hinzuweisen, daß die Bewegungen stets sehr klein und in der Regel nur relative Änderungen einzelner Festpunkte gegeneinander zu erfassen sind, weil sich im Falle von Bewegungen des ganzen Gebirgsstockes auch die Vermessungsausgangspunkte und Beobachtungsstandpunkte mitverändern. Andererseits können langsam ablaufende, gleichmäßige Bewegungen eines ganzen Gebirgsstockes kaum die Standfestigkeit eingebetteter Bauwerke gefährden. Gleichmäßige geringfügige Hebungen oder Senkungen, gleichmäßige Horizontalbewegungen, ja selbst Schollenkippungen bringen kaum Gefahr. Dagegen sind relative Bewegungen einzelner Gebirgsstöcke gegeneinander oder sprunghafte Änderungen sehr zu beachten. Mit Rücksicht auf die Größenordnung der zu erwartenden Lageänderungen wurden die Vermarkungen und die Vermessungen so angeordnet, daß auf dem Damm selbst und besonders in der Kaverne relative und gegenseitige Lageänderungen von etwa 0,5 bis 1,0 mm durch Präzisionspolygonierungen noch erfaßt werden konnten, während man sich hinsichtlich der gegenseitigen Lage der Punkte des Dreiecksnetzes, das das gesamte zu untersuchende Gebiet umspannt, mit einer Genauigkeit von etwa $\pm$ 3 mm begnügte. Die Höhenbestimmungen wurden mit einer Genauigkeit von etwa $\pm$ 0,1 bis $\pm$ 0,2 mm zwischen benachbarten Festpunkten durchgeführt.

2.1 UNTERSUCHUNG VON LAGEÄNDERUNGEN

2.1.1 *Untersuchung von Felsbewegungen*

2.1.1.1 *Triangulation: Erkundung und Vermarkung des trigonometrischen Testnetzes*

Für die Überprüfung etwaiger Fels- und Bodenbewegungen im Bereich des Sylvensteinstaudammes wurde ein örtliches Dreiecksnetz erkundet und dauerhaft vermarkt. Es bestand

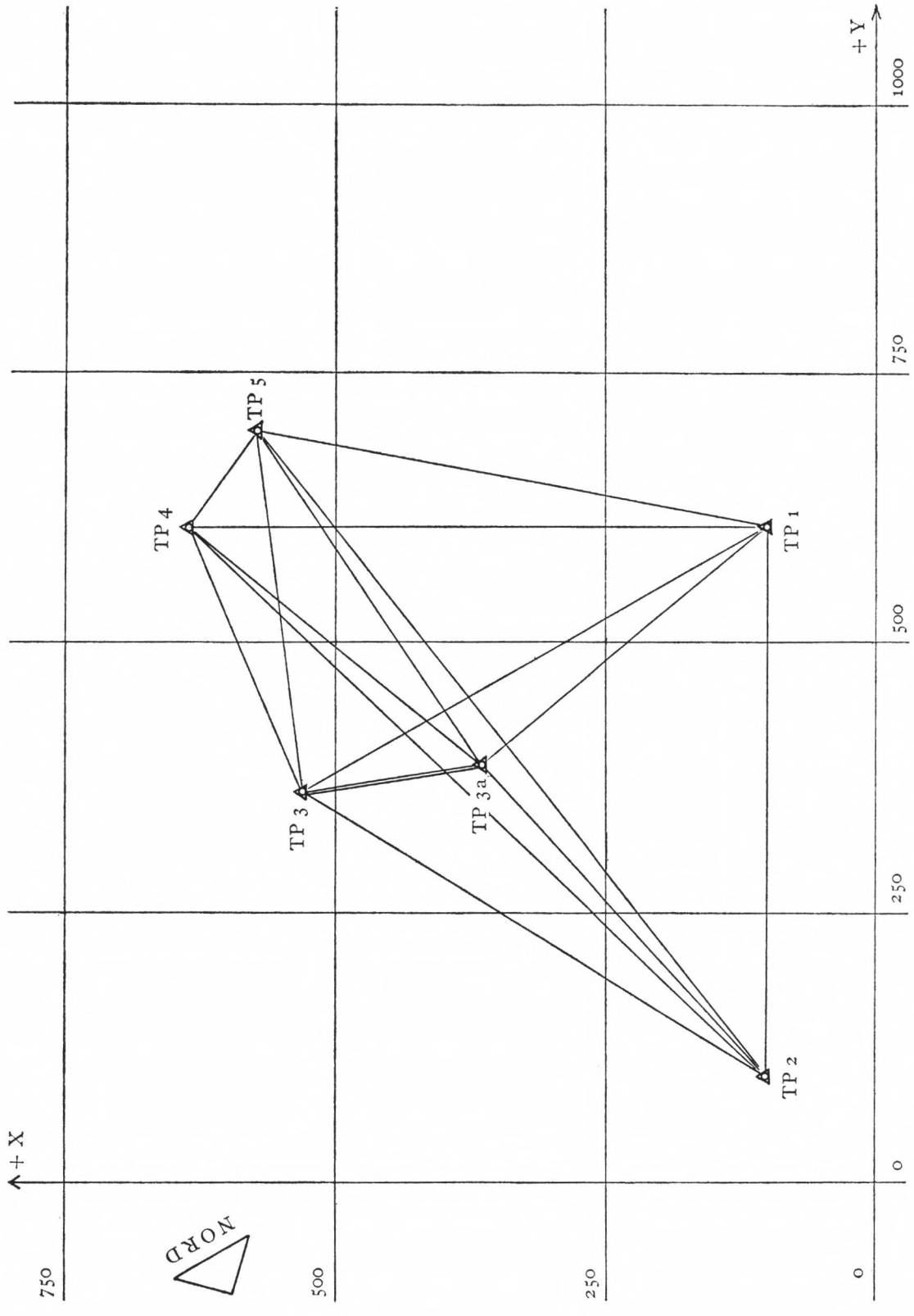


Figur 7. Dreiecksnetzbild 1960

im ersten Beobachtungsjahr (1960) aus sieben Dreieckspunkten (TP 1 bis TP 7). Im Verlauf der weiteren Untersuchungen wurde 1961 das Netz um drei weitere Dreieckspunkte (TP 3a, 8, 9) erweitert. Die Lage und Bezeichnung der Punkte sind den Figuren 7, 8 und 9 zu entnehmen. Die Punkte TP 1 und TP 2 liegen neben einem Holzabführweg am Hang des Hohen Zwiesler. Diese Punkte liegen 500 m bis 800 m vom Staudamm entfernt auf einem Gebirgsstock, der durch die Anlage des Staudammes und des Stausees kaum Lageänderungen erfahren haben dürfte. Der Punkt TP 3 wurde in der Nähe des Mundloches des Kavernenzugangsstollens festgelegt. Er dient gleichzeitig als Ausgangpunkt für einen Präzisionspolygonzug in das Kavernenkraftwerk. Die Dreieckspunkte TP 4 und TP 5 liegen direkt am talseitigen Rand der Dammkrone. Bei der Erkundung dieser fünf Punkte wurde besonders darauf geachtet, daß die gegenseitigen Visuren zwischen den Dreieckspunkten jederzeit beobachtet werden können. Das so festgelegte Diagonalenfünfeck wurde noch durch die Punkte TP 6 und TP 7, nach dem Stauraum zu gelegen, erweitert. Der Punkt TP 6 liegt seitlich von der Alpenstraße zum Achensee am Abhang des Sylvensteins, der TP 7 am Straßenrand nach Fall am Abhang des Hennenköpfl. Die beobachteten Richtungen zwischen den Punkten TP 4, 5, 6 und TP 7 bilden ein Diagonalenviereck (Figur 7). In dem so festgelegten Dreiecksnetz wurde der Netzmaßstab durch optisch-trigonometrische Bestimmung mit Hilfe von 2 m-Invarbasislatten und zur Kontrolle auch noch durch direkte Messung der Strecke TP 4 – TP 5 mit 24 m-Invardrähten bestimmt. Spätere Kontrollmessungen zur Überprüfung von Lageänderungen der Krone des Staudammes erforderten die Einschaltung und Festlegung von zwei weiteren Dreieckspunkten – TP 8 und TP 9 – an den seitlichen Rändern der Dammkrone. Der Punkt TP 8 liegt am Fuße des Sylvensteins in Höhe der Dammkrone unmittelbar am Felsabbruch und etwa in Verlängerung der speicherseitigen Bordsteinkante. Ihm gegenüber liegt Punkt TP 9 am Fuß des Hennenköpfl. Beide Punkte besitzen Sichtverbindung zu mehreren Punkten des ursprünglichen Dreiecksnetzes.

Für eine weitere Überprüfung des Netzmaßstabes wurde schließlich auch noch der Punkt TP 3a eingeschaltet. Er liegt etwa in der Mitte des Diagonalenfünfeckes auf einer Landzunge hinter dem Tosbecken und besitzt etwa die gleiche Höhenlage wie der Punkt TP 3. Zwischen den Punkten TP 3 und TP 3a wurde die Entfernung ebenfalls direkt mit 24 m-Invardrähten und auch optisch-trigonometrisch mit 2 m-Invarbasislatten mit Hilfsbasis in der Mitte mit größtmöglicher Genauigkeit bestimmt.

Bei der Festlegung und Vermarkung der einzelnen Dreieckspunkte mußte weitgehend auf die Wünsche der Staatlichen Bauleitung Rücksicht genommen werden. Deshalb konnten nur in den Punkten TP 1, 2, 3, 3a, 8 und TP 9 standfeste Beobachtungspfeiler betoniert und zum Schutz gegen Pfeilerdrehung bei Sonnenbestrahlung mit Holz verkleidet werden. Die Beobachtungspfeiler auf den Punkten TP 1, 2, 8 und TP 9 wurden direkt auf anstehenden Fels fundiert. Eventuelle Lageänderungen dieser Punkte würden somit in erster Linie Aufschluß über Felsbewegungen ermöglichen. Die Pfeiler auf den Punkten TP 3 und TP 3a sind auf Schotter gegründet. Für die restlichen vier Punkte TP 4, 5, 6 und TP 7 durften nur TP-Steine gesetzt und einbetoniert werden. Gute Standfestigkeit besitzt hierbei der TP 6, der direkt auf Fels sitzt. Die Punkte TP 4 und TP 5 liegen auf dem geschütteten und verdichteten Erddamm. Ihre Lageänderungen erlauben Rückschlüsse auf etwaige Bewegungen und Setzungen der Dammkrone. Für Beobachtungen von diesen Punkten aus müssen jedoch Stative verwendet werden, die eine etwas geringere Zentriergenauigkeit als die Pfeilerpunkte bedingen. Zur eindeutigen Punktfestlegung wurden in die Mitten der Oberflächen der TP-Steine bzw. der Beobachtungspfeiler Spezialbolzen mit kleiner Bohrung einbetoniert.



Figur 8. Dreiecksnetzbild, Invardrahtbasismessung und Triangulation mit Wild T 3 und Kugelzentrierung 1961

Zusätzlich zu den trigonometrischen Punkten wurden 1960 insgesamt noch sieben emaillierte Zielmarken im Bereich des Staudammes unmittelbar auf anstehenden Fels montiert. Die Zielmarke ZM 1 liegt neben dem Mundloch des Kavernenzugangsstollens am Fuß des Sylvensteins. Die Zielmarken ZM 2, ZM 3 und ZM 4 wurden am Hennenköpfl und die Zielmarken ZM 5, ZM 6 und ZM 7 am Sylvenstein über dem Speichersee angebracht. Leider sind die Zielmarken ZM 4, 5, 6 und ZM 7 schon im Laufe des Jahres 1961 mutwillig zerstört worden.

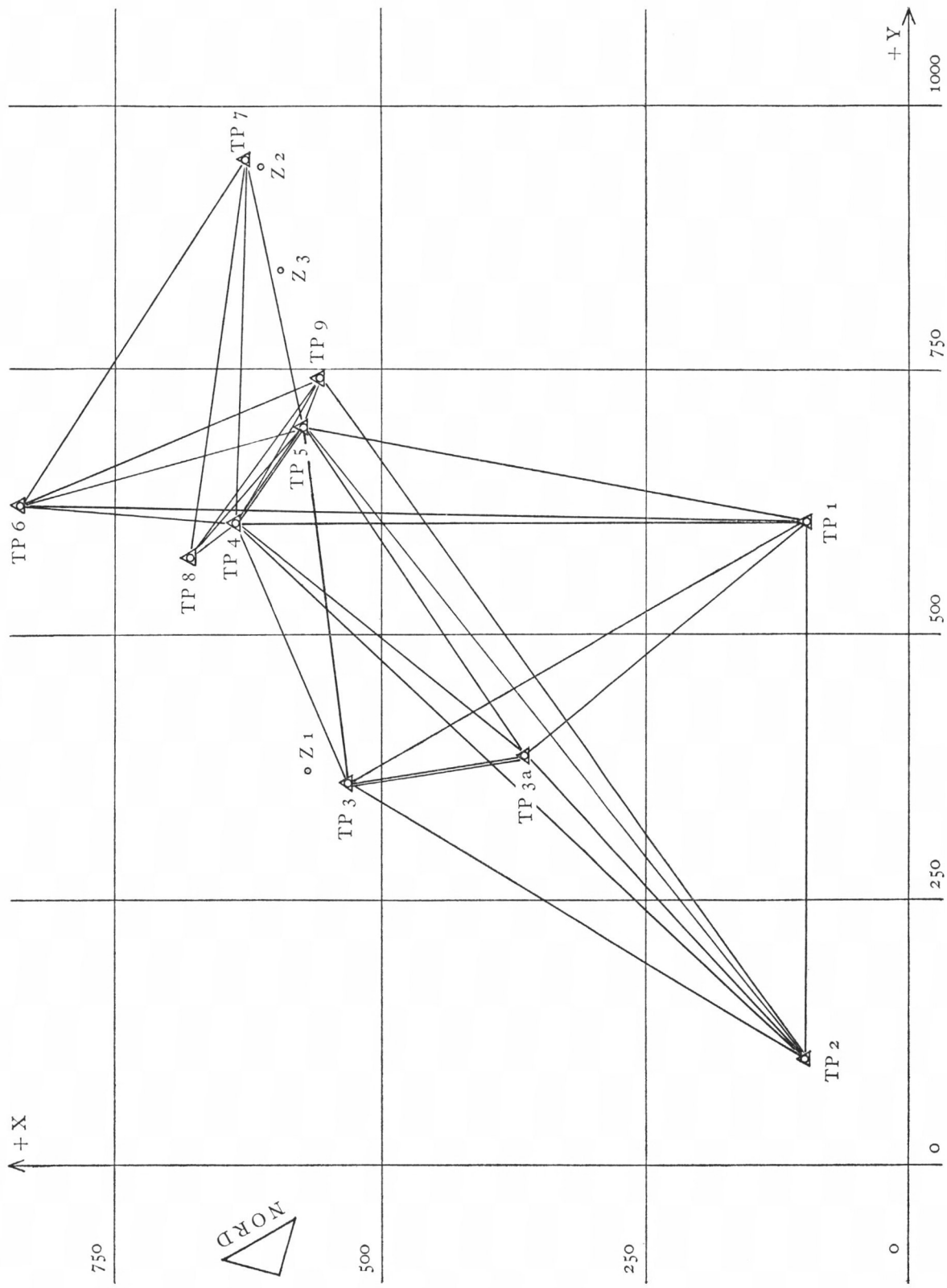
2.1.1.2 *Triangulation: Durchführung und Genauigkeit der Richtungsbeobachtungen*

Für das trigonometrische Testnetz wurden in der Zeit von 1960 bis 1964 in sechs Meßperioden (April, Juni und Juli 1960, April, Juni 1961 und August 1964) Richtungsbeobachtungen und teilweise auch Basismessungen durchgeführt. Die Ergebnisse der Richtungsbeobachtungen einschließlich der mittleren Richtungsfehler der Satzmittel sind in Tabelle 1 zusammengestellt. In Tabelle 1 sind auch die Mittelwerte für die drei Meßreihen des Jahres 1960 ausgewiesen. Die Richtungsbeobachtungen wurden jeweils in vier Sätzen durchgeführt. Hierbei waren gleichzeitig immer etwa drei bis vier Assistenten des Geodätischen Instituts der Technischen Hochschule München und Forschungsassistenten des Deutschen Geodätischen Forschungsinstituts eingesetzt. Für die Beobachtungen im Jahre 1960, im April 1961 und im August 1964 wurden Wild-Polygonausrüstungen mit Zwangszentrierung und Wild T 2-Theodolite verwendet. Die mit dieser Meßausrüstung erzielten mittleren Richtungsfehler lagen im Mittel bei den einzelnen Meßreihen zwischen $\pm$ 1,7^{cc} und $\pm$ 2,1^{cc} (Tabelle 2). Sie ergaben eine gleichwertige innere Beobachtungsgenauigkeit. Im Juni 1961 wurden für die Triangulation Wild T 3-Theodolite und Wild-Polygonausrüstungen mit Kugelzwangszentrierungen auf den Beobachtungspfeilern eingesetzt. Diese Beobachtungen waren allerdings nur auf die vollständige Ausmessung des Diagonalenfünfeckes und die Neueinschaltung des TP 3a beschränkt. Der mittlere Richtungsfehler für die Satzmittel ergab sich dabei zu $\pm$ 0,9^{cc} (Tabelle 2).

Für die notwendigen Berechnungen werden die Beobachtungen nach den am anstehenden Fels angebrachten Zielmarken von den Beobachtungen zwischen den Dreieckspunkten abgetrennt und nur das eigentliche Dreiecksnetz zunächst als Testnetz betrachtet. Berechnet man noch aus den Dreieckswidersprüchen der einzelnen Meßreihen die mittleren Richtungsfehler m_r nach der internationalen Fehlerformel von Ferrero, so liegen die Werte für m_r zwischen $\pm$ 2,2^{cc} und $\pm$ 5,6^{cc}, im Mittel bei $\pm$ 3,8^{cc}. Im Juni 1961 – bei der Beobachtung mit dem Wild T 3 – ergab sich für $m_r = \pm$ 3,0^{cc} (Tabelle 2).

2.1.1.3 *Triangulation: Basismessungen*

Für die Festlegung und Überprüfung des Netzmaßstabes wurden während der verschiedenen Meßperioden, wie bereits oben erwähnt, die Längen einiger Seiten des Dreiecksnetzes zum Teil direkt mit 24 m-Invardrähten und zum Teil optisch-trigonometrisch mit Hilfe der 2 m-Invarbasislatten bei Benutzung verschiedener Vergrößerungsfiguren bstimmt. 1960 wurde zunächst die Strecke TP 1–TP 2 mit zwei verschiedenen 2 m-Basislatten mit Hilfsbasis in der Mitte gemessen. Dabei ergaben sich folgende Werte:



Figur 9a. Endgültiges Dreiecksnetz 1961–1964

Zeit	Strecke TP 1–TP 2	Beobachter
5. 4. 1960	506, 838 m	Dr. Eichhorn
5. 4. 1960	506,850 m	Dr. Münzer
9. 6. 1960	506,832 m	Dr. Eichhorn
9. 6. 1960	506,832 m	Dr. Münzer
14. 7. 1960	506,825 m	Dr. Eichhorn
14. 7. 1960	506,817 m	Dr. Münzer
Mittel:	506,832 m ± 4,6 mm[1]	

Mittelt man die Einzelergebnisse der zwei Beobachter, so erhält man:

1., 3., 5. Messung, Strecke: 506,832 m ± 3,8 mm, Beob.: Dr. Eichhorn;

2., 4., 6. Messung, Strecke: 506,833 m ± 9,6 mm, Beob.: Dr. Münzer;

also fast gleiches Ergebnis bei sehr verschiedener innerer Genauigkeit.

Berücksichtigt man die ungewöhnlich schwierigen Geländeverhältnisse und die dadurch bedingten steilen Visuren längs sonnenbestrahlter Wände und Forsten in der Vergrößerungsfigur, dann ist die erzielte Genauigkeit von etwa 1:110 000 als noch sehr gut zu bezeichnen. Wegen des ungünstigen Geländes am Hang des Hohen Zwiesler mußte eine weitere Kontroll- und Hilfsbasis gemessen werden. Innerhalb des Fünfecks bot sich hierfür die auf der Dammkrone gelegene Seite TP 4–TP 5 an. Diese Seite wurde insgesamt viermal optisch mit 2 m-Invarbasislatte mit Hilfsbasis in der Mitte gemessen. Dabei ergaben sich folgende Werte:

Zeit	Strecke TP 4–TP 5	Beobachter
31. 3. 1960	110,348 m	Dr. Münzer
1. 4. 1960	110,355 m	Dr. Eichhorn
5. 4. 1960	110,352 m	Dr. Eichhorn
5. 4. 1960	110,345 m	Dr. Eichhorn

oder im Mittel 1960: 110,350 m ± 2,3 mm.

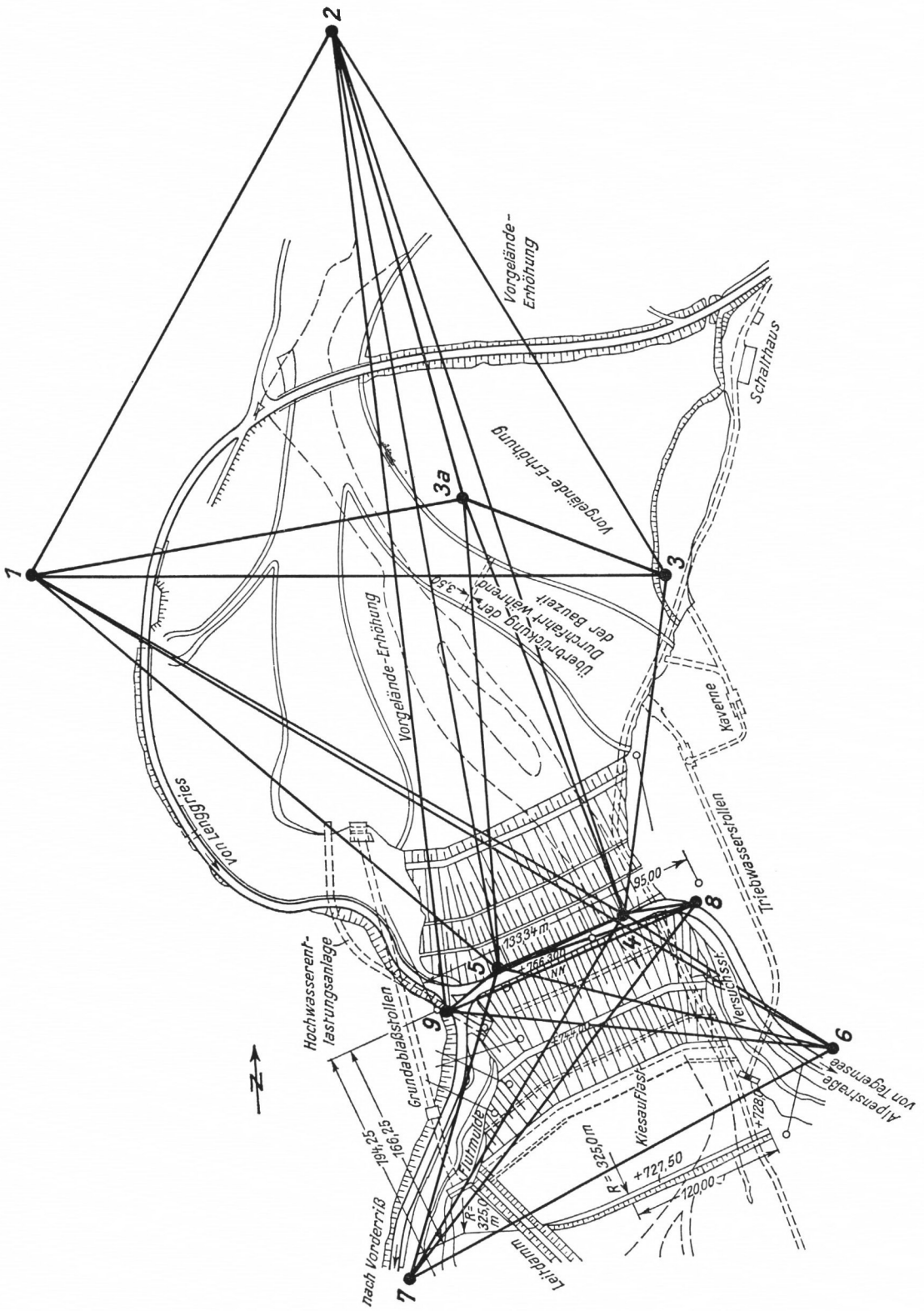
Eine weitere Bestimmung der Strecke TP 4–TP 5 erfolgte am 31. März 1960 durch Invardraht-Basis-Messung. Sie ergab für die Strecke TP 4–TP 5 den Wert 110,3466 m ± 1,0 mm. Durch die Erweiterung des Dreiecksnetzes um die Punkte TP 8, TP 9 und TP 3a konnten weitere Dreiecksseiten direkt gemessen werden. Zunächst wurde ein Feinpolygonzug zwischen den beiden Festpunkten TP 8 und TP 9 auf der Dammkrone angelegt und mehrmals mit Hilfe von 2 m-Basislatten und Zwangszentrierung bei Unterteilung der Gesamtstrecke in 10 Teilstrecken mit Basislatte am Ende bzw. in der Mitte der Teilabschnitte gemessen. Aus diesen Meßreihen ergab sich die Strecke TP 8–TP 9 zu:

1961: 209,515 m

1962: 209,516 m

1964: 209,514 m

[1] Alle Strecken in diesem Abschnitt beziehen sich zunächst auf den jeweiligen mittleren Messungshorizont.



Figur 9b. Dreiecksnetz mit Lageskizze

Schließlich wurde noch im Juni 1961 die Strecke TP 3–TP 3a mit verschiedenen Invardrähten mit größtmöglicher Genauigkeit ermittelt. Die Strecke TP 3–TP 3a ergab sich dabei zu 168,0116 m ± 0,07 mm.

Die Strecke TP 3–TP 3a wurde auch noch 1964 mit der 2 m-Basislatte mit Hilfsbasis in der Mitte gemessen. Dabei ergab sich die Strecke TP 3–TP 3a zu 168,005 m ± 2,4 mm. Eine Diskussion der Basismessungen und ein Streckenvergleich folgt weiter unten unter 2.1.1.6.

2.1.1.4 *Koordinierung der Festpunkte*

Für eine systematische Zusammenfassung und Gegenüberstellung der Ergebnisse der zeitlich verschiedenen Triangulierungen im Bereich des Staudammes am Sylvenstein wurden die bisher vorliegenden sechs Meßreihen einheitlich ausgeglichen. Die Berechnung der Koordinaten der Dreieckspunkte erfolgte für die verschiedenen Netze (Figur 7 mit 9) durch Ausgleichung nach vermittelnden Beobachtungen. Als Ausgangspunkte dienten dabei die Punkte TP 1 und TP 2 mit den Koordinaten

TP 1: $x_1 = 100{,}000$ m; $y_1 = 606{,}832$ m;
TP 2: $x_2 = 100{,}000$ m; $y_2 = 100{,}000$ m.

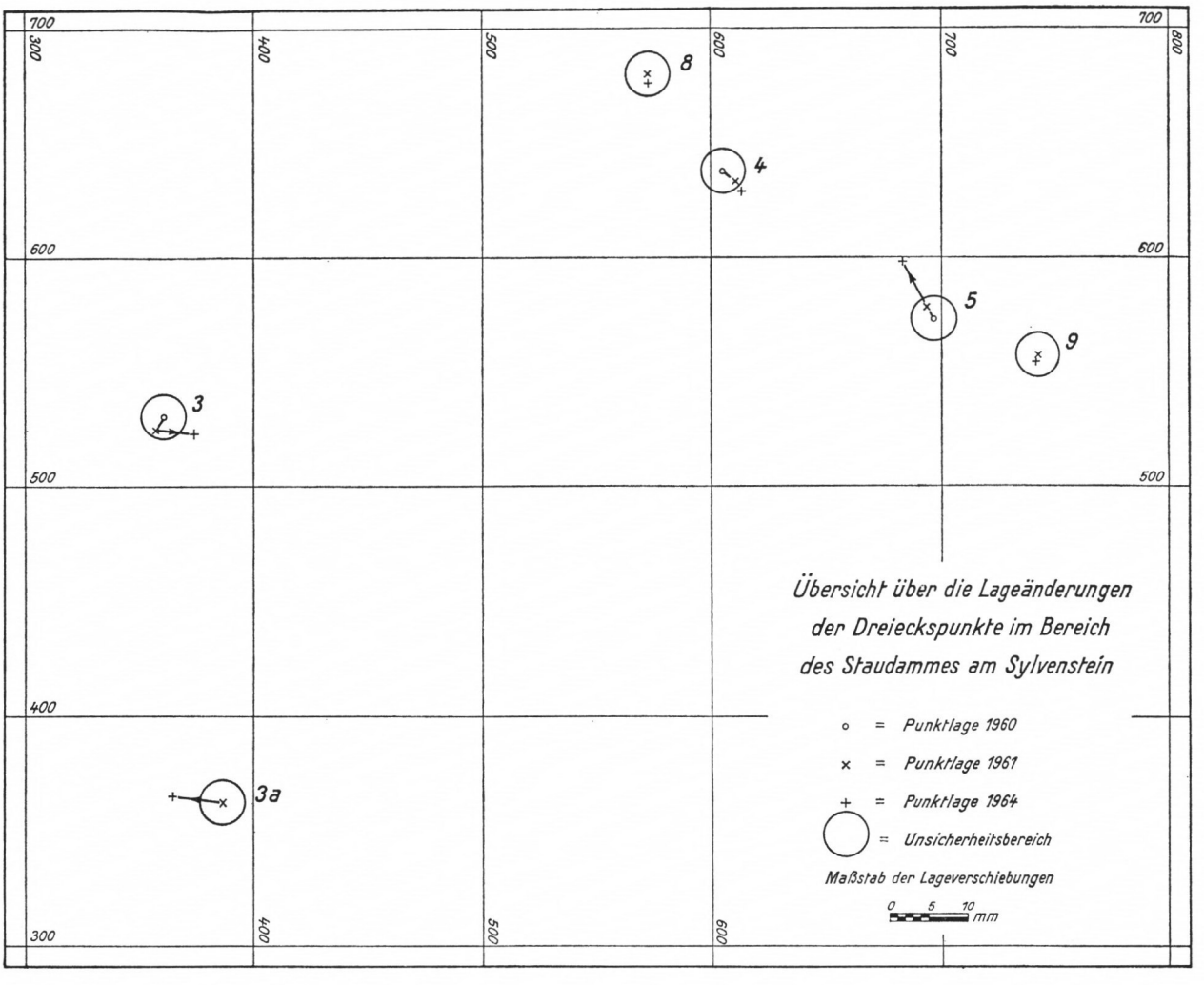
Die mittleren Richtungsfehler m_r aus den Ausgleichungen der verschiedenen Meßreihen liegen zwischen ± 2,1cc und ± 5,3cc (Tabelle 3) und stimmen mit den nach der Formel von Ferrero berechneten Werten gut überein.

Aus der Ausgleichung der Messung im Juni 1961 ergab sich für $m_r = \pm 3{,}4^{cc}$. Dieser Zahlenwert entspricht etwa dem Mittelwert der entsprechenden mittleren Richtungsfehler aller anderen mit Wild T 2-Theodoliten ausgeführten Messungen.

Im einzelnen erfolgten jeweils im Anschluß an die beiden einheitlich vorgegebenen Punkte TP 1–TP 2 und den Mittelwert der Strecke TP 1–TP 2 = 506,832 m folgende Netzausgleichungen:

1. April 1960 2. Juni 1960 3. Juli 1960	Ausgleichung der sieben Punkte TP 1 mit TP 7 (Figur 7)
4. April 1961	Ausgleichung der neun Punkte TP 1 mit TP 9 (ohne TP 3a)
5. Juni 1961	Ausgleichung der sechs Punkte TP 1 mit TP 5 und TP 3a (Figur 8)
6. August 1964	Ausgleichung der zehn Punkte TP 1 mit TP 9 und TP 3a (Figur 9).

Die hierbei erhaltenen Koordinaten und ihre mittleren Fehler sind in Tabelle 3 zusammengestellt. Die mittleren Koordinatenfehler liegen für die drei Ausgleichungen 1960 für die TP 1 bis TP 5 bei etwa ± 3 bis ± 5 mm, für die Randpunkte TP 6 und TP 7 erwartungsgemäß zwischen ± 5 und ± 11 mm. Die drei Messungen sind gleich genau, Lageänderungen sind nicht zu erkennen. Daher wurden für 1960 alle Koordinaten und ihre mittleren Fehler aus den Koordinatendifferenzen gegenüber den Mittelwerten berechnet und ebenfalls in Tabelle 3 ausgewiesen. Die beiden Ausgleichungen für die im April und Juni 1961 durchgeführten Meßreihen weisen kleinere Koordinatenfehler auf. Dasselbe gilt für die Ausgleichung der Messung 1964, die weitaus mehr Richtungen als die vorhergehenden Messungen umfaßt.



Figur 9 c

Im Anschluß an die Ausgleichung der Dreiecksnetze wurden die Zielmarken durch Vorwärtseinschneiden mit Ausgleichung koordiniert. Die Ergebnisse sind in Tabelle 4 ausgewiesen. Bei der Beurteilung der beigeschriebenen, verhältnismäßig kleinen mittleren Fehler ist zu beachten, daß die Koordinaten der Dreieckspunkte bei der Koordinierung der Zielmarken wie üblich als fehlerfrei vorausgesetzt wurden und daß für die Zielmarken zwar wenig überschüssige Messungen, aber verhältnismäßig gute Schnittwinkel vorliegen.

2.1.1.5 *Vergleich der ausgeglichenen Koordinaten*

Ein Vergleich der ausgeglichenen Koordinaten der Dreieckspunkte und der Zielmarken könnte nun bereits Rückschlüsse auf etwaige Lageänderungen der Festpunkte gewähren. Nachdem bisher aber die Koordinaten der Ausgangspunkte TP 1 und TP 2 als unverändert betrachtet wurden, sind zunächst noch eventuelle Lageänderungen dieser Punkte zu überprüfen. Dazu wurden die einzelnen Meßergebnisse durch Helmert-Transformationen aufeinander bezogen, wobei jeweils die Punkte des Fünfecks TP 1, 2, 3, 4 und TP 5 als gemein-

same Paßpunkte angenommen wurden. Die Beschränkung auf diese Punkte erscheint aus zwei Gründen gerechtfertigt:

1. Die Koordinaten dieser Punkte sind untereinander etwa gleich genau;
2. bei allen Meßreihen wurden von diesen Punkten aus Richtungsbeobachtungen ausgeführt.

Im einzelnen ergaben sich hierbei, bezogen auf den Schwerpunkt der Punkte TP 1 bis TP 5, folgende Transformationskonstanten:

Messung	Mai 1960	Juli 1960	April 1961	Juni 1961	Aug. 1964
bezogen auf	April 1960	April 1960	Mittel 1960	Mittel 1960	Mittel 1960
dx	— 0,9 mm	+ 3,6 mm	+ 2,2 mm	— 1,1 mm	+ 4,1 mm
dy	+ 2,8 mm	+ 1,8 mm	— 2,2 mm	— 0,3 mm	+ 1,4 mm
m (Maßstab)	1,000000	0,999991	1,000002	0,999998	0,999993
v (Orientierung)	399,9995^g	399,9999^g	399,9995^g	0,0000^g	0,0002^g

Die transformierten Koordinaten sind in den Tabellen 5 a und 5 b ausgewiesen und in Figur 9c dargestellt.

2.1.1.6 *Maßstabsvergleich zwischen den verschiedenen Basismessungen untereinander und mit dem Ergebnis der Koordinierung*

Zur Überprüfung des allgemeinen Netzmaßstabes wurden für jede Meßstrecke aus den transformierten Koordinaten der Dreieckspunkte die einzelnen Dreiecksseiten berechnet und diese mit den vorliegenden direkten Messungen verglichen. Die Streckenmessungen wurden nicht in die Ausgleichungen einbezogen. Sie wurden nur zur Überprüfung des mittleren Maßstabes benutzt. Bevor die verschiedenen Ergebnisse einander gegenübergestellt werden dürfen, müssen aber noch die direkt oder auch optisch-trigonometrisch gemessenen Entfernungen auf den mittleren Messungshorizont der Seite TP 1–TP 2 bezogen werden, in dem die Koordinatenberechnung ausgeführt wurde. Die Seite TP 3–TP 3a liegt etwa 63 m, die Seiten TP 4–TP 5 und TP 8–TP 9 liegen etwa 25 m tiefer als die Seite TP 1–TP 2. Damit errechnen sich folgende Korrektionen:

$$\Delta s_{3\cdot 3a} = 1{,}57 \cdot 1{,}68 \cdot 0{,}63 = + 1{,}7 \text{ mm}$$
$$\Delta s_{4\cdot 5} = 1{,}57 \cdot 1{,}10 \cdot 0{,}25 = + 0{,}4 \text{ mm}$$
$$\Delta s_{8\cdot 9} = 1{,}57 \cdot 2{,}10 \cdot 0{,}25 = + 0{,}8 \text{ mm}.$$

Die korrigierten Meßergebnisse werden nunmehr den aus den Koordinaten der Festpunkte berechneten Entfernungen gegenübergestellt (Tabelle 6). Der vorliegende Vergleich zeigt eine gute Übereinstimmung zwischen den verschiedenen Entfernungsmessungen und den zugehörigen Koordinaten. Im Mittel ergibt sich eine Maßstabsgenauigkeit von etwa 1:200000 oder von 5 mm pro 1 km. Die gute Übereinstimmung der verschiedenen transformierten Systeme zeigte sich schon in den oben angegebenen geringen Abweichungen des Maßstabsfaktors und des Verdrehungswinkels von den Sollwerten 1,00000 bzw. 0,0000^g. Hierbei wäre noch die Übertragungsgenauigkeit der Dreiecksseiten bei der Netz-

ausgleichung zu diskutieren. Hierzu wurde die Messung und Ausgleichung Juni 1961 benutzt. Diese umfassen das Netz in Figur 8. Bei Ausgleichung nach bedingten Beobachtungen ergeben sich 10 unabhängige Dreiecksgleichungen und 6 unabhängige Seitengleichungen.

An die bestimmte Ausgleichung dieses Dreiecksnetzes wurden noch zwei Funktionsgleichungen zur Berechnung der Gewichtskoeffizienten für die Übertragung der Seite TP 3–TP 3a auf die Seiten TP 1–TP 2 und TP 4–TP 5 angeschlossen. Bei der Ausgleichung ergaben sich die Gewichtsreziproken

$$\frac{1}{P_{12}} = 3{,}63\,830 \qquad \text{und} \qquad \frac{1}{P_{45}} = 8{,}67\,517.$$

Für diese Gewichtsreziproken lassen sich die „Netzleistungen" aus

$$Q = \frac{10^6}{\rho^{cc}} \cdot \sqrt{\frac{1}{P}}\ (\text{mm/km})$$

berechnen. Damit wird

$$Q_{12} = \frac{10}{6{,}37} \sqrt{3{,}64} \approx 3{,}0\ \text{mm/km}$$

und

$$Q_{45} = \frac{10}{6{,}37} \sqrt{8{,}68} \approx 4{,}6\ \text{mm/km}.$$

Mit $m_0 = \pm 3{,}4^{cc}$ werden die entsprechenden Werte

$$Q'_{12} = 10{,}2\ \text{mm/km} \qquad \text{und} \qquad Q'_{45} = 15{,}8\ \text{mm/km},$$

oder für 100 m

$$Q'_{12} = 1{,}0\ \text{mm} \qquad \text{und} \qquad Q'_{45} = 1{,}6\ \text{mm}.$$

Dies entspricht einer Unsicherheit von

$$\pm\ 5{,}1\ \text{mm für die Seite } \overline{1-2}$$

$$\text{bzw. } \pm\ 1{,}7\ \text{mm für die Seite } \overline{4-5}.$$

Die Ausgangsseite $\overline{3-3a}$ wurde dabei als fehlerfrei angenommen.

Diese fehlertheoretische Untersuchung zeigt, daß man bei trigonometrischer Übertragung der Basis TP 3–TP 3a auf die Dreiecksseiten TP 1–TP 2 und TP 4–TP 5 für diese etwa den gleichen mittleren Fehler erhält, wie er sich bei der optischen Entfernungsmessung der Seiten selbst ergab. Damit ist der von uns angesetzte Seitenvergleich durchaus möglich.

Abschließend läßt sich feststellen, daß aus den verschiedenen Entfernungsbestimmungen der Netzmaßstab lediglich mit einer Genauigkeit von etwa 1:100000 bestimmt werden konnte. Maßstabs- und Lageänderungen, die kleiner als $1 \cdot 10^{-5}$ sind, können somit aus der vorliegenden Triangulation und den örtlichen Gegebenheiten nicht erfaßt werden.

2.1.1.7 *Untersuchung und Diskussion der Lageänderungen der Festpunkte zwischen 1960 und 1964*

Der Vergleich der aus den drei Meßreihen des Jahres 1960 berechneten Koordinaten zeigt, daß innerhalb des Jahres 1960 Lageänderungen der Festpunkte nicht nachgewiesen werden können. Mit Rücksicht hierauf wurden für den Vergleich mit den späteren Messungen die Ergebnisse aus den Messungen im Jahre 1960 zu *Mittelwerten 1960* zusammengefaßt. Ähnliches gilt für die beiden Meßreihen aus dem Jahre 1961. Deshalb werden auch aus diesen beiden Meßergebnissen die *Mittelwerte 1961* berechnet. Bei der letzten Meßperiode im August 1964 wurden erstmals alle 10 Festpunkte in einem einheitlichen Netz beobachtet. Durch Ausholzung konnte zusätzlich eine Reihe vorher nicht sichtbarer Diagonalverbindungen mitbeobachtet werden. Zudem ist in der Zwischenzeit die Geräte- und Instrumentenausstattung des Geodätischen Instituts der Technischen Hochschule München so verbessert worden, daß das Gesamtnetz (Figur 9) gleichzeitig und mit Zwangszentrierung beobachtet werden konnte. Die dadurch bedingte Formänderung der Ausgleichungsfigur verbessert natürlich auch die Fehlerübertragung innerhalb des Dreiecksnetzes. Mit Recht kann daher die Messung 1964 wegen ihrer größeren inneren Genauigkeit den Mittelwerten aus drei bzw. zwei Messungen aus den Jahren 1960 und 1961 gleichwertig gegenübergestellt werden.

Bildet man nun die Differenzen zwischen den transformierten Koordinaten aus den Messungen von 1960, 1961 und 1964 (Tabelle 5a), so liegen bei den meisten Punkten die Unterschiede unter 4 mm und somit innerhalb des durch die mittleren Fehler der verschiedenen Meßreihen bedingten Unsicherheitsbereiches. Eine Ausnahme bilden die Koordinatenänderungen der Punkte TP 5 und TP 3a, in geringerem Umfang auch die des Punktes TP 4. Diese drei Punkte haben von 1960 bis 1964 folgende systematische Koordinatenänderungen erfahren:

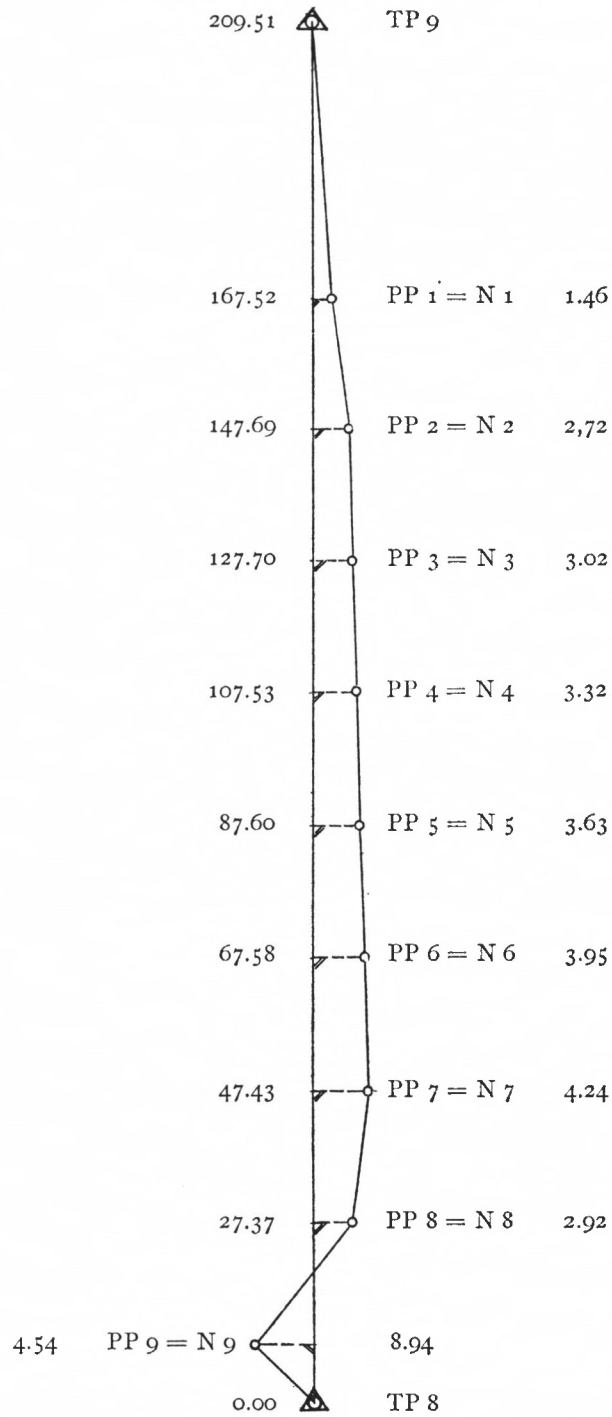
a) dx

Punkt	1961–1960 (mm)	1964–1961 (mm)	1964–1960 (mm)
TP 4	— 2	— 1	— 3
TP 5	+ 2	+ 6	+ 8
TP 3a	—	0	—

b) dy

Punkt	1961–1960 (mm)	1964–1961 (mm)	1964–1960 (mm)
TP 4	+ 2	0	+ 2
TP 5	0	— 4	— 4
TP 3a	—	— 6	—

Für die Deutung dieser Koordinatenänderungen muß die örtliche Lage der Punkte TP 3a, TP 4 und TP 5 berücksichtigt werden. Die Punkte 4 und 5 liegen am talseitigen Rand der Dammkrone auf dem geschütteten Erddamm. Der Punkt 3a liegt auf der Landzunge hinter dem Tosbecken und ist auf Schotter gegründet. Die gegenläufigen und aufeinander zugerichteten Lageänderungen der beiden Dammpunkte könnten durch Setzungen des Dammes bedingt sein. Der Punkt TP 3a liegt genau in der Abflußrichtung der Isar



Figur 10. Skizze des Polygonzuges auf der Dammkrone

nach dem Staudamm und die festgestellte Koordinatenänderung von 6 mm zeigt in Richtung des Wasserlaufes.

Die Koordinatenänderungen der Zielmarken (Tabelle 5b) liegen ebenfalls alle unter 5 mm und somit innerhalb der erzielten mittleren Fehler. In Figur 9c sind die in Tabelle 5a ausgewiesenen Koordinatenänderungen graphisch ausgewiesen. Zusammenfassend wird festgestellt: Aus der Triangulation können keine die Meßgenauigkeit überschreitenden Lageänderungen im *Felsbereich* des Sylvensteinspeichers nachgewiesen werden. Die Lageänderungen der Dreieckspunkte TP 3a, TP 4 und TP 5 waren auf Grund der lokalen Gegebenheiten zu erwarten.

2.1.2 *Untersuchung von Lageänderungen der Krone des Staudammes*

Für die lokale Untersuchung von Lageänderungen des Staudammes wurden im Frühjahr 1961 zwei neue Betonpfeiler (TP 8 und TP 9) zu beiden Seiten des Dammes errichtet, auf Fels fundiert und zur Isolierung mit einem Holzmantel umkleidet. Auf dem Damm selbst wurden auf den speicherseitigen Granitbordsteinen Nieten mit Rundköpfen einbetoniert und mit einer feinen Bohrung versehen. Diese Nieten wurden als Polygonpunkte von West nach Ost mit PP 1 bis PP 9 bezeichnet (Figur 10).

Der Polygonzug wurde erstmals am 19. 4. 1961 mit einer Wild T 2-Ausrüstung mit Zwangszentrierung und einer Wild 2 m-Invarbasislatte gemessen.[1] Die Messungen wurden am 6. 8. 1961, am 28. 6. 1962 und am 29. 9. 1964 wiederholt und ausgehend vom TP 8 mit den lokalen Koordinaten x = 100,0000 m, y = 100,0000 m und der Dreiecksseite TP 8–TP 9 als positive X-Achse jeweils als freier Zug mit Richtungsanschluß an TP 8–TP 9 bzw. TP 9–TP 8 berechnet (Tabelle 7). Damit erhält der Punkt TP 9 jeweils die Ordinate y = 100,0000 m, während die Abszisse von TP 9 alle Maßstabsfehler oder auch Änderungen der Pfeiler TP 8–TP 9 in Richtung ihrer Verbindungsseite ausweist. Da diese auf die Gesamtlänge von rund 209,5 m nur wenige Millimeter erreichen, liegen sie innerhalb der zu erwartenden Messungsfehler. Dagegen sind die Änderungen der kurzen Ordinaten senkrecht zum Damm, also in Abflußrichtung von wesentlich größerer Bedeutung. Es ergibt sich eine systematische Änderung fast aller Marken flußabwärts um etwa 3 mm. Lediglich die beiden Randpunkte weisen eine rückläufige Tendenz auf. Ebenso zeigt der in der Mitte gelegene Punkt PP 5 eine wesentlich geringere Änderung. Diese Prüfmessung steht *nicht* im Zusammenhang mit der Auswertung des Dreiecksnetzes. Bei einem Anschluß an das Dreiecksnetz würde sich eine geringfügige Maßstabsänderung (etwa 1:120000) ergeben, die auf die kurzen Ordinaten keinen Einfluß hätte. Der Vergleich der Strecken des Polygonzuges über den Staudamm (Tabelle 8) zeigt ebenfalls die geringen Änderungen in den Strecken (Abszissen). Andererseits zeigt der Vergleich der Winkel (Tabelle 9) die merkbaren Änderungen in den Ordinaten.

Für eine unabhängige Kontrolle der Meß- und Rechenergebnisse des Feinpolygonzuges wurden außerdem von den Dreieckspunkten 8 und 9 aus Richtungsbeobachtungen nach den 9 Kontrollpunkten ausgeführt und aus diesen Beobachtungen die Abstände (Ordinaten) der Kontrollpunkte von der Geraden 8–9 berechnet (Tabelle 10). Diese Beobachtungsanordnung hat gegenüber dem Feinpolygonzug eine günstigere Fehlerfortpflanzung. Sie weist ebenfalls darauf hin, daß die Dammkrone in der Zeit von April 1961 bis September 1964 talwärts gewandert ist. Sie ergibt aber fast die doppelten Beträge (im Durchschnitt

[1] Leider wurde der Pfeiler TP 8 zwischen der 1. und 2. Messung von einem Lastwagen angefahren, so daß die Ergebnisse der 1. Messung für einen Vergleich mit den späteren Messungen etwas fragwürdig sind.

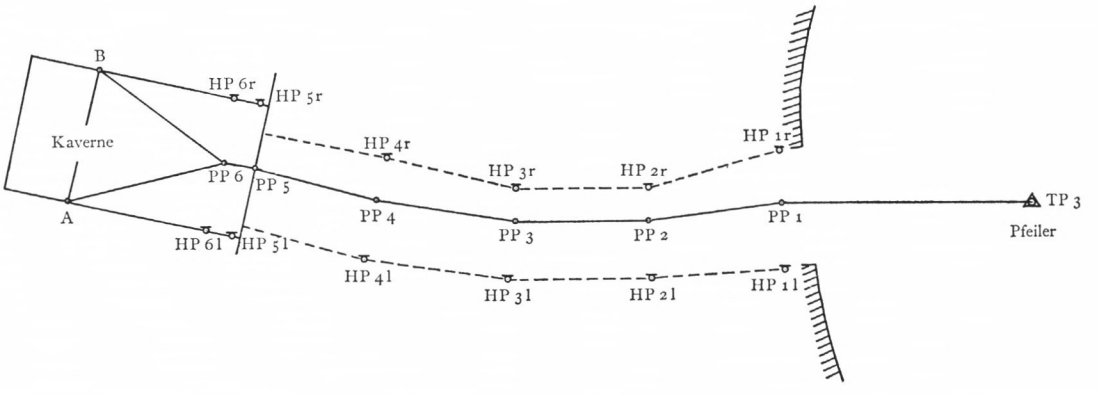
etwa 5 mm). Die Dammbewegungen klingen von der Mitte aus nach beiden Seiten ab und erreichen an den beiden Felsseiten Änderungen in der Größenordnung von etwa 2 mm nach der Speicherseite zu.

Beide Methoden ergeben etwa dasselbe Ergebnis. Trotzdem sollte dieses Ergebnis mit Rücksicht auf die Unsicherheit der Lage der Bordsteine nicht überschätzt werden.

2.1.3 *Untersuchung der Lage der Kaverne*

2.1.3.1 *Polygonzug im Zufahrtsstollen*

Für die Untersuchung von Lageänderungen der Kaverne im ganzen gegenüber dem Gebirge wurde ausgehend vom TP 3 ein Feinpolygonzug in die Kaverne gelegt und bei jeder Messung mitbeobachtet (Figur 11). Der Feinpolygonzug endet ohne Anschlußzwang in den Beobachtungspunkten A und B in der Kaverne.



Figur 11. Anordnung der Polygonpunkte und Höhenfestpunkte im Zugangsstollen und in der Kaverne

Bei der Berechnung des Feinpolygonzuges von TP 3 aus in die Kaverne wurden die Koordinaten des TP 3 aus den jeweils zugehörigen Messungen und Berechnungen des Dreiecksnetzes beibehalten. Die Orientierung der ersten Polygonseite wurde aus den beobachteten Richtungen in TP 3 nach den Dreieckspunkten 1, 2, 4 und 5 abgeleitet. Die Ableitung der Orientierung der ersten Polygonseite ist in Tabelle 11 zusammengestellt.[1] Zwischen den Messungen 1960 und der letzten Messung im September 1964 weicht die Orientierung der ersten Polygonseite mit einer Länge von 43,8 m infolge der ausgewiesenen Koordinatenänderungen der Dreieckspunkte um fast 90^{cc} ab. In den Tabellen 12 und 13 sind die gemessenen Polygonseiten und Polygonwinkel der vorliegenden fünf Meßreihen einander gegenübergestellt. Die Änderungen der verschiedenen Meßwerte sind mehr oder weniger zufällig und heben sich in den Summen weitgehend auf. Dabei ist zu beachten, daß sich bei der Messung der Polygonzüge Zentrierfehler besonders stark auswirken und die Einzelergebnisse verfälschen. In Tabelle 14 sind schließlich die Koordinaten der Polygonpunkte für die verschiedenen Messungen zusammengestellt. Der Vergleich

[1] Dabei ist zu beachten, daß für diese Berechnungen nicht die in Tabelle 5a auf Millimeter abgerundeten Koordinaten, sondern die auf $^1/_{10}$ mm berechneten Maschinenkoordinaten benutzt wurden. Bei Nachrechnungen mit den Koordinaten der Tabelle 5a können sich geringfügige Abweichungen ergeben.

dieser Koordinaten bestätigt auch für den Zufahrtsstollen und die Polygonpunkte in der Kaverne, daß im Beobachtungszeitraum von 1960 bis 1964 keine meßbaren systematischen Lageänderungen im Stollen und in der Kaverne nachzuweisen sind und daß andererseits die Lageänderungen des Punktes TP 3 im Dreiecksnetz die Polygonzugskoordinaten nicht wesentlich beeinflußt haben, daß also, wie bereits oben angegeben, das Dreiecksnetz im wesentlichen seine Lage beibehalten hat. Die Koordinatenänderungen im Polygonzug liegen bei etwa 3 mm. Ihre systematischen Vorzeichen haben mit Rücksicht auf die Fehlerfortpflanzung im freien und nur einseitig angeschlossenen Polygonzug keine allzu große Bedeutung.

2.1.3.2 *Lageänderung der Kaverne*

Zur Erfassung von Lageänderungen in der Kaverne selbst wurden vier verschiedene Beobachtungsanordnungen gewählt.

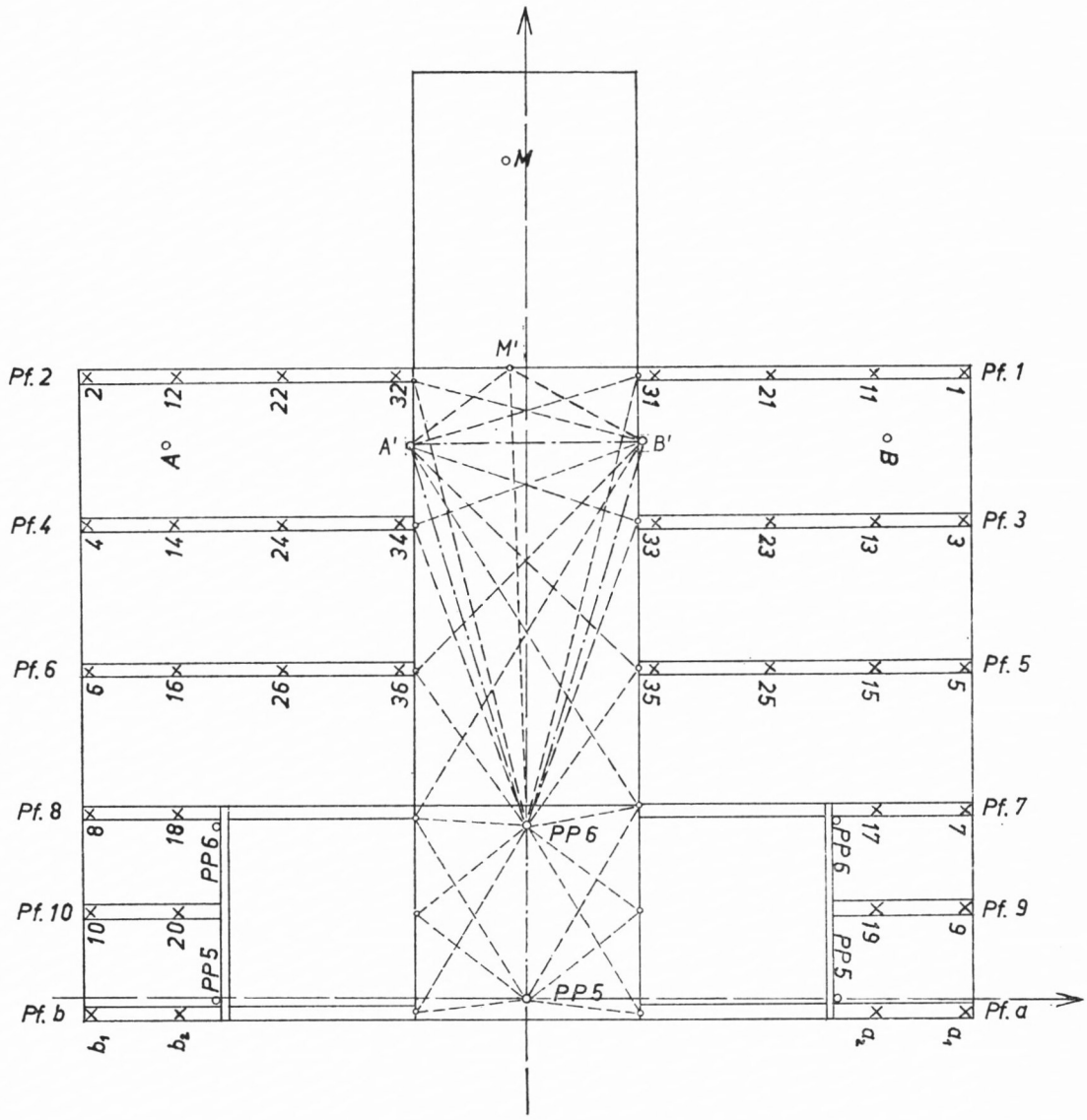
a) Trigonometrisches Verfahren zum Nachweis von Lageänderungen und Kippungen

Hierfür wurden an den je drei freien Kavernenpfeilern in vier verschiedenen Höhen (0,5 m; 2,6 m; 5,4 m und 8,5 m von der Unterkante der Kranbahn aus) Zielmarken angebracht. Bei den je drei rückwärtigen Pfeilern konnten wegen der vorspringenden Plattform nur je zwei Zielpunkte (im Abstand von 0,5 m und 2,6 m von der Unterkante der Kranbahn aus) vermarkt werden.

Die Numerierung der Zielmarken ist der Figur 12 zu entnehmen. Zur Orientierung der Richtungen von allen Standpunkten aus wurde in der Abschlußwand (Einlaufseite) eine weitere Zielmarke M befestigt. Insgesamt wurden 37 Zielmarken in der Kaverne angebracht. Die Koordinierung der Zielmarken erfolgte ausgehend von den Polygonpunkten PP 5 und PP 6 und den Standpunkten A und B durch Vorwärtsschnitte mit Ausgleichung. Auf diese Weise entstand ein Vermessungssystem, bei dem alle horizontalen Schnittwinkel in den Zielpunkten zwischen 60^g und 115^g lagen. Die Beobachtungen von den vier Standpunkten PP 5, PP 6, A und B aus erfolgten jeweils in vier vollständigen Sätzen, wobei trotz der teilweise stark geneigten Visuren und der großen Entfernungsunterschiede zu den Zielmarken, die bei jeder einzelnen Zieleinstellung eine Umfokussierung erforderlich machten, die mittleren Richtungsfehler bei etwa $\pm$ $3{,}0^{cc}$ lagen.

Die Beobachtungen wurden so angeordnet, daß für jeden Zielpunkt mindestens zwei Richtungsbeobachtungen von verschiedenen Instrumentenstandpunkten aus vorliegen. Die notwendigen Koordinatenrechnungen erfolgten, soweit möglich, wiederum durch strenge Ausgleichung nach vermittelnden Beobachtungen. Nachdem die Berechnung der Feinpolygonzüge in die Kaverne bestätigte, daß die Punkte PP 5, PP 6, A und B während der letzten vier Jahre keine meßbaren Lageänderungen erfahren habe, wurden zunächst für die Berechnung der Vorwärtsschnitte nach den Zielmarken die Koordinaten der vier Ausgangspunkte PP 5, PP 6, A und B aus den Polygonzügen beibehalten.

Die mit diesen Ausgangspunkten berechneten Koordinaten der einzelnen Zielpunkte geben zunächst keinen Aufschluß darüber, ob sich die Zielmarken an den Betonpfeilern der Kaverne relativ zur Kavernenachse verändert haben. Deshalb wurden die Koordinaten aller Zielpunkte aus allen fünf Meßreihen auf eine Parallele zur Kavernenachse transformiert. Als Ausgangspunkt für diese Transformation wurde der Punkt b_2, als Ausgangs-



Figur 12. Anordnung der Zielmarken in der Kaverne

richtung die Strecke b_2–12 angenommen. Nach dieser ersten Transformation wurden die Koordinaten der Zielmarken und der Beobachtungsstandpunkte der drei Meßreihen aus dem Jahre 1960 gemittelt und die Koordinaten der Meßreihen von 1961 und 1964 zur Elimination des Zielfehlers nach der Zielmarke b_2 vor dem Koordinatenvergleich auf den Koordinatenschwerpunkt der Mittelwerte von 1960 bezogen. Die auf diese Weise erhaltenen endgültigen Koordinaten der Polygonpunkte und Zielmarken in der Kaverne sind in Tabelle 15 zusammengestellt. Auch hier besitzen lediglich die Änderungen in den Ordinaten (y-Werte) besondere Bedeutung. Sie geben Aufschluß über etwaige Kippungen oder Durchbiegungen der Seitenwände der Kaverne. Sie überschreiten aber im allgemeinen kaum die erreichbare Genauigkeit der Messung. Eine Ausnahme bildet lediglich die Zielmarke M in der Mitte der hinteren Stirnwand (Einlaufseite). Für diese Zielmarke hat sich der x-Wert um etwa 1,3 mm in Richtung nach außen zum Fels verändert. Da aber anderer-

seits die Zielmarken b_1 und b_2 gegenteilige Tendenz zeigen und die Zielmarken im Pfeiler 1 und Pfeiler 2 die Bewegung von M nicht mitmachen, ist vor endgültigen Schlußfolgerungen die Lage der Zielmarke M weiter zu beobachten.

b) Pendelbeobachtungen zum Nachweis von Kippungen der Strebepfeiler

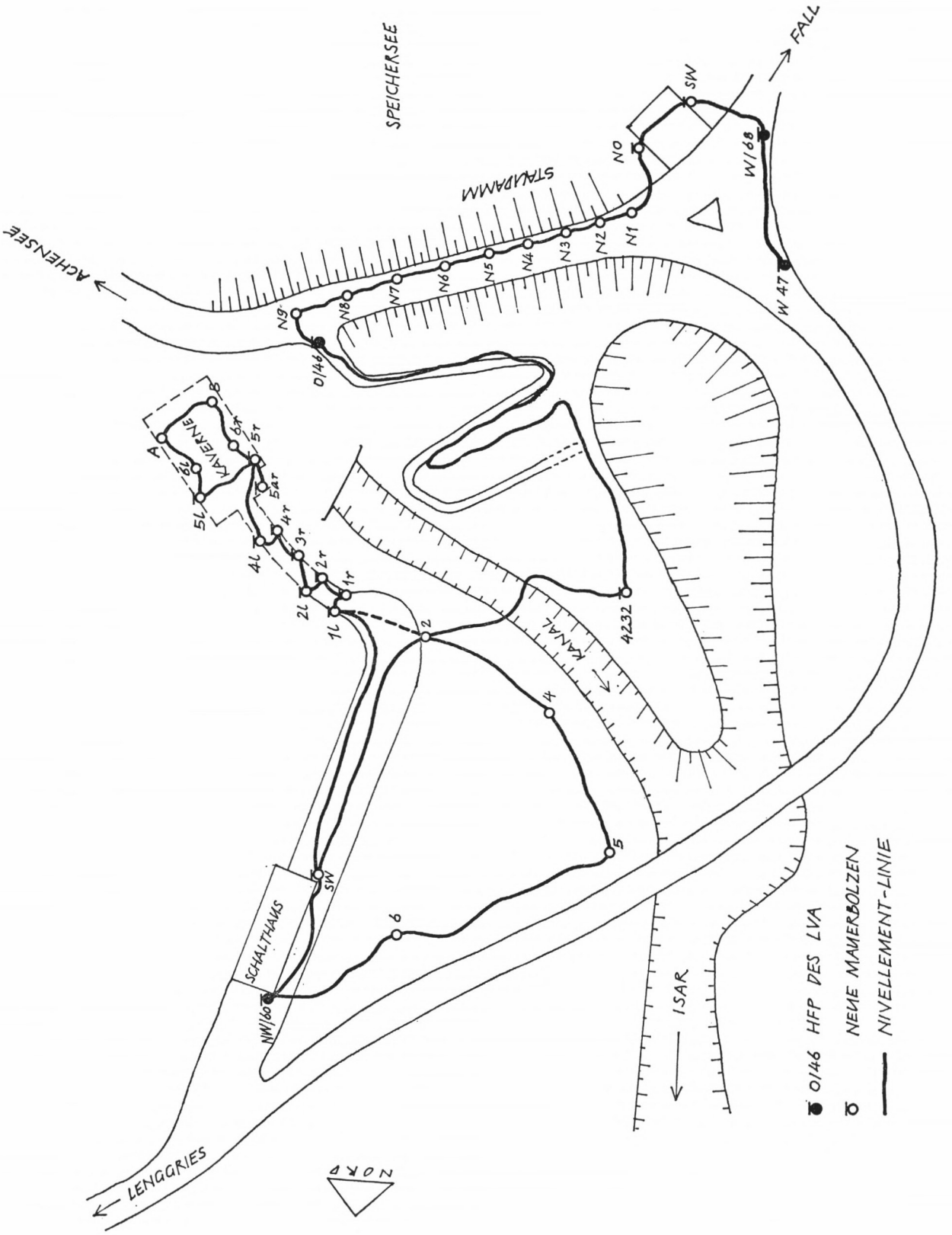
Zur unabhängigen Kontrolle der auf trigonometrischem Wege erhaltenen Ergebnisse wurden an jedem der freien Pfeiler – rechts 1, 3, 5; links 2, 4, 6 – am oberen Ende und etwa in der Mitte Pendelaufhängungen befestigt. An den unteren Pfeilerenden wurden Anlegeschienen montiert, die eine Millimeterskala trugen. An der Anlegeschiene konnte nun ein rechtwinkliges Meßdreieck – ebenfalls mit einer Millimeterteilung – verschoben werden, so daß man auch hier für jeden Pfeiler ein örtliches Koordinatensystem erhielt, auf das die jeweilige Pendellage bezogen werden konnte. Auch hierbei lag natürlich das Hauptgewicht auf der Bestimmung der Ordinaten-Unterschiede (senkrecht zur Kavernenlängsrichtung). Die Koordinaten der vorliegenden vier Meßreihen sind in Tabelle 16 miteinander verglichen.

Die in der Ordinatenrichtung gefundenen kleinen Änderungen sind belanglos. In der Abszissenrichtung sind die Änderungen etwas größer und weisen systematische Vorzeichen auf. Sie sind aber nicht so überzeugend, daß daraus Deformationen der Kaverne erkannt werden könnten.

c) Libellenbeobachtung zum Nachweis von Kippungen der Strebepfeiler

Während die beiden geschilderten Meßmethoden unmittelbar Pfeilerbewegungen erkennen lassen würden, beruht das vierte Verfahren darauf, aus dem Verhalten eines kleineren Pfeilerabschnittes durch Extrapolation Rückschlüsse auf den ganzen Pfeiler zu ziehen. Hierzu wurde ein Libellenprüfgerät in Verbindung mit einer Mikrometerschraube konstruiert. An einer Anlegekante, deren Auflageflächen etwa 500 mm auseinander liegen, ist etwa im rechten Winkel eine 10"-Libelle montiert worden. Die Libellenfassung wird auf der einen Seite durch Federzug in ein Gelenk gedrückt, während auf der anderen Seite Tangentialbewegungen durch eine Mikrometerschraube ausgeführt werden können. Gelenk und Angriffspunkt der Mikrometerschraube haben einen Abstand von 100,0 mm. Zur Eichung des Libellengeräts sind im genau gleichen Abstand von der Anlegekante kreisförmige Zielmarken angebracht, die an einem Prüfstand mit Hilfe eines Theodolits in der Vertikalen ausgerichtet werden können. Läßt man dann mit der Mikrometerschraube die Libelle zum Einspielen bringen, so hat man für die Beobachtung der Pfeiler eindeutige Bezugswerte. Im Gebäude der Kraftwerkzentrale wurde hierfür noch ein Prüfstand eingerichtet, so daß die Eich- oder Kontrollmessungen unmittelbar vor und nach jeder Beobachtungsreihe ausgeführt werden konnten. Die in die Pfeiler einbetonierten Anlegestellen sind so ausgebildet, daß man am oberen Ende eine punktförmige Auflage hat, während am unteren Ende die Auflage längs einer Linie erfolgt. Bei dieser Meßanordnung sind also Fehlereinflüsse infolge von Kippungen bzw. Verkantung des Meßgerätes ausgeschaltet. Die Ergebnisse dieser Meßmethode und ihr Vergleich sind in Tabelle 17 zusammengefaßt.

Auch bei dieser Meßanordnung liegen die Änderungen der Meßwerte an den einzelnen Meßstellen innerhalb der Meßgenauigkeit. Die große Änderung an der Meßstelle des Pfeilers 4 beruht auf einer groben Beschädigung der Meßmarken zwischen der dritten und vierten Messung.



Figur 13a. Nivellementsübersicht vom 20. 4. 1961

d) Direkte Abstandsmessungen zwischen Fels und Rückseite der Abschlußwand

Schließlich wurden an der Einlaufseite der Kaverne noch direkte Abstandsmessungen durchgeführt. An der Einlaufseite ist der gewachsene Fels gegenüber der Kavernenwand nicht verkleidet. Für eine direkte Abstandsmessung wurden in drei verschiedenen Höhen jeweils am linken Rand, in der Mitte und am rechten Rand in den Fels und gegenüberliegend an der hinteren Kavernenwand speziell angefertigte Bolzen eingebracht und ihre gegenseitigen Abstände mit einem selbstkonstruierten Abstandsmesser bei jeder Meßreihe überprüft. Der Abstandsmesser besteht aus einem Rohr, welches an dem einen Ende nacheinander zwei feste Endmaße aufnehmen kann, wobei die Grundlängen 500 mm bzw. 800 mm betragen. Am anderen Ende ist eine Meßspindel montiert, deren Gewindehöhe 2 mm beträgt. Die jeweilige Stellung der Meßspindel kann durch Schätzung an einer in 0,1 mm Abstandsänderung geteilten Hilfsskala ohne Mühe auf 0,02 mm genau abgelesen werden. Die Genauigkeit dieser Meßmethode ist mit 0,05 mm zu veranschlagen. Die Ergebnisse und der Vergleich der vorliegenden Meßreihen sind in Tabelle 18 zusammengestellt. Die Abstandsänderungen zeigen hier einen eindeutig systematischen Verlauf. Sie erreichen in der Meßstelle 5 etwa in der Mitte der Wand den größten Wert mit etwa 1,5 mm. Vergleicht man dieses Ergebnis mit den Feststellungen hinsichtlich der Lageänderung der Zielmarke M (Tabelle 15), so zeigt sich doch, daß sich offenbar die Mitte der Kunststeinwand an der Einlaufseite im Beobachtungszeitraum von 1960 bis 1964 um etwa 1,5 mm zum Fels hin ausgebuchtet hat.

Abschließend läßt sich aus den Feinmessungen in der Kaverne folgern, daß sich die Seitenwände der Kaverne in der Zeit von 1960 bis 1964 kaum verändert haben dürften. Etwaige Lageänderungen liegen zumindest vorerst unter der erreichbaren Beobachtungsgenauigkeit, die etwa 0,5 mm beträgt. Dagegen stimmen die Ergebnisse der Triangulation und der Abstandsmessungen an der Stirnwand der Einlaufseite gut überein. Das Maximum der Lageänderungen dieser Wand liegt in der Mitte und beträgt etwa 1,5 mm. Die Abstandsmessungen an den neun Meßstellen an der Einlaufseite zeigen, daß die Durchbiegung in der Mitte der Wand nach den Seiten hin abklingt.

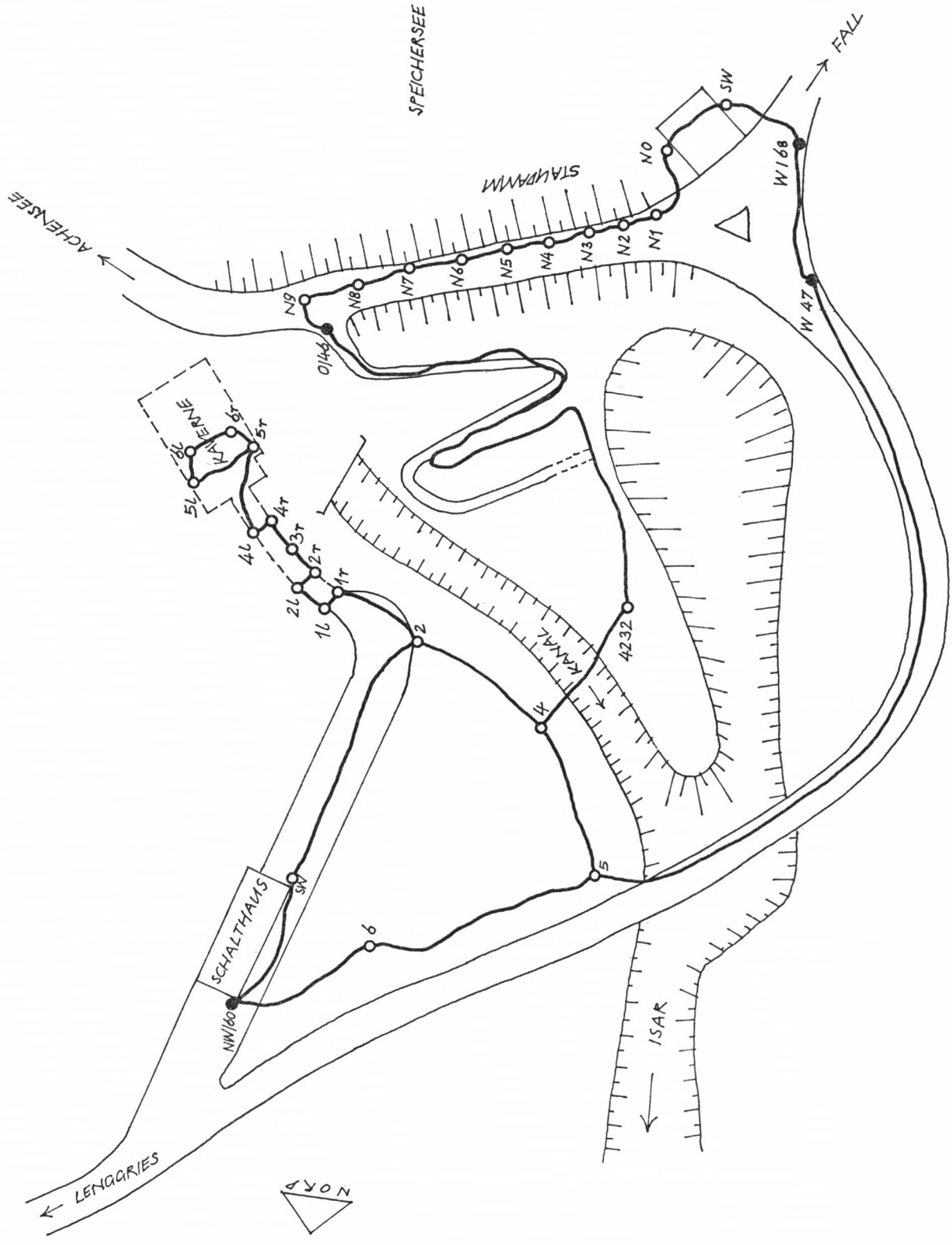
3. UNTERSUCHUNG VON HÖHENÄNDERUNGEN

3.1 AUSGANGSNIVELLEMENTS UND ALLGEMEINER HÖHENVERGLEICH

Im Gebiet des Sylvensteindammes lagen 1960 folgende Höhenpunkte vor:

HB Schalthaus, Bolzen SW,
HB Schalthaus, Bolzen NW/1960,
HB O/46 Sylvenstein,
HB W/68 Hennenköpfl,
EW/47 Hennenköpfl.

In der Zwischenzeit wurden auch im Zufahrtsstollen zur Kaverne 8 Höhenbolzen, in der Kaverne selbst weitere 6 Höhenbolzen und schließlich noch der HB 42 32 am Böschungsfuß eingebracht. Weitere Höhenbolzen PP 1 $\equiv N_1$ bis PP 9 $\equiv N_9$ wurden auf dem Damm (Bordsteinnieten) sowie 2 Bolzen am Überlauf SW und NO vermarkt.



Figur 13b. Nivellementsübersicht vom 1. 10. 1964

Zur Untersuchung der Stabilität der Höhenbolzen der Ausgangspunkte wurden am 20. 4. 1961 und am 1. 10. 1964 über das Gesamtgebiet Präzisionsnivellements in unabhängiger Hin- und Rückmessung mit Schleifenausgleichung durchgeführt. (Figur 13 a nach 13 b). Für die Auswertung der Feinnivellements wurde als Ausgangspunkt der Höhenbolzen O/46 an der Ostseite des Staudammes am Fuß des Sylvensteins mit der amtlichen Meereshöhe H = 766,8116 m ü. NN verwendet. Damit ergeben sich für die Höhenbolzen an den Felswänden und am Schalthaus die in der Tabelle 19 ausgewiesenen Meereshöhen.

Der Vergleich der beiden Meßreihen zeigt, daß zwischen dem Ausgangsbolzen HB O/46 am Sylvenstein und dem Anschlußbolzen HB 1 l am Eingang der Kaverne während des Beobachtungszeitraumes von $3^1/_2$ Jahren keine Höhenänderungen nachgewiesen werden können. Dagegen überschreiten die Höhenänderungen der Bolzen am Schalthaus und am Böschungsfuß des Dammes die Meßgenauigkeit wesentlich. Sie weisen auf Hebungen oder Senkungen gegenüber dem Ausgangspunkt HB O/46 – Sylvenstein hin. Dies gilt in gewissem Grad auch für die Höhenunterschiede zwischen den Höhenfestpunkten am Sylvenstein und am Hennenköpfl in Höhe der Dammkrone. Zur Untersuchung etwaiger Höhenänderungen des Dammes und der Kaverne werden daher die in Tabelle 19 für die Höhenpunkte HB O/46 und HB 1 l ausgewiesenen Höhen festgehalten.

3.2 UNTERSUCHUNG VON HÖHENÄNDERUNGEN DES STAUDAMMES

Die auf dem Staudamm angebrachten Höhenbolzen PP 1 ≡ N 1 bis PP 9 ≡ N 9 wurden durch insgesamt vier Präzisionsnivellements überprüft. Die Beobachtungen und die Berechnung der Meereshöhen erfolgte dabei in jedem Fall im Anschluß an den Ausgangsbolzen HB O/46 am Ostende des Staudammes. Für den Vergleich der verschiedenen Meßreihen wurden die beiden Beobachtungen aus dem Jahre 1961 gemittelt. Die Ergebnisse sind in Tabelle 20 ausgewiesen. Hiernach sind die Kontrollpunkte 2 bis 8 von 1961 bis 1964 um nahezu 2 cm abgesunken. Die Absenkung beträgt in den Randpunkten 1 und 9 etwa 1 cm. In den Festpunkten am Überlauf und am Hennenköpfl ergaben sich dagegen Hebungen von 1 bis 1,5 mm. Die Kontrollnivellements über den Staudamm zeigen, daß offenbar die Höhen im Bereich des Sylvenstein-Staudammes noch nicht zur Ruhe gekommen sind und weiterer Untersuchungen bedürfen.

3.3 UNTERSUCHUNGEN VON HÖHENÄNDERUNGEN IM ZUFAHRTSSTOLLEN UND IN DER KAVERNE

Zur Höhenkontrolle der Stollenwände und der Kaverne wurden vom 1. 4. 1960 bis zum 1. 10. 1964 insgesamt 8 Feinnivellements (hin und zurück) durch den Zufahrtsstollen bis zur Kaverne durchgeführt. Dabei beziehen sich die ersten drei Meßreihen nur auf den Stollen, während die folgenden Messungen auch in die Kaverne geführt wurden. Mit Rücksicht auf die Änderung der Höhen der Festpunkte am Schalthaus wurden alle Höhen an den Höhenbolzen HP 1 l am Eingang des Zufahrtsstollens angeschlossen. Die Ergebnisse dieser Feinnivellements sind in Tabelle 21 zusammengestellt. Hiernach sind die Höhenbolzen im Stollen in Richtung auf die Kaverne zu im Beobachtungszeitraum nahezu gleichmäßig um etwa 1 mm abgesunken. Obwohl die Beobachtungsgenauigkeit bei den einzelnen Meßreihen ± 0,2 bis ± 0,3 mm beträgt und die gefundenen Höhenänderungen damit den Maximalfehler überschreiten, sollten zur Erhärtung der Meßergebnisse in gleichmäßigen Zeitabständen wei-

tere Kontrollmessungen durchgeführt werden. Dies gilt insbesondere auch für den Höhenunterschied zwischen dem Ausgangsbolzen 1 l am Stolleneingang und dem Bolzen SW am Schalthaus. Die vorliegenden Meßwerte lassen auf systematische Höhenänderungen des Schalthauses schließen, die eventuell jahreszeitlich bedingt sein können und Beträge bis zu 3,0 mm erreichen.

4. SCHLUSSBEMERKUNGEN

Zusammenfassend kann festgestellt werden:

1. Die Überprüfung von Horizontalbewegungen des ganzen Sylvensteinfelsens ergab keine Anhaltspunkte, daß diese Bewegungen die Genauigkeit der Triangulation von $\pm$ 3 mm überschreiten.
2. Für die Dammkrone des Sylvensteindammes ergab sich eine geringe Horizontalbewegung von maximal 5 mm talabwärts, wobei zu beachten ist, daß die Vermarkungen in den Bordsteinen der Alpenstraße nicht die beste Lösung darstellen.
3. Für die Kaverne sind Lageänderungen kaum erkennbar; geringe Deformationen an der Stirnwand sind möglich.
4. Höhenänderungen zwischen den Höhenfestpunkten an den Felswänden, die den Staudamm umschließen, und am Schalthaus in der Größenordnung von 3 mm sind nachweisbar.
5. Die Krone des Sylvensteindammes hat sich zwischen 1960 und 1964 um rund zwei Zentimeter gesenkt.
6. Die Absenkung der Kaverne überschreitet im Beobachtungszeitraum kaum einen Millimeter.

Der Einfluß der verschiedenen Stauhöhen wurde bei allen Untersuchungen nicht berücksichtigt, weil sie mit Ausnahme der Aprilmessungen 1960 und 1961 ziemlich gleich hoch lagen. Sie lagen

am 5. 4. 1960 bei 743,9 m ü. NN
am 9. 6. 1960 bei 751,6 m ü. NN
am 14. 7. 1960 bei 752,1 m ü. NN
am 20. 4. 1961 bei 741,1 m ü. NN
am 1. 6. 1961 bei 751,7 m ü. NN
am 28. 6. 1962 bei 750,9 m ü. NN
am 1. 9. 1964 bei 752,5 m ü. NN

Jährliche Überprüfungen werden empfohlen.

TABELLEN

Tabelle 1 Zusammenstellung der Richtungsbeobachtungen

Ziel	April 1960	Mai/Juni 1960	Juli 1960	Mittel 1960	April 1961	Juni 1961	August 1964
	g	g	g	g	g	g	g
Standpunkt TP 1							
2	0	0	0	0	0	0	0
3	66,9236	66,9244	66,9242	66,9241	66,9238	66,9239	66,9245
4	99,7869	99,7876	99,7875	99,7873	99,7878	99,7873	99,7874
5	111,8064	111,8074	111,8067	111,8068	111,8068	111,8062	111,8058
3a	—	—	—	—	—	55,8407	55,8396
6	—	—	—	—	—	—	101,1776
ZM 1	70,4056	70,4063	70,4059	—	70,4056	—	70,4054
m	± 1,6cc	± 1,3cc	± 1,3cc	—	± 2,5cc	± 0,9cc	± 2,8cc
Standpunkt TP 2							
1	0	0	0	0	0	0	0
3	334,5919	334,5920	334,5918	334,5919	334,5925	334,5919	334,5927
4	348,0766	348,0770	348,0766	348,0767	348,0770	348,0766	348,0767
5	357,2383	357,2388	357,2382	357,2384	357,2385	357,2378	357,2371
3a	—	—	—	—	—	352,4754	352,4743
9	—	—	—	—	—	—	360,6587
ZM 1	333,3035	333,3036	—	—	333,3042	—	333,3027
m	± 1,3cc	± 1,4cc	± 1,6cc	—	± 2,0cc	± 0,7cc	± 3,9cc
Standpunkt TP 3							
4	0	0	0	0	0	0	0
5	17,8762	17,8752	17,8754	17,8756	17,8753	17,8751	17,8740
1	92,8447	92,8440	92,8442	92,8443	92,8432	92,8436	92,8448
2	160,5133	160,5122	160,5112	160,5122	160,5118	160,5117	160,5123
3a	—	—	—	—	—	115,9707	115,9744
ZM 1	343,0447	343,0444	343,0434	343,0442	343,0411	—	343,0357
m	± 1,0cc	± 1,2cc	± 1,2cc	—	± 1,6cc	± 0,9cc	± 2,3cc
Standpunkt TP 4							
1	0	0	0	0	0	0	0
2	48,2897	48,2900	48,2897	48,2898	48,2904	48,2892	48,2896
3	74,2928	74,2935	74,2930	74,2931	74,2930	74,2925	74,2922
5	338,8473	338,8482	338,8465	338,8473	338,8473	338,8444	338,8438
6	205,0526	205,0501	205,0524	205,0517	205,0516	—	205,0516
7	301,5958	301,5963	301,5962	301,5961	301,5960	—	301,5950
8	—	—	—	—	158,9350	—	158,9356
9	—	—	—	—	333,8913	—	333,8907
3a	—	—	—	—	—	43,3628	43,3648
ZM 2	304,3307	304,3307	—	—	304,3310	—	304,3304
ZM 3	311,3028	311,2028	311,3034	—	311,3033	—	311,3027
ZM 4	334,0556	334,0556	334,0539	—	—	—	—
ZM 5	151,0944	151,0959	—	—	—	—	—
ZM 6	185,4716	185,4704	—	—	—	—	—
ZM 7	200,4306	200,4289	200,4311	—	200,4296	—	—
m	± 2,1cc	± 3,0cc	± 2,7cc	—	± 2,7cc	± 0,8cc	± 2,3cc

Fortsetzung Seite 38

Tabelle 1 (Forts.) Zusammenstellung der Richtungsbeobachtungen

Ziel	April 1960	Mai/Juni 1960	Juli 1960	Mittel 1960	April 1961	Juni 1961	August 1964
	g	g	g	g	g	g	g
Standpunkt TP 5							
1	o	o	o	o	o	o	o
2	45,4322	45,4322	45,4319	45,4321	45,4318	45,4325	45,4313
3	80,1499	80,1503	80,1497	80,1500	80,1493	80,1502	80,1482
4	126,8284	126,8286	126,8261	126,8277	126,8283	126,8275	126,8262
6	170,6733	170,6736	170,6738	170,6736	170,6730	—	170,6739
7	274,4826	274,4831	274,4834	274,4830	274,4840	—	274,4800
8	—	—	—	—	133,3930	—	133,3920
9	—	—	—	—	310,7716	—	310,7806
3a	—	—	—	—	—	50,4159	50,4153
ZM 4	311,6352	311,6344	311,6350	—	—	—	—
ZM 5	130,1419	130,1428	—	—	—	—	—
ZM 6	148,7412	—	—	—	—	—	—
ZM 7	161,8267	161,8276	161,8270	—	161,8272	—	—
m	± 1,4cc	± 1,9cc	± 3,0cc	—	± 1,9cc	± 1,1cc	± 2,3cc
Standpunkt TP 6							
7	o	o	o	o	o	—	o
5	46,1824	46,1831	46,1831	46,1829	46,1827	—	46,1831
4	68,5424	68,5422	68,5430	68,5425	68,5418	—	68,5416
9	—	—	—	—	37,9064	—	37,9067
1	—	—	—	—	—	—	64,8808
ZM 2	2,5608	2,5609	—	—	2,5608	—	2,5604
ZM 3	16,6523	16,6524	16,6526	—	16,6524	—	16,6523
ZM 4	37,7729	37,7729	37,7733	—	—	—	—
m	± 1,4cc	± 1,1cc	± 1,7cc	—	± 1,6cc	—	± 0,8cc
Standpunkt TP 7							
5	o	o	o	o	o	—	o
4	15,0936	15,0938	15,0938	15,0937	15,0926	—	15,0915
6	50,0075	50,0083	50,0078	50,0079	50,0064	—	50,0048
8	—	—	—	—	22,1820	—	22,1804
ZM 5	19,9929	19,9929	—	—	—	—	—
ZM 6	31,1800	31,1808	—	—	—	—	—
ZM 7	39,8550	39,8558	39,8558	—	39,8540	—	—
ZM 2	342,0056	342,0064	—	—	342,0076	—	342,0039
m	± 2,4cc	± 2,7cc	± 1,9cc	—	± 1,4cc	—	± 1,6cc
Standpunkt TP 8							
9	—	—	—	—	o	—	o
5	—	—	—	—	5,2350	—	5,2333
4	—	—	—	—	18,7570	—	18,7570
7	—	—	—	—	368,5070	—	368,5073
ZM 2	—	—	—	—	371,0771	—	371,0773
ZM 3	—	—	—	—	379,3488	—	379,3489
m	—	—	—	—	± 2,2cc	—	± 2,0cc

Tabelle 1 (Forts.) Zusammenstellung der Richtungsbeobachtungen

Ziel	April 1960	Mai/Juni 1960	Juli 1960	Mittel 1960	April 1961	Juni 1961	August 1964
	g	g	g	g	g	g	g
Standpunkt TP 9							
5	—	—	—	—	0	—	0
4	—	—	—	—	11,1006	—	11,0921
8	—	—	—	—	17,3870	—	17,3783
6	—	—	—	—	51,6251	—	51,6166
2	—	—	—	—	—	—	338,0733
m	—	—	—	—	± 1,0cc	—	± 1,2cc
Standpunkt TP 3a							
1	—	—	—	—	—	0	0
2	—	—	—	—	—	96,6352	96,6342
3	—	—	—	—	—	234,2102	234,2137
4	—	—	—	—	—	287,3103	287,3108
5	—	—	—	—	—	306,3812	306,3804
m	—	—	—	—	—	± 1,1cc	± 1,1cc

Tabelle 2. Zusammenstellung der quadratischen Mittelwerte der mittleren Fehler einer beobachteten Richtung

	April 1960	Mai/Juni 1960	Juli 1960	Mittel 1960	April 1961	Juni 1961	August 1964
	cc	cc	cc	cc	cc	cc	cc
Mittlere Beobachtungsfehler aus den Richtungsbeobachtungen:							
m	± 1,7	± 2,1	± 2,0	—	± 1,9	± 0,9	± 2,1
Mittlere Richtungsfehler nach Ferrero:							
m	± 2,9	± 5,6	± 4,0	—	± 2,2	± 3,0	± 4,0
Mittlere Richtungsfehler aus der Ausgleichung:							
a) des Dreiecksnetzes:							
m_0	± 2,4₁	± 5,2₉	± 3,9₈	—	± 2,0₉	± 3,3₅	± 3,4₃
b) der Zielmarken:							
m_0	± 2,0₁	± 3,2₁	± 3,5₂	—	± 2,7₇	—	± 4,5₈

Tabelle 3. Zusammenstellung der ausgeglichenen Koordinaten der Dreieckspunkte

Punkt	April 1960	Juni 1960	Juli 1960	Mittel 1960	April 1961	Juni 1961	Mittel 1961	August 1964
	m mm	m mm	m mm	m mm	m mm	m mm	m mm	m mm
	x-Koordinate							
TP 1	100,000 —	100,000 —	100,000 —	100,000 —	100,000 —	100,000 —	100,000 —	100,000 —
TP 2	100,000 —	100,000 —	100,000 —	100,000 —	100,000 —	100,000 —	100,000 —	100,000 —
TP 3	530,978 ± 1,8	530,979 ± 3,9	530,985 ± 2,9	530,981 ± 2,3	530,976 ± 1,5	530,980 ± 2,0	530,978 ± 2,3	530,982 ± 2,0
TP 4	636,513 ± 2,4	636,510 ± 5,3	636,517 ± 4,0	636,513 ± 2,3	636,507 ± 2,1	636,511 ± 3,1	636,509 ± 2,1	636,516 ± 3,1
TP 5	573,581 ± 2,4	573,578 ± 5,3	573,587 ± 4,0	573,582 ± 2,6	573,578 ± 2,1	573,585 ± 3,0	573,581 ± 3,8	573,595 ± 3,0
TP 6	839,764 ± 5,2	839,766 ± 11,4	839,776 ± 8,6	839,769 ± 3,8	839,760 ± 4,3	—	—	839,770 ± 6,1
TP 7	629,038 ± 3,2	629,033 ± 7,1	629,041 ± 5,4	629,037 ± 2,3	629,028 ± 2,8	—	—	629,041 ± 4,2
TP 8	—	—	—	—	679,456 ± 2,6	—	—	679,466 ± 3,9
TP 9	—	—	—	—	556,400 ± 2,2	—	—	556,410 ± 3,2
TP 3a	—	—	—	—	—	365,016 ± 1,4	—	365,019 ± 1,4
	y-Koordinate							
TP 1	606,832 —	606,832 —	606,832 —	606,832 —	606,832 —	606,832 —	606,832 —	606,832 —
TP 2	100,000 —	100,000 —	100,000 —	100,000 —	100,000 —	100,000 —	100,000 —	100,000 —
TP 3	360,321 ± 2,1	360,325 ± 4,5	360,322 ± 3,4	360,323 ± 1,3	360,323 ± 1,8	360,321 ± 2,7	360,322 ± 1,1	360,325 ± 2,7
TP 4	605,034 ± 2,0	605,041 ± 4,3	605,038 ± 3,2	605,038 ± 1,9	605,041 ± 1,7	605,037 ± 2,6	605,039 ± 2,1	605,039 ± 2,5
TP 5	695,679 ± 1,8	695,682 ± 4,0	695,684 ± 3,0	695,682 ± 1,4	695,682 ± 1,6	695,679 ± 2,5	695,681 ± 1,6	695,678 ± 2,4
TP 6	620,514 ± 2,6	620,518 ± 5,6	620,520 ± 4,2	620,517 ± 1,7	620,519 ± 2,2	—	—	620,516 ± 3,3
TP 7	949,172 ± 5,9	949,180 ± 13,0	949,184 ± 9,8	949,179 ± 3,7	949,182 ± 4,9	—	—	949,179 ± 6,7
TP 8	—	—	—	—	572,500 ± 2,2	—	—	572,497 ± 3,2
TP 9	—	—	—	—	742,067 ± 2,3	—	—	742,067 ± 3,1
TP 3a	—	—	—	—	—	386,471 ± 2,0		386,466 ± 2,0
m_0^{ee}	± 2,4	± 5,3	± 4,0		± 2,1	± 3,4		± 3,4

Tabelle 4. Zusammenstellung der ausgeglichenen Koordinaten der Zielmarken

Punkt	April 1960		Juni 1960		Juli 1960		Mittel 1960			April 1961		August 1964	
	Koord.	m	Koord.	m	Koord.	m	Koord.	mittlerer Fehler aus m	mittlerer Fehler aus Differenzen	Koord.	m	Koord.	m
	m	mm	m	mm	m	mm	m	mm	mm	m	mm	m	mm
Abszissen x													
ZM 1	570,047	± 2,5	570,049	± 4,0	570,051	± 4,7	570,049	± 3,8	± 1,2	570,043	± 3,5	570,051	± 5,5
ZM 2	616,666	± 0,8	616,662	± 1,4	—		616,664	± 1,1	± 1,2	616,656	± 1,0	616,669	± 1,6
ZM 3	594,443	± 1,1	594,437	± 1,7	594,442	± 1,9	594,440	± 1,6	± 1,9	594,432	± 1,3	594,443	± 2,1
ZM 4	555,217	± 0,6	555,213	± 0,9	555,222	± 1,0	555,217	± 0,9	± 2,5	—		—	
ZM 5	665,939	± 1,3	665,935	± 2,1	—		665,937	± 1,8	± 1,8	—		—	
ZM 6	732,270	± 1,2	732,271	± 2,5	—		732,271	± 2,0	± 0,8	—		—	
ZM 7	778,672	± 1,3	778,677	± 2,0	778,686	± 2,2	778,679	± 1,9	± 4,1	778,670	± 1,7	—	
Ordinaten y													
ZM 1	371,091	± 0,7	371,096	± 1,1	371,091	± 1,3	371,093	± 1,1	± 1,7	371,091	± 1,0	371,089	± 1,5
ZM 2	942,327	± 0,4	942,336	± 0,7	—		942,332	± 0,6	± 4,3	942,337	± 0,5	942,334	± 0,8
ZM 3	844,099	± 2,1	844,110	± 3,4	844,112	± 3,8	844,107	± 3,2	± 4,3	844,108	± 2,9	844,107	± 4,7
ZM 4	743,279	± 1,4	743,286	± 2,2	743,286	± 2,4	743,284	± 2,1	± 2,4	—		—	
ZM 5	576,411	± 1,3	576,420	± 2,1	—		576,416	± 1,8	± 4,5	—		—	
ZM 6	582,456	± 0,5	582,460	± 0,8	—		582,458	± 0,7	± 2,2	—		—	
ZM 7	605,520	± 0,5	605,524	± 0,7	605,424	± 0,8	605,523	± 0,7	± 1,6	605,526	± 0,6	—	
m_0^{cc}	± 2,0		± 3,2		± 3,5					± 2,8		± 4,6	

Tabelle 5a. Zusammenstellung und Vergleich der transformierten Koordinaten der Dreieckspunkte

Punkt	April 1960	Juni 1960	Juli 1960	Mittel 1960	April 1961	April 1961 minus Mittel 1960	Juni 1961	Juni 1961 minus IV/1961	Juni 1961 minus Mittel 1960	Mittel 1961	Mittel 1961 minus Mittel 1960	August 1964	Mittel 1964 minus Mittel 1961	Mittel 1964 minus Mittel 1960
	m	m	m	m	m	mm	m	mm	mm	m	mm	m	mm	mm
	x-Koordinaten													
TP 1	100,000	100,002	99,999	100,000	100,003	+ 3	100,000	— 3	0	100,001	+ 1	99,998	— 3	— 2
TP 2	100,000	99,998	99,999	99,999	99,999	0	100,000	+ 1	+ 1	99,999	0	99,999	0	0
TP 3	530,978	530,979	530,980	530,979	530,977	— 2	530,979	+ 2	0	530,978	— 1	530,977	— 1	— 2
TP 4	636,513	636,511	636,512	636,512	636,511	— 1	636,510	— 1	— 2	636,510	— 2	636,509	— 1	— 3
TP 5	573,581	573,581	573,582	573,581	573,582	+ 1	573,584	+ 2	+ 3	573,583	+ 2	573,589	+ 6	+ 8
TP 6	839,764	839,768	839,769	839,767	839,765	— 2	—			—		839,762	— 3	— 5
TP 7	629,039	629,037	629,036	629,037	629,034	— 3	—			—		629,034	0	— 3
TP 8	—	—	—	—	679,460		—			—		679,459	— 1	
TP 9	—	—	—	—	556,405		—			—		556,403	— 2	
TP 3a	—	—	—	—	—		365,015			—		365,015	0	
	y-Koordinaten													
TP 1	606,832	606,831	606,829	606,831	606,832	+ 1	606,831	— 1	0	606,832	+ 1	606,829	— 3	— 2
TP 2	100,000	100,000	100,002	100,001	99,999	— 2	100,000	+ 1	— 1	100,000	— 1	100,000	0	— 1
TP 3	360,321	360,321	360,321	360,321	360,319	— 2	360,321	+ 2	0	360,320	— 1	360,325	+ 5	+ 4
TP 4	605,034	605,036	605,034	605,035	605,037	+ 2	605,036	— 1	+ 1	605,037	+ 2	605,037	0	+ 2
TP 5	695,679	695,678	695,680	695,679	695,679	0	695,678	— 1	— 1	695,679	0	695,675	— 4	— 4
TP 6	620,514	620,511	620,516	620,514	620,514	0	—			—		620,515	+ 1	+ 1
TP 7	949,171	949,175	949,178	949,175	949,179	+ 4	—			—		949,175	— 4	0
TP 8	—	—	—	—	572,496		—			—		572,496	0	
TP 9	—	—	—	—	742,064		—			—		742,064	0	
TP 3a	—	—	—	—	—		386,471			—		386,465	— 6	

Tabelle 5b. Vergleich der transformierten Koordinaten der Zielmarken und Zusammenstellung der Transformationskonstanten

Punkt	April 1960 Ausgangswerte	Juni 1960	Juli 1960	Mittel 1960	April 1961	April 1961 minus Mittel 1960	Juni 1961	August 1964	August 1964 minus Mittel 1961	August 1964 minus Mittel 1960
	m	m	m	m	m	mm	m	m	mm	mm
	Abszissen = x									
ZM 1	570,047	570,049	570,046	570,047	570,045	— 2	—	570,046	+ 1	— 1
ZM 2	614,666	614,667	—	614,666	614,662	— 4	—	614,662	0	— 4
ZM 3	594,443	594,441	594,437	594,440	594,437	— 3	—	594,436	— 1	— 4
ZM 4	555,217	555,216	555,217	555,217	—		—	—		
ZM 5	665,939	665,937	—	665,938	—		—	—		
ZM 6	732,270	732,273	—	732,271	—		—	—		
ZM 7	778,672	778,679	778,679	778,677	778,674	— 3	—	—		
	Ordinaten = y									
ZM 1	371,091	371,092	371,090	371,091	371,087	— 4		371,089	+ 2	— 2
ZM 2	942,327	942,331	—	942,329	942,334	+ 5		942,330	— 4	+ 1
ZM 3	844,099	844,106	844,107	844,104	844,105	+ 1		844,104	— 1	0
ZM 4	743,279	743,282	743,282	743,281	—		—	—		
ZM 5	576,411	576,415	—	576,413	—		—	—		
ZM 6	582,456	582,454	—	582,455	—		—	—		
ZM 7	605,519	605,518	605,521	605,519	605,521	+ 2				
dx (mm)	Transformationskonstante	— 0,9	+ 3,6		+ 2,2		— 1,1	+ 4,1		
dy (mm)		+ 2,8	+ 1,8		— 2,2		— 0,3	+ 1,4		
m		1.000 000	0.999 991		1.000 002		0.999 998	0.999 993		
v^g		399,9995	399,9999		399,9995		0,000 000	0,0002		

Tabelle 6. Maßstabsüberprüfung

Jahr der Messung	Seite	Meßmethode	Gemessene Länge	Reduktion	Länge im Messungshorizont	Entfernung aus Koordinaten	Δ
			m	mm	m	m	mm
1960	1–2	2 m Bala Hiba Mitte	506,8320	0,0	506,832	506,830	— 2
1960	4–5	2 m Bala Hiba Mitte	110,3501	+ 0,4	110,350	110,348	— 2
1960	4–5	Invardrähte	110,3466	+ 0,4	110,347	110,348	+ 1
1961	8–9	2 m Bala Feinpolyg.	209,5147	+ 0,8	209,515	209,514	— 1
1964	8–9	2 m Bala Feinpolyg.	209,5135	+ 0,8	209,514	209,514	0
1961	3–3a	Invardrähte	168,0116	+ 1,7	168,013	168,012	— 1
1964	3–3a	2 m Bala Hiba Mitte	168,0052	+ 1,7	168,007	168,008	+ 1

Tabelle 7. Vergleich der Koordinaten der Polygonpunkte auf dem Damm

Punkt	1. Messung[1]) 19. 4. 1961	2. Messung 6. 8. 1961	3. Messung 28. 6. 1962	4. Messung 29. 9. 1964	Differenzen Messung 1.–2.	2.–3.	3.–4.	1.–4.
	m	m	m	m	mm	mm	mm	mm
y-Koordinaten								
TP 8	100,0000	100,0000	100,0000	100,0000	0,0	0,0	0,0	0,0
PP 9	95,4574	95,4596	95,4564	95,4561	— 2,2	+ 3,2	+ 0,3	+ 1,3
PP 8	102,9157	102,9162	102,9167	102,9206	— 0,5	— 0,5	— 3,9	— 4,9
PP 7	104,2425	104,2422	104,2420	104,2453	+ 0,3	+ 0,2	— 3,3	— 2,8
PP 6	103,9492	103,9499	103,9495	103,9531	— 0,7	+ 0,4	— 3,6	— 3,9
PP 5	103,6348	103,6370	103,6343	103,6364	— 2,2	+ 2,7	— 2,1	— 1,6
PP 4	103,3210	103,3228	103,3222	103,3241	— 1,8	+ 0,6	— 1,9	— 3,1
PP 3	103,0195	103,0191	103,0201	103,0217	+ 0,4	— 1,0	— 1,6	— 2,2
PP 2	102,7192	102,7184	102,7192	102,7217	+ 0,8	— 0,8	— 2,5	— 2,5
PP 1	101,4551	101,4542	101,4534	101,4524	+ 0,9	+ 0,8	+ 1,0	+ 2,7
TP 9	100,0000	100,0000	100,0000	100,0000	0,0	0,0	0,0	0,0
x-Koordinaten								
TP 8	100,0000	100,0000	100,0000	100,0000	0,0	0,0	0,0	0,0
PP 9	108,9429	108,9407	108,9434	108,9452	+ 2,2	— 2,7	— 1,8	— 2,3
PP 8	127,3659	127,3650	127,3649	127,3646	+ 0,9	+ 0,1	+ 0,3	+ 1,3
PP 7	147,4286	147,4263	147,4283	147,4294	+ 2,3	— 2,0	— 1,1	— 0,8
PP 6	167,5843	167,5849	167,5850	167,5860	— 0,6	— 0,1	— 1,0	— 1,7
PP 5	187,6002	187,6009	187,6012	187,6018	— 0,7	— 0,3	— 0,6	— 1,6
PP 4	207,5258	207,5270	207,5269	207,5282	— 1,2	+ 0,1	— 1,3	— 2,4
PP 3	227,6994	227,7012	227,7014	227,7022	— 1,8	— 0,2	— 0,8	— 2,8
PP 2	247,6931	247,6979	247,6953	247,6931	— 4,8	+ 2,6	+ 2,2	0,0
PP 1	267,5156	267,5219	267,5196	267,5163	— 6,3	+ 2,3	+ 3,3	— 0,7
TP 9	309,5085	309,5147	309,5160	309,5135	— 6,2	— 1,3	+ 2,5	— 5,0

[1] Nach dieser Messung wurde der Pfeiler TP 8 von einem Lastkraftwagen angefahren, so daß eigentlich nur die 2., 3. und 4. Messung vergleichbar sind.

Tabelle 8. Vergleich der Strecken des Polygonzuges über den Staudamm

Punkt	1. Messung 19. 4. 1961	2. Messung 6. 8. 1961	3. Messung 28. 6. 1962	4. Messung 29. 9. 1964	Streckendifferenzen			
					1.–2.	2.–3.	3.–4.	1.–4.
					Messung			
	m	m	m	m	mm	mm	mm	mm
TP 8								
PP 9	10,0305	10,0276	10,0314	10,0331	+ 2,9	— 3,8	— 1,7	— 2,6
PP 8	19,8755	19,8760	19,8748	19,8744	— 0,5	+ 1,2	+ 0,4	+ 1,1
PP 7	20,1065	20,1050	20,1071	20,1085	+ 1,5	— 2,1	— 1,4	— 2,0
PP 6	20,1579	20,1607	20,1588	20,1587	— 2,8	+ 1,9	+ 0,1	— 0,8
PP 5	20,0184	20,0185	20,0187	20,0183	— 0,1	— 0,2	+ 0,4	+ 0,1
PP 4	19,9281	19,9286	19,9281	19,9288	— 0,5	+ 0,5	— 0,7	— 0,7
PP 3	20,1758	20,1765	20,1767	20,1763	— 0,7	— 0,2	+ 0,4	— 0,5
PP 2	19,9960	19,9989	19,9962	19,9931	— 2,9	+ 2,7	+ 3,1	+ 2,9
PP 1	19,8628	19,8643	19,8646	19,8638	— 1,5	— 0,3	+ 0,8	— 1,0
TP 9	42,0181	42,0180	42,0215	42,0223	+ 0,1	— 3,5	— 0,8	— 4,2
Σ	212,1696	212,1741	212,1779	212,1773	— 4,5	— 3,8	+ 0,6	— 7,7

Tabelle 9. Vergleich der Winkel des Polygonzuges über den Staudamm

Punkt	1. Messung 19. 4. 1961	2. Messung 6. 8. 1961	3. Messung 28. 6. 1962	4. Messung 29. 9. 1964	Winkeldifferenzen			
					1.–2.	2.–3.	3.–4.	1.–4.
					Messung			
	g	g	g	g	cc	cc	cc	cc
TP 9								
TP 8	370,0793	370,0845	370,0756	370,0786	— 52	+ 89	— 30	+ 7
PP 9	254,4088	254,3969	254,4224	254,4330	+ 119	— 255	— 106	— 242
PP 8	179,7192	179,7192	179,7027	179,6862	— 48	+ 165	+ 165	+ 282
PP 7	194,8693	194,8750	194,8780	194,8803	— 57	— 30	— 23	— 110
PP 6	199,9256	199,9278	199,9220	199,9159	— 22	+ 58	+ 61	+ 97
PP 5	199,9969	199,9914	200,0060	200,0096	+ 55	— 146	— 36	— 127
PP 4	200,0504	200,0452	200,0442	200,0440	+ 52	+ 10	+ 2	+ 64
PP 3	199,9947	200,0010	199,9958	199,9992	— 63	+ 52	— 34	— 45
PP 2	196,9012	196,9028	196,8994	196,8850	— 16	+ 34	+ 144	+ 162
PP 1	201,8486	201,8505	201,8576	201,8702	— 19	— 71	— 126	— 216
TP 9	2,2039	2,2043	2,2029	2,2014	— 4	+ 14	+ 15	+ 25
TP 8								
Σ	2199,9931	2199,9986	2200,0066	2200,0034	— 55	— 80	+ 32	— 103

Tabelle 10. Vergleich der Querabstände der Bordsteinmarken von der Seite TP 8–TP 9

Punkt	Messungen 1961	Differenz b–a	Messung 1962	Differenz b–a	Messung 1964	Differenz b–a	Differenz		
							1961–1962	1962–1964	1961–1964
	m	mm	m	mm	m	mm	mm	mm	mm
a) aus den Richtungsbeobachtungen									
PP 9	— 4,5430		— 4,5442		— 4,5445		+ 1,2	+ 0,3	+ 1,5
PP 8	+ 2,9142		+ 2,9175		+ 2,9197		— 3,3	— 2,2	— 5,5
PP 7	+ 4,2402		+ 4,2439		+ 4,2457		— 3,7	— 1,8	— 5,5
PP 6	+ 3,9473		+ 3,9514		+ 3,9536		— 4,1	— 2,2	— 6,3
PP 5	+ 3,6344		+ 3,6362		+ 3,6390		— 1,8	— 2,8	— 4,6
PP 4	+ 3,3211		+ 3,3222		+ 3,3256		— 1,1	— 3,4	— 4,5
PP 3	+ 3,0192		+ 3,0192		+ 3,0236		0,0	— 4,4	— 4,4
PP 2	+ 2,7191		+ 2,7190		+ 2,7223		+ 0,1	— 3,3	— 3,2
PP 1	+ 1,4557		+ 1,4532		+ 1,4527		+ 2,5	+ 0,5	+ 3,0
b) aus den Polygonzügen									
PP 9	— 4,5410	+ 2,0	— 4,5436	+ 0,6	— 4,5440	+ 0,5	+ 2,6	+ 0,4	+ 3,0
PP 8	+ 2,9161	+ 1,9	+ 2,9169	— 0,6	+ 2,9203	+ 0,6	— 0,8	— 3,4	— 4,2
PP 7	+ 4,2413	+ 1,1	+ 4,2421	— 1,8	+ 4,2449	— 0,8	— 0,8	— 2,8	— 3,6
PP 6	+ 3,9484	+ 1,1	+ 3,9497	— 1,7	+ 3,9527	— 0,9	— 1,3	— 3,0	— 4,3
PP 5	+ 3,6346	+ 0,2	+ 3,6345	— 1,7	+ 3,6360	— 3,0	+ 0,1	— 1,5	— 1,4
PP 4	+ 3,3207	— 0,4	+ 3,3224	+ 0,2	+ 3,3236	— 2,0	— 1,7	— 1,2	— 2,9
PP 3	+ 3,0182	— 1,0	+ 3,0202	+ 1,0	+ 3,0211	— 2,5	— 2,0	— 0,9	— 2,9
PP 2	+ 2,7176	— 1,5	+ 2,7192	+ 0,2	+ 2,7210	— 1,3	— 1,6	— 1,8	— 3,4
PP 1	+ 1,4540	— 1,7	+ 1,4534	+ 0,2	+ 1,4517	— 1,0	+ 0,6	+ 1,7	+ 2,3

Tabelle 11. Ableitung der Orientierungen der ersten Seite des Stollenpolygonzuges in den verschiedenen Meßreihen

	April 1960				Juni 1960				Juli 1960			
In TP 3 nach	Beobachtung α	Richtungswinkel t	t–α	d	Beobachtung α	Richtungswinkel t	t–α	d	Beobachtung α	Richtungswinkel t	t–α	d
	g	g	g	cc	g	g	g	cc	g	g	g	cc
TP 1	0	166,9237	166,9237	+ 2	0	166,9237	166,9237	+ 4	0	166,9241	166,9241	+ 1
TP 2	67,6686	234,5922	166,9236	+ 3	67,6682	234,5921	166,9239	+ 2	67,6678	234,5917	166,9239	+ 3
TP 4	307,1553	74,0795	166,9242	— 3	307,1560	74,0800	166,9240	+ 1	307,1558	74,0801	166,9243	— 1
TP 5	325,0315	91,9556	166,9241	— 2	325,0312	91,9560	166,9248	— 7	325,0312	91,9559	166,9247	— 5
PP 1	244,2755	11,1994	166,9239 Mittel	0	244,2752	11,1993	166,9241 Mittel	0	244,2770	11,2012	166,9242	— 2

	April 1961				September 1964			
In TP 3 nach	Beobachtung α	Richtungswinkel t	t–α	d	Beobachtung α	Richtungswinkel t	t–α	d
	g	g	g	cc	g	g	g	cc
TP 1	0	166,9233	166,9233	+ 1	0	166,9244	166,9244	+ 1
TP 2	67,6686	234,5922	166,9236	— 2	67,6680	234,5922	166,9242	+ 3
TP 4	307,1568	74,0800	166,9232	+ 2	307,1552	74,0797	166,9245	0
TP 5	325,0321	91,9554	166,9233	+ 1	325,0292	91,9538	166,9246	— 1
TP 3a					23,1296	190,0542	166,9246	— 1
PP 1	244,2736	11,1970	166,9234 Mittel	+ 2	244,2667	11,1912	166,9245 Mittel	+ 2

Tabelle 12. Vergleich der Strecken des Polygonzuges im Stollen

Punkt	1. Messung IV/1960	2. Messung VI/1960	3. Messung VII/1960	4. Messung IV/1961	5. Messung IX/1964	Streckendifferenzen 1.–2.	2.–3.	3.–4.	4.–5.	1.–5.
						Messung				
	m	m	m	m	m	mm	mm	mm	mm	mm
TP 1										
TP 3	43,8342	43,8337	43,8339	43,8336	43,8322	+ 0,5	— 0,2	+ 0,3	+ 1,4	+ 2,0
PP 1	16,3587	16,3578	16,3597	16,3578	16,3590	+ 0,9	— 1,9	+ 1,9	— 1,2	— 0,3
PP 2	18,7267	18,7269	18,7269	18,7268	18,7279	— 0,2	0,0	+ 0,1	— 1,1	— 1,2
PP 3	15,0228	15,0231	15,0227	15,0218	15,0216	— 0,3	+ 0,4	+ 0,9	+ 0,2	+ 1,2
PP 4	22,3178	22,3162	22,3173	22,3162	22,3185	+ 1,6	— 1,1	+ 1,1	— 2,3	— 0,7
PP 5	4,9879	4,9878	4,9877	4,9882	4,9890	+ 0,1	+ 0,1	— 0,5	— 0,8	— 1,1
PP 6	10,8421	10,8421	10,8424	10,8414	10,8421	0,0	— 0,3	+ 1,0	— 0,7	0,0
A					(6,5316)					
Σ	132,0902	132,0876	132,0906	132,0858	132,0903	[+] 3,1	0,5	5,3	1,6	3,2
						[—] 0,5	3,5	0,5	6,1	3,3
						+ 2,6	— 3,0	+ 4,8	— 4,5	— 0,1

Tabelle 13. Vergleich der Winkel des Polygonzuges im Stollen

Punkt	1. Messung IV/1960	2. Messung VI/1960	3. Messung VII/1960	4. Messung IV/1961	5. Messung IX/1964	Winkeldifferenzen 1.–2.	2.–3.	3.–4.	4.–5.	1.–5.
						Messung				
	g	g	g	g	g	cc	cc	cc	cc	cc
TP 1										
TP 3	244,2755	244,2752	244,2770	244,2736	244,2667	+ 3	— 18	+ 34	+ 69	+ 88
PP 1	221,1792	221,1787	221,1778	221,1827	221,1888	+ 5	+ 9	— 49	— 61	— 96
PP 2	205,4386	205,4385	205,4390	205,4313	205,4352	+ 1	— 5	+ 77	— 39	+ 34
PP 3	204,7566	204,7590	204,7565	204,7584	204,7625	— 24	+ 25	— 19	— 41	— 59
PP 4	202,5794	202,5773	202,5817	202,5777	202,5716	+ 21	— 44	+ 40	+ 61	+ 78
PP 5	199,9146	199,9108	199,9156	199,9164	199,9240	+ 38	— 48	— 8	— 76	— 94
PP 6	179,0582	179,0667	179,0614	179,0686	179,0594	— 85	+ 53	— 72	+ 92	— 12
A					(320,8337)	—	—	—	—	—
Σ	1457,2021	1457,2062	1457,2090	1457,2087	1457,2082	[+] 68	87	151	222	200
						[—] 109	115	148	217	261
						— 41	— 28	+ 3	+ 5	— 61

Tabelle 14. Vergleich der Koordinaten der Polygonpunkte im Stollen

Punkt	1) 1. Messung IV/1960	2) 2. Messung VI/1960	3) 3. Messung VII/1960	4) Mittel 1.–3. Messung 1960	5) 4. Messung IV/1961	6) 5. Messung IX/1964	Differenzen 4)–5)	5)–6)	4)–6)
	m	m	m	m	m	m	mm	mm	mm
	x-Koordinaten								
TP 3	530,9780	530,9795	530,9803	530,9793	530,9773	530,9769	+ 2,0	+ 0,4	+ 2,4
PP 1	574,1357	574,1367	574,1375	574,1366	574,1347	574,1336	+ 1,9	+ 1,1	+ 3,0
PP 2	588,4238	588,4241	588,4264	588,4248	588,4219	588,4218	+ 2,9	+ 0,1	+ 3,0
PP 3	603,9424	603,9430	603,9451	603,9435	603,9416	603,9418	+ 1,9	— 0,2	+ 1,7
PP 4	615,7293	615,7299	615,7318	615,7303	615,7283	615,7271	+ 2,0	+ 1,2	+ 3,2
PP 5	632,6650	632,6644	632,6664	632,6653	632,6642	632,6642	+ 1,1	0,0	+ 1,1
PP 6	636,4543	636,4539	636,4554	636,4545	636,4540	636,4541	+ 0,5	— 0,1	+ 0,4
A	646,5271	646,5265	646,5280	646,5272	646,5258	646,5265	+ 1,4	— 0,7	+ 0,7
B	642,2872	642,2848	642,2867	642,2862	642,2851	642,2871	+ 1,1	— 2,0	— 0,9
	y-Koordinaten								
TP 3	360,3213	360,3215	360,3211	360,3213	360,3194	360,3242	+ 1,9	— 4,8	— 2,9
PP 1	367,9929	367,9929	367,9939	367,9932	367,9893	367,9899	+ 3,9	— 0,6	+ 3,3
PP 2	375,9589	375,9583	375,9604	375,9592	375,9550	375,9563	+ 4,2	— 1,3	+ 2,9
PP 3	386,4403	386,4397	386,4422	386,4407	386,4350	386,4379	+ 5,7	— 2,9	+ 2,8
PP 4	395,7545	395,7544	395,7564	395,7551	395,7478	395,7521	+ 7,3	— 4,3	+ 3,0
PP 5	410,2896	410,2883	410,2919	410,2899	410,2802	410,2866	+ 9,7	— 6,4	+ 3,3
PP 6	413,5330	413,5314	413,5355	413,5333	413,5235	413,5311	+ 9,8	— 7,6	+ 2,2
A	417,5442	417,5433	417,5479	417,5451	417,5354	417,5433	+ 9,7	— 7,9	+ 1,8
B	422,5156	422,5141	422,5189	422,5162	422,5055	422,5125	+10,7	— 7,0	+ 3,7

Tabelle 15. Vergleich der Koordinaten der Polygonpunkte und der Zielmarken in der Kaverne

Punkt	y-Koordinate						x-Koordinate					
	Mittelwert 1960	Messung 1961	Messung 1964	Differenzen			Mittelwert 1960	Messung 1961	Messung 1961	Differenzen		
				1–2	2–3	1–3				1–2	2–3	1–3
	cm	cm	cm	mm	mm	mm	cm	cm	cm	mm	mm	mm
M	1299,57	1299,55	1299,55	+ 0,2	0,0	+ 0,2	2735,41	2735,39	2735,54	+ 0,2	— 1,5	— 1,3
1	1599,22	1599,22	1599,22	0,0	0,0	0,0	2723,50	2723,47	2723,50	+ 0,3	— 0,3	0,0
11	1598,22	1598,20	1598,23	+ 0,2	— 0,3	— 0,1	2723,30	2723,26	2723,30	+ 0,4	— 0,4	0,0
21	1597,99	1597,98	1598,02	+ 0,1	— 0,4	— 0,3	2723,67	2723,64	2723,69	+ 0,3	— 0,5	— 0,2
31	1597,85	1597,84	1597,90	+ 0,1	— 0,6	— 0,5	2724,92	2724,89	2724,95	+ 0,3	— 0,6	— 0,3
3	1598,52	1598,51	1598,51	+ 0,1	0,0	+ 0,1	2341,17	2341,15	2341,16	+ 0,2	— 0,1	+ 0,1
13	1598,06	1598,06	1598,07	0,0	— 0,1	— 0,1	2347,53	2347,49	2347,52	+ 0,4	— 0,3	+ 0,1
23	1598,61	1598,59	1598,62	+ 0,2	— 0,3	— 0,1	2348,38	2348,35	2348,36	+ 0,3	— 0,1	+ 0,2
33	1598,59	1598,57	1598,61	+ 0,2	— 0,4	— 0,2	2349,47	2349,43	2349,45	+ 0,4	— 0,2	+ 0,2
5	1598,04	1598,04	1598,02	0,0	+ 0,2	+ 0,2	1959,89	1959,88	1959,86	+ 0,1	+ 0,2	+ 0,3
15	1597,62	1597,62	1597,61	0,0	+ 0,1	+ 0,1	1956,70	1956,70	1956,69	0,0	+ 0,1	+ 0,1
25	1598,58	1598,56	1598,57	+ 0,2	— 0,1	+ 0,1	1958,21	1958,20	1958,18	+ 0,1	+ 0,2	+ 0,3
35	1598,86	1598,84	1598,86	+ 0,2	— 0,2	0,0	1958,32	1958,30	1958,30	+ 0,2	0,0	+ 0,2
7	1598,67	1598,64	1598,62	+ 0,3	+ 0,2	+ 0,5	1567,35	1567,38	1567,33	— 0,3	+ 0,5	+ 0,2
17	1598,31	1598,29	1598,28	+ 0,2	+ 0,1	+ 0,3	1566,26	1566,30	1566,23	— 0,4	+ 0,7	+ 0,3
9	1599,07	1599,16	1599,14	— 0,9	+ 0,2	— 0,7	1280,42	1280,51	1280,45	— 0,9	+ 0,6	— 0,3
19	1598,57	1598,57	1598,56	0,0	+ 0,1	+ 0,1	1283,41	1283,47	1283,39	— 0,6	+ 0,8	+ 0,2
a_1	1599,03	1599,08	1599,05	— 0,5	+ 0,3	— 0,2	1003,56	1003,58	1003,52	— 0,2	+ 0,6	+ 0,4
a_2	1598,75	1598,79	1598,79	— 0,4	0,0	— 0,4	1004,91	1004,94	1004,86	— 0,3	+ 0,8	+ 0,5

Tabelle 15 (Forts.) Vergleich der Koordinaten der Polygonpunkte und der Zielmarken in der Kaverne

Punkt	y-Koordinate						x-Koordinate					
	Mittelwert 1960	Messung 1961	Messung 1964	Differenzen			Mittelwert 1960	Messung 1961	Messung 1961	Differenzen		
				1–2	2–3	1–3				1–2	2–3	1–3
	cm	cm	cm	mm	mm	mm	cm	cm	cm	mm	mm	mm
2	999.88	999,88	999,87	0,0	+ 0,1	+ 0,1	2718,92	2718,90	2718,91	+ 0,2	— 0,1	+ 0,1
12	1000,00	1000,01	999,99	— 0,1	+ 0,2	+ 0,1	2724,04	2724,04	2724,07	0,0	— 0,3	— 0,3
22	1000,03	1000,04	1000,03	— 0,1	+ 0,1	0,0	2722,93	2722,92	2722,95	+ 0,1	— 0,3	— 0,2
32	999,50	999,54	999,52	— 0,4	+ 0,2	— 0,2	2723,19	2723,18	2723,22	+ 0,1	— 0,4	— 0,3
4	999,73	999,72	999,72	+ 0,1	0,0	+ 0,1	2340,23	2340,23	2340,21	0,0	— 0,1	— 0,1
14	999,49	999,47	999,46	+ 0,2	+ 0,1	+ 0,3	2346,18	2346,16	2346,19	+ 0,2	— 0,3	— 0,1
24	1000,37	1000,35	1000,32	+ 0,2	+ 0,3	+ 0,5	2346,88	2346,87	2346,91	+ 0,1	— 0,4	— 0,3
34	1000,16	1000,17	1000,15	— 0,1	+ 0,2	+ 0,1	2347,23	2347,23	2347,29	0,0	— 0,6	— 0,6
6	1000,02	1000,00	1000,01	+ 0,2	— 0,1	+ 0,1	1959,63	1959,64	1959,65	— 0,1	— 0,1	— 0,2
16	999,56	999,52	999,53	+ 0,4	— 0,1	+ 0,3	1956,11	1956,13	1956,14	— 0,2	— 0,1	— 0,3
26	1000,01	999,99	999,97	+ 0,2	+ 0,2	+ 0,4	1955,94	1955,95	1955,97	— 0,1	— 0,2	— 0,3
36	1000,03	1000,01	999,97	+ 0,2	+ 0,4	+ 0,6	1956,97	1956,99	1957,04	— 0,2	— 0,5	— 0,7
8	1000,00	999,95	999,97	+ 0,5	— 0,2	+ 0,3	1562,57	1562,58	1562,53	— 0,1	+ 0,5	+ 0,4
18	999,34	999,23	999,24	+ 1,1	— 0,1	+ 1,0	1564,75	1564,76	1564,72	— 0,1	+ 0,4	+ 0,3
10	1000,14	1000,13	1000,13	+ 0,1	0,0	+ 0,1	1280,87	1280,85	1280,80	+ 0,2	+ 0,5	+ 0,7
20	999,97	999,96	999,94	+ 0,1	+ 0,2	+ 0,3	1280,02	1280,01	1279,96	+ 0,1	+ 0,5	+ 0,6
b_1	1000,24	1000,26	1000,27	— 0,2	— 0,1	— 0,3	1002,82	1002,82	1002,76	0,0	+ 0,6	+ 0,6
b_2	1000,00	1000,01	999,99	— 0,1	+ 0,2	+ 0,1	1000,00	1000,01	999,92	— 0,1	+ 0,9	+ 0,8
PP 5	1323,46	1323,47	1323,42	— 0,1	+ 0,5	+ 0,4	1021,78	1021,78	1021,70	0,0	+ 0,8	+ 0,8
PP 6	1323,03	1323,01	1323,06	+ 0,2	— 0,5	— 0,3	1520,56	1520,59	1520,60	— 0,3	— 0,1	— 0,4
A	971,94	972,02	972,05	— 0,8	— 0,3	— 1,1	2546,36	2546,35	2546,42	+ 0,1	— 0,7	— 0,6
B	1625,36	1625,36	1625,24	0,0	+ 1,2	+ 1,2	2547,99	2547,91	2548,02	+ 0,8	— 1,1	— 0,3

Tabelle 16. Vergleich der Ergebnisse der Pendelmessungen

Pfeiler	y-Koordinaten				Differenzen				x-Koordinaten				Differenzen			
					d_1	d_2	d_3	d_4					d_1	d_2	d_3	d_4
	1. Messung 2. 4. 60	2. Messung 19. 5. 60	3. Messung 14. 7. 60	4. Messung 2. 10. 64	1–2	2–3	3–4	1–4	1. Messung 2. 4. 60	2. Messung 19. 5. 60	3. Messung 14. 7. 60	4. Messung 2. 10. 64	1–2	2–3	3–4	1–4
	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm
1a	24,4	24,6	24,7	—	— 0,2	— 0,1	—	—	86,5	86,6	86,5	—	— 0,1	+ 0,1	—	—
1b	36,1	36,3	36,2	36,1	— 0,2	+ 0,1	+ 0,1	0,0	119,6	119,2	119,5	119,0	+ 0,4	— 0,3	+ 0,5	+ 0,6
3a	22,0	22,0	22,2	21,4	0,0	— 0,2	+ 0,8	+ 0,6	174,8	174,9	173,5	173,6	— 0,1	+ 1,4	— 0,1	+ 1,2
3b	11,5	11,2	11,5	12,1	+ 0,3	— 0,3	— 0,6	— 0,6	237,5	238,0	238,5	237,4	— 0,5	— 0,5	+ 1,1	+ 0,1
5a	35,8	35,8	36,0	36,4	0,0	— 0,2	— 0,4	— 0,6	184,8	185,2	186,0	183,9	— 0,4	— 0,8	+ 2,1	+ 0,9
5b	23,9	23,8	24,3	23,9	+ 0,1	— 0,5	+ 0,4	0,0	242,2	242,1	241,0	240,9	+ 0,1	+ 1,1	+ 0,1	+ 1,3
2a	36,6	36,5	36,5	—	+ 0,1	0,0	—	—	174,8	174,6	175,0	—	+ 0,2	— 0,4	—	—
2b	30,6	30,6	30,5	—	0,0	+ 0,1	—	—	135,3	135,4	136,5	—	— 0,1	— 1,1	—	—
4a	31,2	31,2	31,2	31,0	0,0	0,0	+ 0,2	+ 0,2	245,4	245,4	245,5	243,5	0,0	— 0,1	+ 2,0	+ 1,9
4b	27,2	27,2	28,0	27,8	0,0	— 0,8	+ 0,2	— 0,6	160,8	161,2	163,5	159,6	— 0,4	— 2,3	+ 3,9	+ 1,2
6a	34,3	34,2	34,0	34,4	+ 0,1	+ 0,2	— 0,4	— 0,1	237,0	236,8	239,0	239,8	+ 0,2	— 2,2	— 0,8	— 2,8
6b	31,8	31,6	—	—	+ 0,2	—	—	—	165,5	166,0	—	—	— 0,5	—	—	—

Anmerkung: a = ganze Höhe

b = halbe Höhe

In y bedeutet das Vorzeichen „–“, daß der Aufhängepunkt des Senkels gegenüber der Ableseschiene in den Kavernenraum gewandert ist.

Tabelle 17. Vergleich der Ergebnisse der Libellenbeobachtung

Pfeiler	1. Messung 2. 4. 60 mm	2. Messung 19. 5. 60 mm	3. Messung 14. 7. 60 mm	4. Messung 2. 10. 64 mm	1. Messung Red. Wert mm	2. Messung Red. Wert mm	3. Messung Red. Wert mm	4. Messung Red. Wert mm	d_1 1–2 μ	d_2 2–3 μ	d_3 3–4 μ	d_4 1–4 μ
K	4,440	4,460	4,472	4,490	0,000	0,000	0,000	0,000	0	0	0	0
3	4,595	4,620	4,617	4,642	+ 0,155	+ 0,160	+ 0,145	+ 0,152	— 5	+ 15	— 7	+ 3
5	4,958	4,979	4,978	5,002	+ 0,518	+ 0,519	+ 0,506	+ 0,512	— 1	+ 13	— 6	+ 6
7	4,126	4,149	4,140	4,188	— 0,314	— 0,311	— 0,332	— 0,302	— 3	+ 21	— 30	— 12
4	4,702	4,718	4,718	4,420	+ 0,262	+ 0,258	+ 0,246	— 0,070	+ 4	+ 12	+ 316	beschäd.
6	4,426	4,446	4,447	4,470	— 0,014	— 0,014	— 0,025	— 0,020	0	+ 11	— 5	+ 6
8	4,491	4,516	4,502	4,545	+ 0,051	+ 0,056	+ 0,030	+ 0,055	— 5	+ 26	— 25	— 5
K	4,440	4,460	4,472	4,490	0,000	0,000	0,000	0,000	0	0	0	0

Die Meßwerte sind Ablesungen an einer Mikrometerschraube, deren Abstand zur Kippachse 100,0 mm beträgt. Infolgedessen erhält man die Pfeilerneigung aus $\tan \delta = \frac{d}{100{,}0}$. Die beiden Anlegepunkte am Pfeiler liegen 500 mm auseinander. Die Differenz d zweier Meßwerte von + 20 μ entspricht also 0,020% bzw. auf der Länge von 500 mm einem Querabstand von 0,1 mm. Das Vorzeichen „+" bedeutet, daß der höher gelegene Punkt sich auf die Kaverne zu bewegt hat. Die Vorzeichen der Ergebnisse der Libellenbeobachtung müssen denen der Pendelmessungen gerade entgegengesetzt sein. Die Pendelmessungen erfolgten an der Kavernenseite der Pfeiler, die Libellenbeobachtungen an der Felsseite der Pfeiler.

Tabelle 18. Vergleich der Abstandsmessungen an der Einlaufseite

Punkt	1. Messung 8. 3. 60 mm	2. Messung 30. 3./1. 4. 60 mm	3. Messung 19. 5. 60 mm	4. Messung 14. 7. 60 mm	5. Messung 19. 4. 61 mm	6. Messung 2. 10. 64 mm	d_1 1–2 dmm	d_2 2–3 dmm	d_3 3–4 dmm	d_4 4–5 dmm	d_5 5–6 dmm	d_6 1–6 dmm
1	1093,6	1093,54	1093,56	1093,50	1093,65	1093,74	+ 0,6	— 0,2	+ 0,6	— 1,5	— 0,9	— 1,4
2	822,2	822,02	822,13	821,87	822,01	821,86	+ 1,8	— 1,1	+ 2,6	— 1,4	+ 1,5	+ 3,6
3	903,3	903,28	903,26	903,20	903,29	903,095	+ 0,2	+ 0,2	+ 0,6	— 0,9	+ 1,95	+ 2,05
4	695,4	695,26	695,48	695,20	695,30	694,55	+ 1,4	— 2,2	+ 2,8	— 1,0	+ 7,5	+ 8,5
5	546,1	545,82	546,23	545,78	545,98	544,545	+ 2,8	— 4,1	+ 4,5	— 2,0	+ 14,35	+ 15,55
6	538,2	538,08	538,31	538,00	538,18	537,30	+ 1,2	— 2,3	+ 3,1	— 1,8	+ 8,8	+ 9,0
7	936,0	935,90	936,06	935,83	936,15	935,94	+ 1,0	— 1,6	+ 2,3	— 3,2	+ 2,1	+ 0,6
8	859,8	859,66	859,90	859,62	860,04	859,65	+ 1,4	— 2,4	+ 2,8	— 4,2	+ 3,9	+ 1,5
9	902,5	902,50	902,60	902,42	902,66	902,32	0,0	— 1,0	+ 1,8	— 2,4	+ 3,4	+ 1,8

Das Vorzeichen „+" bedeutet, daß der Abstand Felswand – Mauer kleiner wurde.

Tabelle 19. Ergebnisse des Ausgangsnivellements und allgemeiner Höhenvergleich

Punkt	1. Messung 20. 4. 1961	2. Messung 1. 10. 1964	Differenz 1–2
	m	m	mm
HB O/46 Sylvenstein	*766,8116*	*766,8116*	0,0
HB W/68 Hennenköpfl	766,7420	766,7436	— 1,6
E. W./47 Hennenköpfl	766,5548	766,5566	— 1,8
HB NW/60 Schalthaus	728,3632	728,3663	— 3,1
HB SW Schalthaus	728,4628	728,4658	— 3,0
HB 11 Kaverne	*727,3430*	*727,3430*	0,0
HB 4232 Böschungsfuß	727,2158	727,2190	— 3,2
Mittel: m =	± 0,9 mm	± 0,5 mm	

Tabelle 20. Vergleich der Höhenänderungen der Kontrollpunkte auf dem Staudamm

Nummer des Höhenbolzens	1. Messung 20. 4. 1961	2. Messung 29. 7. 1961	Mittelwert 1961	3. Messung 28. 6. 1962	4. Messung 1. 10. 1964	Differenzen		
						1961 1962	1962 1964	1961 1964
	m	m	m	m	m	mm	mm	mm
HB O/46 Ostende	766,8116	766,8116	766,8116	766,8116	766,8116	0,0	0,0	0,0
NT 9	765,9983	765,9988	765,9986	765,9942	765,9888	+ 4,4	+ 5,4	+ 9,8
NT 8	766,0156	766,0156	766,0156	766,0074	765,9973	+ 8,2	+ 10,1	+ 18,3
NT 7	766,0407	766,0407	766,0407	766,0334	766,0239	+ 7,3	+ 9,5	+ 16,8
NT 6	766,0742	766,0746	766,0744	766,0673	766,0578	+ 7,1	+ 9,5	+ 16,6
NT 5	766,0950	766,0954	766,0952	766,0880	766,0783	+ 7,2	+ 9,7	+ 16,9
NT 4	766,0736	766,0739	766,0738	766,0663	766,0560	+ 7,5	+ 10,3	+ 17,8
NT 3	766,0552	766,0556	766,0554	766,0483	766,0382	+ 7,1	+ 10,1	+ 17,2
NT 2	766,0406	766,0407	766,0406	766,0331	766,0235	+ 7,5	+ 9,6	+ 17,1
NT 1	766,0098	766,0109	766,0104	766,0060	766,0012	+ 4,4	+ 4,8	+ 9,2
HB Überlauf NO	766,0346	766,0362	766,0354	766,0354	766,0370	0,0	— 1,6	— 1,6
HB Überlauf SW	766,1438	766,1454	766,1446	766,1447	766,1463	— 0,1	— 1,6	— 1,7
HB W/68 Westende	766,7420	766,7430	766,7425	766,7423	766,7436	+ 0,2	— 1,3	— 1,1
E W/47 Westende	766,5548	766,5559	766,5554	766,5550	766,5566	+ 0,4	— 1,6	— 1,2

Tabelle 21. Nivellement Sylvenstein
Kavernenpunkte

Punkt	1. 4. 60 H_1	18. 5. 60 H_2	9. 6. 60 H_3	16. 7. 60 H_4	26. 8. 60 H_5	31. 10. 60 H_6	Mittelwert 1960	20. 4. 61 H_7	1. 10. 64 H_8	1960 minus 1961	1961 minus 1964	1960 minus 1964
	m	m	m	m	m	m	m	m	m	mm	mm	mm
Ō SW/60	728,4628	728,4628	728,4628	728,4628	728,4632	728,4654		728,4628	728,4658	+ 2,6	— 3,0	— 0,4
1 l	727,3430	727,3430	727,3430	727,3430	727,3430	727,3430	727,3430	727,3430	727,3430	0	0	0
1 r	727,3613	727,3615	727,3618	727,3620	727,3619	727,3618	727,3617	727,3619	727,3619	— 0,2	0	— 0,2
2 l	727,6946	727,6946	727,6950	727,6950	727,6948	727,6945	727,6948	727,6948	727,6947	0	+ 0,1	+ 0,1
2 r	727,6666	727,6667	727,6670	727,6670	727,6672	727,6666	727,6668	727,6668	727,6664	0	+ 0,4	+ 0,4
3 l	727,7862	727,7866	727,7870	727,7872	–	–	—	—	—	—	—	—
3 r	727,7482	727,7484	727,7489	727,7490	727,7491	727,7492	727,7488	727,7488	727,7482	0	+ 0,6	+ 0,6
4 l	727,8896	727,8904	727,8909	727,8910	727,8908	727,8906	727,8906	727,8906	727,8882	0	+ 2,4	+ 2,4
4 r	727,7703	727,7706	727,7713	727,7713	727,7714	727,7714	727,7710	727,7710	727,7704	0	+ 0,6	+ 0,6
5 l					727,8132	727,8132	727,8132	727,8126	727,8123	+ 0,6	+ 0,3	+ 0,9
5 r					727,7974	727,7976	727,7975	727,7971	727,7969	+ 0,4	+ 0,2	+ 0,6
6 l					727,7628	727,7632	727,7630	727,7624	727,7620	+ 0,6	+ 0,4	+ 1,0
6 r					727,7682	727,7684	727,7683	727,7677	727,7674	+ 0,6	+ 0,3	+ 0,9
A					728,9208	728,9206	728,9207	728,9202		+ 0,5		
B					728,9127	728,9125	728,9126	728,9119		+ 0,7		

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: Abhandlungen der Bayerischen Akademie der Wissenschaften - Mathematisch-naturwissenschaftliche Klasse

Jahr/Year: 1966

Band/Volume: NF_124

Autor(en)/Author(s): Kneissl Max, Eichhorn Gerhard

Artikel/Article: Geodätische Feinmessungen 1960 - 1964 im Bereich des Sylvensteinspeichers. Mit 21 Tabellen 1-55