

FREIBERGER
FORSCHUNGSHEFTE

25
A 288

MARKSCHEIDEWESEN

HEINZ WORDELMANN

**Untersuchungen
zur Verbesserung
der optischen Streckenmessung
unter Tage**

FFH
A288
b



VERLAG DEUTSCHER VERLAG FÜR GRUNDSTOFFINDUSTRIE LEIPZIG

1963

XVI 1142

A 288

b



TU BERGAKADEMIE FREIBERG



XU XVI 1142 . A288B b

FREIBERGER FORSCHUNGSHEFTE

A 288

FREIBERGER FORSCHUNGSHEFTE

Herausgegeben vom Rektor der Bergakademie Freiberg

A 288

MARKSCHEIDEWESEN

**Untersuchungen
zur Verbesserung der optischen Streckenmessung
unter Tage**

Von

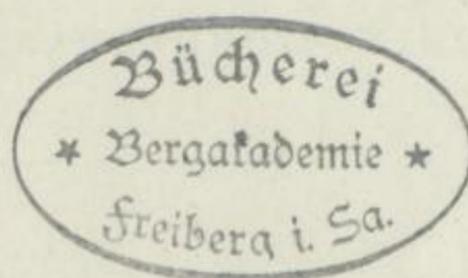
HEINZ WORDELMANN



VEB Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie · Leipzig

Freib. Forsch.-H.	A 288	S. 1—128	41 Bilder	8 Tabellen	Leipzig, September 1963
-------------------	-------	----------	-----------	------------	-------------------------

Von der Bergakademie Freiberg,
Fakultät für Bergbau und Hüttenwesen, genehmigte
Dissertation
zur Erlangung des Grades eines Doktor-Ingenieurs
Referent: Prof. Dr.-Ing. habil. K. Neubert
Korreferent: Dozent Dr.-Ing. W. Rüger,
mit der Wahrnehmung einer Professur mit vollem Lehrauftrag beauftragt



M 1142 (a 288) b

Eingang des Manuskriptes in der Redaktion am 15. 6. 1962

„Freiberger Forschungshefte“, Schriftenreihe für alle Gebiete der Montanwissenschaften. Herausgeber: Der amtierende Rektor der Bergakademie Freiberg, Prof. Dr.-Ing. habil. Joachim Wrana. — Verlag: VEB Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie, Leipzig W 31, Karl-Heine-Str. 27 (Fernruf 444 41). — Die Freiberger Forschungshefte erscheinen in zwangloser Folge in den Reihen A, B, C und D. Ausführliches Verzeichnis aller lieferbaren Hefte von der Bergakademie Freiberg oder dem VEB Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie. — Vertrieb: in der Deutschen Demokratischen Republik durch den Buchhandel, in der Deutschen Bundesrepublik und in Westberlin durch den Buchhandel (Auslieferung KUNST UND WISSEN, Erich Bieber, Stuttgart S, Wilhelmstraße 4–6), in Österreich durch den GLOBUS Buchvertrieb Wien I, Salzgries 16, im übrigen Ausland durch eine Importbuchhandlung, den Deutschen Buch-Export und -Import, GmbH, Leipzig C 1, Postschließfach 276, oder den Verlag. Gesamtherstellung: Druckhaus „Maxim Gorki“, Altenburg. — Lizenz-Nr. VLN 152-915/288/63. — Printed in Germany. Alle Rechte vorbehalten. — ES: 20 F 1

(64, 890)

INHALT

1. Einleitung	7
2. Anlage der Vergleichsstrecken	9
3. Wahl eines optischen Streckenmeßgerätes für Nachtragungszüge	11
3.1. Untersuchungen über die mit Fadendistanzmessern zu erreichenden Genauigkeiten	12
3.2. Untersuchungen über die Eignung von Doppelbilddistanzmessern für den Einsatz in der Grube.	17
3.2.1. Allgemeine Betrachtungen zu den Fehlerquellen der Doppelbilddistanzmessung	18
3.2.2. Bisherige Ergebnisse der Grubenmessungen mit Doppelbildtachymeter	19
3.2.3. Theodolit 030 mit Lotakeil	23
3.2.4. Theodolit 030 mit Dimeßkeil	25
3.2.5. Verwendungsmöglichkeiten des Dimeßkeiles für Hängetheodolite.	28
4. Wahl einer Distanzlatten für Nachtragungszüge	31
4.1. Die vorhandenen Distanzlatten für Grubenmessungen mit Doppelbildtachymeter	31
4.1.1. Betrachtungen zu den bisherigen Ausführungsformen der Grubendistanzlatten	31
4.1.2. Untersuchungen über die Abhängigkeit des Distanzfehlers von der Beleuchtungsstärke der Dimeßplatte.	33
4.1.2.1. Allgemeine Ausführungen zu den lichttechnischen Messungen	35
4.1.2.2. Der Einfluß der unterschiedlichen Beleuchtungsstärke von Teilung und Nonius	37
4.1.2.3. Bestimmung der günstigsten Beleuchtungsstärke bei gleich heller Beleuchtung von Teilung und Nonius	39
4.2. Untersuchungen über die Verwendungsmöglichkeiten der Reflexstoffe für Distanzlatten	44
4.2.1. Aufbau und Wirkungsweise der lichtreflektierenden Folien.	45
4.2.2. Messungen mit Reflexnivellierlatten	48
4.2.3. Lichttechnische Bewertung der verschiedenen Reflexstoffe	50
4.2.4. Messungen mit Reflexdimeßplatten	54
4.2.4.1. Untersuchungen über die mit Reflexdistanzlatten zu erreichenden Genauigkeiten	54
4.2.4.2. Der Einfluß der Beleuchtungsstärke auf den Distanzfehler	55
4.2.4.2.1. Bestimmung der optimalen Beleuchtungsstärke für Reflexdistanzlatten	55
4.2.4.2.2. Ermittlung der geringsten Beleuchtungsstärke für optische Distanzmessungen mit Reflexlatten.	56
4.3. Konstruktion einer Reflex-Dimeßhängelatte für Nachtragungszüge	60
5. Betrachtungen zur entwickelten Distanzmeßausrüstung für unter Tage	62
5.1. Die Beleuchtungsausrüstung des Hängetheodolits	62
5.2. Das Reflexzielkettchen	63

5.3. Fehlereinflüsse	65
5.3.1. Instrumentenkonstanten	65
5.3.2. Lattenfehler	68
6. Probemessungen mit der entwickelten Distanzmeßausrüstung für Nachtragungszüge.	73
7. Möglichkeiten zur Erhöhung der Genauigkeit von Doppelbilddistanzmessern	77
7.1. Fehlereinflüsse des Beobachters	77
7.2. Fehlereinflüsse des Instrumentes	90
7.3. Einflüsse der Refraktion	92
8. Zusammenfassung	94
Literatur	97
Anlagen	105

1. Einleitung

Die technische Entwicklung im letzten Jahrzehnt hat bewirkt, daß sich auch im Bergbau die Mechanisierung immer mehr durchsetzt. Um mit dem mechanischen Abbau vermessungstechnisch Schritt halten zu können, muß versucht werden, bessere und schnellere Meßverfahren und eine weitere Vervollkommnung der Meßinstrumente zu erreichen. Während bei dem heutigen Entwicklungsstand mit dem Theodolit eine genaue Winkelmessung schnell und bequem möglich ist, entspricht die Genauigkeit der Längenmessung erst nach einem beträchtlichen Aufwand an Arbeit der Winkelmessung.

Die häufigsten markscheiderischen Arbeiten unter Tage werden mit Hilfe von Hängetheodoliten durchgeführt. Die Winkel erhält man mit diesen Instrumenten schnell und mit der genügenden Genauigkeit. Dagegen stößt man bei der Abnahme der Länge, die im allgemeinen mit dem Meßband schwebend gemessen wird, auf Schwierigkeiten. In verschiedenen Bergbaubetrieben wurden mit Hilfe der Schmidtschen Glaslatte die Längen der Zugseiten von Nachtragungszügen bereits optisch mit der geringen relativen Genauigkeit von 1:600 ermittelt. Dieses Meßverfahren genügt jedoch den heutigen Anforderungen nicht mehr, da die Nachtragungsarbeiten nicht nur zur Vervollständigung des Grubenrißwerkes, sondern vor allem auch zur Leistungsberechnung benötigt werden. Für die Betriebskontrollmessung ist eine äußere relative Längenmeßgenauigkeit von 1:1000 unbedingt erforderlich.

Bei den Messungen mit Meßbändern treten die meisten Schwierigkeiten bei ungünstigen Sohlenverhältnissen, an beengten Arbeitsstellen und bei steiler Lagerung auf. Sehr häufig kann die Bestimmung der Länge nur dann vorgenommen werden, wenn der Betrieb an der betreffenden Stelle ruht oder unterbrochen wird. Bei Nachtragungszügen ist der Markscheider aus betrieblichen Gründen oft gezwungen, durch einen Streb zu messen, der sich im Abbau befindet. Das bringt einen großen Verschleiß an Meßbändern mit sich. Die getrennte Winkel- und Längenmessung beansprucht verhältnismäßig viel Zeit und einen größeren Aufwand an Arbeitskräften.

Zur Beseitigung dieser Mängel wurde im Rahmen dieser Arbeit versucht, ein optisches Meßverfahren zu finden, mit dem das Problem der Streckenmessung in der Grube technisch und wirtschaftlich wesentlich besser als mit den bisherigen Verfahren zu lösen ist. Die im übertägigen Vermessungswesen bekannten optischen Streckenmeßverfahren konnten sich unter Tage nicht durchsetzen, da die erreichbare Längenmeßgenauigkeit für Hauptzüge nicht genügte und für Verbindungs- und Nachtragungszüge sich die Distanzmeßausrüstung für den Grubenbetrieb als ungeeignet erwies. An einen Distanzmesser für Nachtragungszüge muß man folgende Forderungen stellen:

- a) einfache, störunanfällige und kostensparende Bauweise des Instrumentes, das kein Spezialgerät sein darf;

- b) Sicherung einer relativen Streckenmeßgenauigkeit unter schwierigsten Meßbedingungen von 1:1000 bei Längen von 3 bis 40 m für Nachtragungszüge und eine Meßgenauigkeit von 1:5000 bei Entfernungen bis 60 m für Verbindungszüge;
- c) geringe Abmessungen, leichtes Gewicht sowie einfache und sichere Bauweise des Zielgerätes.

Es gibt in der Geodäsie verschiedene Instrumente, die eine dieser Bedingungen erfüllen. Dagegen fehlt ein geeigneter Distanzmesser für die Grube, der allen drei Forderungen gerecht wird.

Da sich bei der Winkelmessung von Nachtragungszügen die modernen Hängetheodolite „Theo 6.1“ und „Temin“ sehr gut bewährt haben, wurden von den bekannten Entfernungsmessern nur diejenigen näher untersucht, deren Einsatz, wenn nötig, in abgewandelter Form, in Verbindung mit diesem Instrument erfolgversprechend schien. So schieden die Distanzmesser mit Basis im Standpunkt aus, da sie ein hohes Gewicht aufweisen, sperrig und staubempfindlich sind sowie in Verbindung mit dem Hängetheodolit eine geringe Genauigkeit erzielen würden. Auch mit den Einzel- und Doppelbilddistanzmessern mit konstanter Zielbasis wurden keine Versuchsmessungen durchgeführt, obgleich bei diesen Instrumenten die Ausführung und Beleuchtung des Zielgerätes einfacher als bei Instrumenten mit veränderlicher Basis gelöst werden kann.

Für die direkte Bestimmung des parallaktischen Winkels nach einer kurzen Basislatte reicht die mit dem Hängetheodolit bei normalem Meßaufwand erzielbare Winkelmeßgenauigkeit nicht aus (für Entfernungen bis zu 40 m und einer Basislattenlänge von 50 cm müßte bei einer geforderten Längenmeßgenauigkeit von 1:1000 $d\gamma \triangleq 8''$ sein). Ferner ist das Tangentenschraubenverfahren für den rauhen Grubenbetrieb zu empfindlich. Die Doppelbildgeräte mit konstanter Zielbasis haben ein hohes Gewicht. Die Staubabkapselung der beweglichen Teile ist hierbei schwierig. Für Seitenlängen von 3 bis 40 m wird die Ausmessung des gesamten Winkelbereiches mit einem Schiebe- oder Drehkeil immer ungenauer sein als die Bestimmung des Restintervalles der Basis mit einem Instrument, das einen konstanten parallaktischen Winkel besitzt.

Da bei den laufenden markscheiderischen Arbeiten unter Tage die Nachtragungszüge ihrer Zahl nach an erster Stelle stehen und daher wirtschaftlich besonders bedeutungsvoll sind, soll zunächst versucht werden, eine für dieses Aufgabengebiet geeignete Distanzmeßausrüstung zu finden. Anschließend sollen die Wege zur Genauigkeitssteigerung der optischen Distanzmessung in der Grube aufgezeigt und in Verbindung mit ihnen die optimale Beleuchtungsstärke für Grubendistanzlaten bestimmt werden.

2. Anlage der Vergleichsstrecken

Zur Genauigkeitsbestimmung der einzelnen optischen Meßverfahren war es erforderlich, eine Vergleichsgrundlage zu schaffen. Damit die Beobachtungsverhältnisse bei den Untersuchungen den untertägigen Meßbedingungen in der Praxis möglichst nahekommen, wurden die Vergleichsstrecken in einem Querschlag der 3. Sohle der Lehrgrube „Alte Elisabeth“ des Instituts für Markscheidewesen angelegt. Die geradlinige Meßbahn wurde von 4 bis 20 m in Intervalle von 3 m und von 20 bis 60 m in Abstände von 5 m unterteilt. Zur Vermarkung der Meßpunkte wurden 15 bis 20 cm lange, mit einer Kreuzmarke versehene Eisenbolzen von 1,5 cm Durchmesser in die Sohle des Querschlages einbetoniert.

Für die lichttechnischen Messungen und die verschiedenen Voruntersuchungen diente die 36 m lange Meßbahn im Flur des Institutes für Markscheidewesen. Als Festpunkte sind mit einem Kreuz versehene Messingbolzen in Abständen von 4 m in den Betonboden eingelassen. Durch Verdunklung der Fenster im Flur ließen sich für die Messungen ausreichende grubenähnliche Bedingungen schaffen.

Um die Distanzmesser vergleichsweise auch unter den Verhältnissen über Tage prüfen zu können, wurde auf dem Gehsteig der Prüferstraße vor dem Institut für Markscheidewesen eine 60 m lange Meßbahn angelegt. Der Gehsteig ist mit Granitplatten belegt, die durch Beton fest aneinandergesetzt sind. In diese Platten wurden in 5-m-Abständen 10 cm lange, mit einem Kreuz versehene Messingbolzen von 2 cm Durchmesser einzementiert.

Die Vergleichsstrecken waren so genau zu bestimmen, daß die bei der Nachmessung mittels der verschiedenen optischen Distanzmesser auftretenden Differenzen als wahre Fehler betrachtet werden konnten. Die Bestimmungsgenauigkeit der Prüfstrecken mußte es auch gestatten, kleine Fehlereinflüsse, die bei den praktischen Messungen vernachlässigt werden können, aufzudecken und zu deuten. Die Abstände der Festpunkte auf den drei Prüfbahnen wurden vor Beginn der Untersuchungen mit einem komparierten Präzisionsmeßband aufliegend gemessen und durch eine Wiederholungsmessung am nächsten Tag kontrolliert. Nach Abschluß der Untersuchungen wurden die Meßbahnen nochmals durch eine Doppelmessung kontrolliert. Die Messungen zeigten an der Meßbahn unter Tage und im Institutsflur keine feststellbaren Veränderungen. Dagegen wurde bei der Meßbahn über Tage während der Untersuchungen eine Temperaturabhängigkeit bemerkt und durch mehrmalige Messungen bei verschiedenen Temperaturen zu $+0,0031 \text{ mm/m}$ bei $+1^{\text{grd}} \Delta t$ festgestellt. Diese Längenänderung wurde bei den Vergleichsmessungen berücksichtigt. Aus den beiden Doppelmessungen ergaben sich folgende mittlere Fehler für eine Teillänge:

Meßbahn unter Tage	Meßbahn im Institutsflur	Meßbahn auf der Prüferstraße
$M = \pm 1,04 \text{ mm}$	$M = \pm 0,31 \text{ mm}$	$M = \pm 0,36 \text{ mm}$

Die für die optische Distanzmessung ausnutzbare Genauigkeit der Prüfstrecken wird vor allem durch den Zentrierfehler bestimmt, der bei der Aufstellung der jeweiligen Stative mit Hilfe eines Schnurlotes über den Festpunktmarken entsteht. Nach den Untersuchungen von WERKMEISTER [180] über die Genauigkeit der Aufstellung von Zeiss-Stativen ist bei den Distanzmessungen auf den Vergleichsstrecken über Tage mit einem mittleren Zentrierfehler von $\pm 0,8$ mm zu rechnen, während er bei den schlechten Beleuchtungsverhältnissen in der Grube etwas über $\pm 1,0$ mm liegen wird. Somit übertrifft auf allen Vergleichsstrecken der Zentrierfehler die Bestimmungsgenauigkeit der Festpunkte.

Zur Vermeidung von einseitigen Meßbedingungen wurden auf der Prüfbahn unter Tage durch Öffnen und Schließen der Wettertüren verschiedene Wetterverhältnisse geschaffen. Da außerdem mit der entwickelten Distanzausrüstung abschließende Messungen in verschiedenen Bergbaubetrieben durchgeführt wurden, können die gewonnenen Ergebnisse ohne große Einschränkung verallgemeinert werden.

3. Wahl eines optischen Streckenmeßgerätes für Nachtragungszüge

Zur optischen Entfernungsermittlung der Zugseiten von Nachtragungszügen eignet sich am besten ein leichtes, kleines, einfaches und störunanfälliges Instrument, das nicht nur eine relative Streckenmeßgenauigkeit von 1:1000 unter den oft erschwerten Meßbedingungen im Abbau für Längen von 3 bis 40 m sichert, sondern auch eine rasche Winkelmessung mit der nötigen Genauigkeit ermöglicht. Im folgenden sollen aus der Vielzahl der in der Geodäsie bekannten Instrumententypen die Distanzmesser eingehend untersucht werden, die für untertägige Grubenmessungen geeignet erscheinen. Das Streckenmeßgerät, das sich für die Messung von Nachtragungszügen als am günstigsten erweist, soll durch bestimmte technische Verbesserungen den Grubenverhältnissen angepaßt werden.

Bei einem Vergleich von Messungen ist es zweckmäßig, alle Werte auf eine bestimmte Einheitsgröße zu beziehen; denn dadurch werden der Vergleich und die Beurteilung der Ergebnisse erleichtert. Für die innere Genauigkeit einer Messung kann der mittlere Fehler der Einzelmessung (m_i) oder der mittlere Fehler des arithmetischen Mittels (M_i) als Vergleichsgrundlage dienen. Von der Art und Durchführung der Messung hängt es ab, welche Fehlerangabe den besten Vergleich ermöglicht.

Zur Beurteilung der Ergebnisse der optischen Distanzmessung eignet sich für die Angabe der inneren und äußeren Genauigkeit der Fehler der Einzelmessung am besten. Die Fehler, aus denen sich die innere und äußere Genauigkeit einer Messung ergeben, werden im folgenden als innere Fehler (m_i) und äußere Fehler (m_e) bezeichnet. LÜDEMANN bezieht sich in seinen Angaben über die Genauigkeit der optischen Entfernungsmessung oft auf den Fehler M_i . Der Fehler m_i entspricht jedoch den Bedingungen der Praxis viel besser; denn bei einer rationellen Messung unter Tage hat der Messende nicht Zeit, Messungsreihen zu beobachten. Außerdem wurde bei den Versuchsmessungen festgestellt, daß sich durch eine größere Anzahl von Beobachtungen in einer Meßreihe nur die innere Genauigkeit erhöht. Der äußere oder wahre Fehler läßt sich durch mehrere Wiederholungsmessungen, vor allem bei den Doppelbildinstrumenten, nur bis zu einer bestimmten Grenze verringern. Bereits SIMMERDING [157] und BAHNERT [6] weisen darauf hin, daß bei der Doppelbilddistanzmessung nur eine begrenzte Anzahl von Koinzidenzen zu einer wahren Steigerung der Längenmeßgenauigkeit führt. Daher erfolgte die Beurteilung der in dieser Arbeit angegebenen Meßergebnisse nach dem Fehler der Einzelmessung.

3.1. Untersuchungen über die mit Fadendistanzmessern zu erreichenden Genauigkeiten

Von den in der Geodäsie bekannten und erprobten optischen Streckenmeßgeräten scheint für die Anwendung in der Grube der Fadendistanzmesser die meisten Vorteile zu versprechen. Ein moderner Hängetheodolit würde die in Abschnitt 1. an die Gestalt des Instrumentes gestellten Forderungen am besten erfüllen. Die Genauigkeit der Entfernungsmessung mit den Reichenbachschen Distanzfäden und normalen Ziellatten genügt jedoch nicht für die Streckenmessung von Nachtragungszügen.

Die Genauigkeit der Fadendistanzmessung ist abhängig von den Fehlereinflüssen der Höhenwinkelmessung, der Multiplikationskonstanten und des ermittelten Lattenabschnittes. Die ersten beiden Fehlereinflüsse können gegenüber dem letzten Anteil vernachlässigt werden. Die Unsicherheit in der Lattenabschnittsermittlung setzt sich aus der Einstellungsparallaxe und dem Schätzfehler zusammen. Bei scharfer Einstellung der Okularlupe auf das Fadenkreuz beträgt die Einstellparallaxe $m_{lp} = \pm 0,05$ mm [32]. Dieser Fehler kann auf den 3- bis 4fachen Betrag anwachsen, wenn unter ungünstigen Meßbedingungen in der Grube das Fadenkreuz nicht scharf eingestellt wird. Der Schätzfehler hängt von der Güte des Fernrohres, der Ausbildung der Distanzfäden, der Ausgestaltung des Lattenteilungsbildes und vom beobachtenden Auge ab. Da die Ablesegenauigkeit bei Zehntelschätzung des letzten Teilungsintervalls an einer Nivellierlatte sehr gering ist [102] (1:500 bei 10 m und 1:700 bei 30 m [106]), wurden Distanzlatte konstruiert, bei denen nur Mittenschätzungen in Feldern geeigneter Größe notwendig sind, so daß die Schätzung durch die bedeutend genauere Einstellung ersetzt wird.

Im bergmännischen Vermessungswesen versucht LÜDEMANN [106], die Genauigkeit der Fadendistanzmessung durch Einführung der Dieperink-Latte mit Feldermillimeterteilung zu erhöhen. Die in den Versuchsmessungen erreichten hohen Genauigkeiten (1:900 bei 10 m) [28] [106] wurden von der Praxis nicht bestätigt. Bei den Probemessungen übertraf trotz schärfster Fadenkreuzeinstellung bereits der Parallaxenfehler den Ablesefehler [28], außerdem erwies sich in der Grube die Dieperinksche Zählterasse als zu unübersichtlich. Auch die nach Vorschlägen von FOX entwickelte Distanzlatte mit Transversalteilung konnte sich unter Tage nicht durchsetzen.

Eine größere Bedeutung für die Bestimmung der Seitenlängen von Nachtragungszügen hat die Fadendistanzmessung mit der Schmidtschen Glaslatte erlangt. Bei dieser Distanzlatte läßt sich durch eine Transversalteilung die Lage des Distanzfadens auf 0,2 mm schätzen. STIEPEL erreichte mit dieser Latte bei Grubenmessungen bei doppelter Ablesung einen mittleren Distanzfehler von 1:600 für Längen zwischen 10 und 30 m [161]. Da LÜDEMANN in seiner Veröffentlichung 1950 [114] überzeugt ist, daß mit Hilfe der Schmidtschen Glaslatte die Seitenlängen von Nachtragungszügen bequem mit der erforderlichen Genauigkeit gemessen werden können, wurden zur Beurteilung der Leistungsfähigkeit der Latte eigene Messungen durchgeführt. Die Untersuchungen erfolgten mit dem Hängetheodolit Theo 6.1 der Freiburger Präzisionsmechanik auf der Prüfstrecke in der Lehrgrube. Die Beleuchtung erfolgte durch ein bis zwei gut brennende Azetylenlampen.

Zur Ermittlung des Längenmeßfehlers wurde an vier Tagen auf 9 Standpunkten zwischen 3 und 35 m je eine Meßreihe mit 10 Ablesungen beobachtet. Aus den Streuungen der 10 Ablesungen um den Mittelwert läßt sich der innere Fehler m_i ermitteln. Der äußere Fehler wurde — nach Berücksichtigung der Ergebnisse der Konstantenbestimmungen — aus den Abweichungen der einzelnen Meßwerte von den Entfernungen der Vergleichsstrecke berechnet. Bei den Messungen wurde eine innere Genauigkeit von $\pm 3,8 \text{ cm}/25 \text{ m}$ (1:700) und eine äußere Genauigkeit von $\pm 5,4 \text{ cm}/25 \text{ m}$ (1:500) erreicht (Anlage 1).

Die bei den Messungen erzielte geringe innere Meßgenauigkeit zeigt, daß trotz der verfeinerten Lattenteilung der größte Teil des Meßfehlers noch auf die Unsicherheit der Bestimmung des Lattenabschnittes zurückzuführen ist. Neben der geringen Genauigkeit weist die Schmidtsche Distanzlatte noch weitere bedeutende Nachteile auf: hohe Bruchgefahr, zu geringe Teilungsgenauigkeit sowie Schwierigkeiten bei einer scharfen Vertikal- und Rechtwinkeligstellung der Latte durch das Kugelgelenk.

Im übertägigen Vermessungswesen wurden die höchsten Genauigkeiten mit dem Präzisionsfadendistanzmesser nach HECKMANN erzielt. Bei diesem Distanzmesser sind in der Fadenplatte des Theodolits zwei vertikale Distanzstriche angebracht, deren rechter gegen den normal gezogenen linken nach oben im Verhältnis 1:10 konvergiert. Die horizontale, mit einer feinen Transversalteilung versehene Distanzlatte trägt links eine senkrechte Einstellmarke. Eine neben der Nullmarke liegende senkrechte Skala ist in 10 Intervalle geteilt und dient zur Feinablesung. Bei der Messung wird zunächst der linke Entfernungsstrich mit Hilfe der Feinstellschraube des Horizontalkreises auf die Nullmarke eingestellt. Danach kippt man das Fernrohr mit der Feinstellschraube des Höhenkreises, bis der schräge Distanzfaden mit einer Marke der Entfernungsteilung zusammenfällt. Dabei bewegt sich der Horizontalfaden um den zehnfachen Betrag der Entfernung des schrägen Distanzstriches von dem nächsten Lattenteilstrich. Die Veränderung des Horizontalfadens wird an der Hilfskala abgelesen.

Mit dem Präzisionsfadendistanzmesser erzielte HECKMANN bei der Messung von größeren Polygonzügen einen mittleren unregelmäßigen Längenfehler von $m = \pm 0,0015 \sqrt{s}$ ($\cong 1:3300$ bei 25 m) [58]. Diese hohe Längenmeßgenauigkeit wird, abgesehen von der besonderen Sorgfalt während der Ablesung und dem persönlichen Geschick des Beobachters, vor allem auf die Verringerung des Parallaxenfehlers durch den Einbau einer Okularblende zurückgeführt.

Auf Grund der guten Ergebnisse des Präzisionsfadendistanzmessers wurde für den Hängetheodolit zur Streckenmessung von Nachtragungszügen von der Freiburger Präzisionsmechanik eine Glaslatte mit Transversalteilung nach HECKMANN entwickelt (Bild 1).

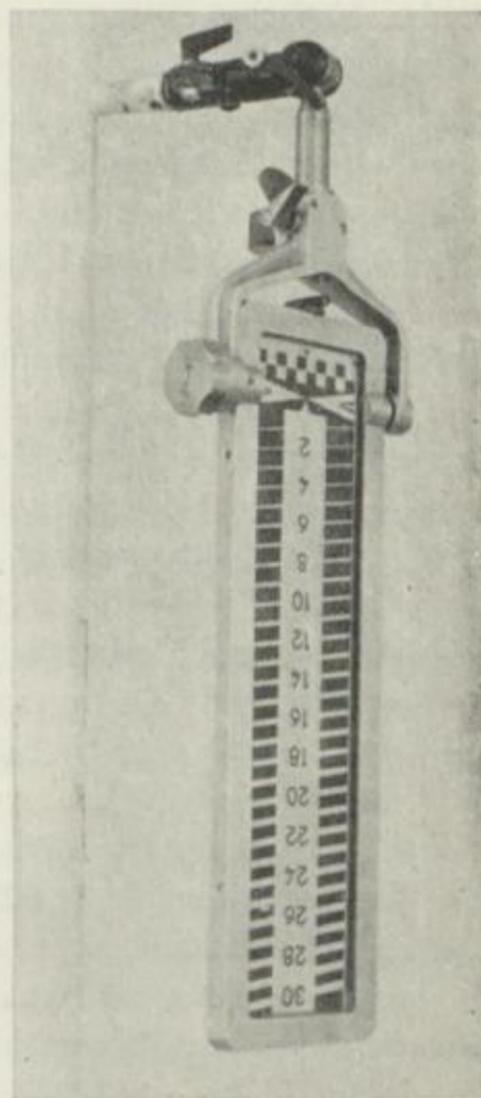


Bild 1

Versuchsmuster der Grubenhängelatte nach HECKMANN

Für Nachtragungszüge mit einem Hängetheodolit ist die horizontale Lattenaufstellung oft schwierig oder unmöglich. Deshalb wurde die Latte so konstruiert, daß sie mit einem Diopter rechtwinklig zur Mittelvisur des Theodolits geneigt werden kann. Eine lotrechte Lattenaufstellung ist bei Verwendung von einem Fadenkreuz mit einem geneigten Faden in Verbindung mit einer Transversallatte nicht möglich, denn die Neigung des Distanzfadens und der Teilstriche der Latte muß bei allen Fernrohrneigungen übereinstimmen.

Die Genauigkeitsuntersuchungen mit dem Versuchsmuster der Grubenhängelatte nach HECKMANN wurden mit dem Theo 6.1 auf der untertägigen Prüfstrecke durchgeführt. Die Beleuchtung erfolgte mit einer hell brennenden Azetylenlampe. An 5 Tagen wurden auf 7 Standpunkten zwischen 3 und 27 m jeweils 10 Ablesungen vorgenommen. Die Ergebnisse der Messungen zeigt Anlage 1. Die Größe des gesamten Ablesefehlers beträgt bei 10 m = 11 mm (1:900) und bei 25 m = 21 mm (1:1100), während nach Berücksichtigung der Konstantenverbesserungen für die äußere Genauigkeit folgende Werte ermittelt wurden:

$$\text{bei 10 m } m_e = 14 \text{ mm (1:700); bei 25 m } m_e = 28 \text{ mm (1:900).}$$

Um den Einfluß des Einstellfehlers an der Nullmarke getrennt von dem Einstellfehler des Schrägfadens an den Teilstrichen und dem Schätzungsfehler des Vertikalfadens an der Hilfsskala angeben zu können, wurden zwei zusätzliche Reihenmessungen durchgeführt. Hierbei blieb bei den 10 Ablesungen pro Standpunkt die Einstellung an der Nullmarke unverändert. Diese Untersuchungen zeigten (Anlage 1), daß die Mehrzahl der Ablesefehler durch die Einstellung des Schrägfadens und die Schätzung der Lage des Vertikalfadens in der Hilfsskala hervorgerufen wird. Ein Vergleich der äußeren Fehler mit den Ergebnissen der Schmidtschen Glaslatte zeigt eine Genauigkeitssteigerung von etwa 80%. Jedoch genügen die mit der HECKMANN-Grubenlatte erzielten Leistungen den Anforderungen für Nachtragungszüge noch nicht. Auch die von UHINK [170] vorgeschlagene und von HECKMANN [58] angewendete Okularblende würde die Zielgenauigkeit des Hängetheodolits Theo 6.1 nicht erhöhen, da bei diesem Instrument der „anallaktische“ Punkt für große Entfernungen im Objektiv liegt, so daß die Parallaxenfehler bereits das Minimum aufweisen, das HECKMANN für ein Fernrohr anderer Konstruktion erst durch den Einbau einer Okularblende erreichte.

Der HECKMANN-Distanzmesser stellt hohe Anforderungen an den Gang der Horizontal- und Vertikalfeintriebsschrauben. Um feinmechanische Unzulänglichkeiten des Theodolits auszugleichen, wurden Untersuchungsmessungen mit einem vor dem Fernrohrobjektiv befestigten Planplattenmikrometer durchgeführt. Durch den Einbau einer planparallelen Glasplatte läßt sich die eine Hälfte des Lattenbildes um einen bestimmten Betrag verschieben, so daß beide Distanzstriche auf geeignete Lattenzielmarken eingestellt werden können. Die Abstände der Zielmarken dürfen für eine genaue Messung der Parallelverschiebung nicht mehr als 1 cm voneinander entfernt sein, damit die Dicke, der Brechungsindex und der Kippwinkel der planparallelen Platte bestimmte Höchstmaße nicht überschreiten. Bei Verwendung von vertikalen Distanzlatten muß bei geneigten Visuren die Planplatte oder die Distanzlatte entsprechend der Zielstrahlneigung gekippt werden; denn die Zielstrahlversetzung läßt sich nur

einwandfrei messen, wenn sich in der Nullstellung die Planplatte parallel zur Distanzlatte befindet.

Untersuchungen über die Genauigkeit von Fadendistanzmessern mit Planplatte für die Längenmessung unter Tage sind bisher nur von EVERSMANN [35] bekannt geworden. Er führte die Messungen mit einem Präzisionsnivellier (Vergrößerung 36fach) und einem Theodolit (Vergrößerung 18fach) an Nivellierlatten mit Halbzentimeterstrichteilung und 5-mm-Schachbrettfelderteilung durch. Mit dem Nivellier wurde ein Streckenmeßfehler von 1:2800 für eine Seitenlänge von 25 m erzielt, während für den Theodolit eine äußere Genauigkeit von 1:900 bei 10 m und 1:1800 bei 25 m sowie eine innere Genauigkeit von 1:1600 bei 10 m angegeben wird.

Es galt, die bei modernen Instrumenten durch den Vorsatz einer Planplatte erreichbare Genauigkeit der Fadendistanzmessung zu bestimmen. Zu diesem Zweck wurden mit einem Zeiss-Nivellier Ni 030 (Vergrößerung 25fach) und einem Theo 6.1 (Vergrößerung 20fach) unter verschiedenen Verhältnissen jeweils 9 Messungsreihen zu je 10 Lattenabschnittsermittlungen bei Entfernungen zwischen 4 und 36 m durchgeführt. Die Einstellungen erfolgten mit den beiden Distanzfäden auf den Rand der Teilstriche einer mit 2 Azetylenlampen beleuchteten Feinnivellierlatte (Lattenteilung $\frac{1}{2}$ cm, Strichstärke 0,8 mm). Während bei den Messungen mit dem Ni 030 ein innerer Fehler $m_i = \pm 13,5$ mm/25 m (1:1800) und ein äußerer Fehler $m_e = 20,5$ mm/25 m (1:1200) erzielt wurde, betragen die entsprechenden Genauigkeiten beim Theo 6.1 $m_i = \pm 24,8$ mm/25 m (1:1000) und $m_e = 28,0$ mm/25 m (1:900) (s. Anlage 2). Die mit dem Ni 030 erreichte größere Genauigkeit ist auf die höhere Fernrohrvergrößerung, die feineren Distanzstriche und auf die Unveränderlichkeit der Höhenlage des Fernrohrs während einer Messung zurückzuführen.

Die Untersuchungen zeigten, daß man mit der Fadendistanzmessung mit einem Planplattenmikrometer in Verbindung mit einem Hängetheodolit keine brauchbaren Ergebnisse erzielt. Mit diesem Meßverfahren ist die für Nachtragungszüge erforderliche Streckenmeßgenauigkeit von 1:1000 nicht zu erreichen. Eine hängende Theodolitaufstellung ist für eine Präzisionsfadendistanzmessung zu unruhig. Während der getrennten Ablesung an den beiden Distanzfäden lassen sich kleinste Veränderungen der Fernrohrlage, die zu größeren Meßfehlern führen, nicht vermeiden und nicht erfassen, auch wenn nach der Ablesung zur Kontrolle die Planplatte wieder in die Nullage zurückgeführt wird. Diese Distanzmessung stellt an die Klemmwirkung der Feststellschraube und an den Gang der Feintriebsschraube des Vertikalkreises zu hohe Anforderungen. Außerdem bieten Fadendistanzmesser mit Planplatte gegenüber einem Instrument mit Vorsatzkeil keine Vorteile. Bei der Fadendistanzmessung wird durch die erforderliche zweifache Lattenablesung die Längenmeßgenauigkeit immer geringer und der Zeitaufwand für die Bestimmung des Lattenabschnittes größer sein als bei der Doppelbilddistanzmessung. In der Größe und im Gewicht wird sich eine Planplatte nur wenig von einem Vorsatzkeil unterscheiden. Die Doppelbilddistanzmessung und die Fadendistanzmessung mit Planplatte benötigen besondere, in kleine Intervalle (1 oder $\frac{1}{2}$ cm) geteilte Distanzstrichlatten, die bei flachen Visuren senkrecht zum Zielstrahl gestellt werden müssen, wenn nicht durch eine besondere Vorrichtung die Planplatte oder der Dimeßkeil entsprechend der Ziellinienneigung gekippt wird.

Eine übersichtliche Lattenteilung mit nur wenigen Zielmarken ist nur in Verbindung mit einem Okularschraubendistanzmesser anwendbar. Bei diesem Fadendistanzmesser wird der eine Faden gegen den anderen mechanisch verschoben. Dadurch lassen sich beide Distanzstriche auf bestimmte Zielzeichen an der Latte einstellen und die Verschiebung des Fadenabstandes, die zu einer entsprechenden Veränderung der Multiplikationskonstante führt, mit Hilfe einer Mikrometerschraube messen. Obwohl die Okularschraubendistanzmesser in vielen Versuchsinstrumenten ausgeführt wurden, haben sie sich in der Praxis nicht durchgesetzt, da der komplizierte Mechanismus der Mikrometerschrauben sich als sehr empfindlich erwies und die erwartete hohe Genauigkeit ausblieb [32].

Im modernen Instrumentenbau geht man immer mehr von rein mechanischen Konstruktionen, wie Meßschrauben und Gelenken, ab und ersetzt diese durch optische Bauelemente. Unter Berücksichtigung dieser Entwicklung wurde vor einigen Jahren von der Firma Ertel ein Versuchsinstrument gebaut [137], bei dem an Stelle der verschiebbaren Distanzfäden eine Glasplatte mit zwei Kurven verwendet wird. Als Zielplatte dient je nach den Anforderungen eine 40 bis 150 cm lange, mit verschiedenen kreisförmigen Zielpunkten versehene Basis. Bei einer Basislänge von 80 cm und einer Entfernung von 100 m gibt PREYSS für den Ertelschen Distanzmesser eine innere Genauigkeit von 1:1800 an. Aus den Angaben über die Instrumentengenauigkeit für eine große Bezugslänge läßt sich nur schwer der zu erwartende äußere Fehler bei kurzen Distanzen ableiten. Bei den Fadendistanzmessern mit veränderlicher Basis verringert sich die relative Streckenmeßgenauigkeit mit abnehmender Meßdistanz. Bei dem Ertelschen Distanzmesser hingegen vergrößert sich die relative Genauigkeit mit abnehmender Meßdistanz. Da jedoch bei kürzeren Entfernungen der Gesichtswinkel des Fernrohrs der Basislänge und damit der Genauigkeitssteigerung eine Grenze setzt, ist für Nachtragungszüge eine 40 cm lange Basis vorgesehen. PREYSS berücksichtigt bei der Berechnung der inneren Genauigkeit des Distanzmessers den günstigsten Zielfehler des Versuchsinstrumentes ($m_z = \pm 0,5''$). Unter den erschwerten Beobachtungsverhältnissen in der Grube ist der in der Veröffentlichung angegebene obere Wert von $0,9''$ anzunehmen. Somit dürfte sich die innere Genauigkeit des Distanzmessers auf $\approx 1:1000$ verschlechtern. Außerdem kann in der vorgesehenen Ausführungsform des Distanzmessers die Entfernung nur auf 2,5 cm genau abgelesen und keine Schätzung vorgenommen werden. Diese Überlegungen zeigen, daß auch mit einem Distanzmesser mit veränderlichem Fadenabstand die für Nachtragungszüge erforderliche äußere Genauigkeit kaum zu erreichen ist.

Die Untersuchungen der verschiedenen Fadendistanzmesser mit fester und veränderlicher Zielbasis zeigten, daß diese Instrumente für die Entfernungsmessung von Nachtragungszügen mit einem Hängetheodolit wenig geeignet sind. Die Präzisionsfadendistanzmessung erfordert eine stabile Theodolitaufstellung. Während der zeitlich getrennten Einstellungen bzw. Ablesungen an den beiden Distanzstrichen läßt sich beim Bedienen der Klemmen, Feintriebe und Mikrometer eine geringe Veränderung der Fernrohrlage des Theodolits nicht vermeiden, wodurch größere, schwer erfaßbare Längenmeßfehler entstehen. Außerdem erschwert die hängende Aufstellung des Theodolits (Schwingungen) die für eine zügige und genaue Messung erforderliche ruhige Zielung. Durch die zwei Zielungen ist die Einsatzmöglichkeit der Fadendistanzmessung eingeschränkt. Während der Distanzmessung darf sich auch die Lage der Zielbasis

nicht verändern. Deshalb können Längen nach einer freihändig gehaltenen Distanzlatte nicht oder nur mit großen Fehlern ermittelt werden. Die Fadendistanzmesser sind deshalb für Nachtragungszüge den Doppelbildgeräten unterlegen.

3.2. Untersuchungen über die Eignung von Doppelbilddistanzmessern für den Einsatz in der Grube

Bei den bisher untersuchten Fadendistanzmessern kam es darauf an, Wege zu finden, die zu einer Steigerung der Genauigkeit dieser Instrumente führen. Die Doppelbildentfernungsmesser übertreffen bei ihrem Einsatz im übertägigen Vermessungswesen zum größten Teil die für Nachtragungszüge geforderte Genauigkeit von 1:1000. Aus der Vielzahl der vorhandenen Doppelbilddistanzmesser sollten die für Nachtragungsmessungen am geeignetsten erscheinenden Instrumente ausgewählt und, falls nötig, durch technische Verbesserungen den Meßbedingungen unter Tage angepaßt werden.

Die Doppelbildreduktionstachymeter scheiden für Nachtragungsmessungen aus, da sie infolge ihrer Größe, des hohen Gewichtes und der empfindlichen Reduktionseinrichtung für die engen und rauhen Verhältnisse unter Tage wenig geeignet sind. Eine Ausnahme bildet der ebenfalls eine horizontale Entfernung liefernde „reduzierende Distanzkeil DR“ von der Firma Kern. Nach den Angaben der Instrumentenfirmen kann man mit den Reduktionstachymetern kaum eine höhere Streckenmeßgenauigkeit als mit den Vorsatzkeilen erreichen. Die Vorsatzkeile sind im allgemeinen klein, kompakt und störunanfällig. Sie lassen sich erforderlichenfalls schnell vor dem Objektiv der Grubentheodolite anbringen und erhöhen das Gewicht des Instrumentes nur wenig. Die Reduktionstachymeter werden für unter Tage nur dann Bedeutung erlangen, wenn sie gegenüber den anderen Doppelbildinstrumenten eine bedeutend höhere Längenmeßgenauigkeit liefern, so daß sie für den größten Teil der in den Hauptstrecken anfallenden Längenmessungen eingesetzt werden können.

Da sich für die Winkelmessung von Nachtragungszügen der Hängetheodolit am besten bewährt hat, soll für dieses Instrument ein geeigneter Vorsatzkeil zur Bestimmung der Zugseitenlängen ausgewählt werden. Der reduzierende Distanzmeßkeil von der Firma Kern liefert sofort die horizontale Entfernung. Bei diesem Distanzmeßvorsatz ist an Stelle des einfachen Keils ein Drehkeilpaar in die Fassung eingebaut, das im Gegensatz zu den Reduktionstachymetern vom Beobachter durch Einspielung einer an der Außenwand des Distanzmeßkörpers befindlichen Libelle gesteuert wird. Durch die Reduktionseinrichtung ist dieser Vorsatzkeil jedoch für ein Nachtragungsinstrument zu groß und zu schwer. Außerdem ist die am Distanzmeßkörper angebrachte Libelle mit dem Einstellmechanismus für den Grubenbetrieb zu empfindlich. Somit kommen als Vorsatzkeile für den Hängetheodolit nur der einfache Distanzmeßkeil und der Lotakeil in Frage. Bei den einfachen Distanzmeßkeilen gibt es je nach Firma verschiedene Ausführungsformen. Diese Vorsatzgeräte unterscheiden sich im wesentlichen nur durch die Keilform und -anordnung sowie durch die verschiedenartige Ausführung der Latte und ihrer Aufstellvorrichtung, so daß es genügt, eine Ausführungsform zu untersuchen. Eine Entscheidung zwischen den Distanzmeßkeilen „Dimeß“ und „Lota“ war nur auf Grund von ausreichenden Versuchsmessungen möglich.

3.2.1. Allgemeine Betrachtungen zu den Fehlerquellen der Doppelbilddistanzmessung

Um die verschiedenen Doppelbilddistanzmesser auf ihre Eignung für unter Tage richtig beurteilen und optimale Ergebnisse erzielen zu können, muß man die wirklichen physikalischen und physiologischen Fehlerquellen kennen. Durch entsprechende Vorkehrungen bei den Versuchsmessungen wurde versucht, die Ursachen der Fehler soweit wie möglich zu beseitigen oder zu verringern. Vor allem wurde auf die einseitig wirkenden Meßfehler geachtet.

Fehlerquellen sind: der physikalische Zustand des Luftraumes zwischen Instrument und Distanzlatte, das benutzte Instrument einschließlich Latte sowie der Beobachter.

Der erste Fehlereinfluß wirkte sich bei den Untersuchungsmessungen kaum aus. Die Messungen auf der Prüfbahn über Tage wurden bei bedecktem Himmel oder zu einer Zeit durchgeführt, während die Prüfstrecke im Schatten lag. Außerdem betrug die größte Meßdistanz nur 60 m.

Unter Grubenverhältnissen ist die Strahlenbrechung im allgemeinen nicht so großen Schwankungen ausgesetzt wie im Gelände [42]. Auf der Prüfbahn in der Lehrgrube ließen sich mit Hilfe von Wettertüren bei den verschiedenen Messungen fast gleichbleibende Beobachtungsverhältnisse schaffen. Die Meßpunkte im Querschlag waren so eingebracht worden, daß die Latte bzw. das Instrument in Streckenmitte aufgestellt werden konnte, wo nach Untersuchungen von GREJM [46] und PETRÁS [136] der Refraktionseinfluß am geringsten ist.

Die durch das Instrument und die Latte hervorgerufenen Fehlereinflüsse wurden bei den Untersuchungsmessungen durch eine genaue Konstantenbestimmung und durch ein sorgfältiges Aufstellen des Instrumentariums soweit wie möglich verringert. Während die unregelmäßigen Teilungsfehler der Latte durch Komparierung (Abschnitt 5.3.5.) festgestellt wurden, gehen die gleichmäßigen Maßstabsfehler in die Bestimmung der Multiplikationskonstante ein. Die Aufstellungsfehler der Latte (horizontale Latte geneigt oder nicht rechtwinklig zur Hauptziellinie und Ablotefehler) konnten durch genaue Überprüfung der vom Gehilfen vorgenommenen Lattenaufstellung klein gehalten werden. Bei der Verwendung der Dimeß-Handlatte entsteht ein Fehler infolge unsymmetrischer Lage des Lattenabschnitts zum Zielpunkt, da die Latte in der Halterung seitlich nicht verschoben werden kann. Dieser Fehlereinfluß erreicht jedoch maximal nur die Größe von $\pm 0,7$ mm (Ableitung in Abschnitt 5.3.2.) und kann vernachlässigt werden.

Bei den Doppelbildinstrumenten ist die Größe der Lichtstrahlablenkung durch das Keilsystem nicht nur von seinen optischen Daten und vom Keilwinkel, sondern auch vom Auftreffwinkel jedes einzelnen Strahles abhängig. Die abgelenkten Strahlen besitzen keinen gemeinsamen Schnittpunkt. Die Streuung ist jedoch so gering, daß sie bei Instrumenten mit der bisher üblichen Fernrohrvergrößerung kaum wahrgenommen werden kann, solange sich der Keil in Minimumlage befindet [44]. Infolge der Abhängigkeit der Lichtstrahlablenkung vom Auftreffwinkel ändert sich der Distanzfehler mit der Lage des Beobachtungspunktes im Fernrohr Gesichtsfeld. Außerdem wächst bei allen Distanzmessern die Bildverzeichnung nach den Rändern des Objektivs zu. Deshalb wurde darauf geachtet, daß die Ablesung bei der Konstantenbestimmung

wie beim Messen stets an derselben Stelle des Fernrohr Gesichtsfeldes und möglichst in Nähe der optischen Achse erfolgte.

Bei den untersuchten Doppelbilddistanzmessern wird die Abweichung des Index vom Skalenstrich nicht geschätzt, sondern durch Koinzidenz beseitigt. Bei diesem Verfahren treten persönliche Koinzidenzfehler auf, die je nach dem Temperament des Beobachters stark schwanken können. Dieser persönliche Fehler konnte beim Koinzidieren durch Berücksichtigung der Nachbarstriche des Lattennonius und durch Mittelbildung aus einer gleichen Anzahl Einstellungen, die durch abwechselndes Rechts- und Linksdrehen der Mikrometerschraube ermittelt wurden, verringert werden. Auf jedem Standpunkt wurde im allgemeinen eine Meßreihe mit 10 Doppelkoinzidenzen beobachtet. Die verhältnismäßig hohe Anzahl von Koinzidenzen pro Standpunkt wurde durchgeführt, um die zu verschiedenen Zeiten unterschiedliche persönliche Streuung zu verringern und den Mittelwert einer Meßreihe sehr genau zu erhalten. Im Laufe der Messungen wurde jedoch festgestellt, daß sich durch die Vielzahl der Koinzidenzen nur die innere Genauigkeit des Meßwertes erhöht. Dagegen läßt sich der äußere Fehler nur durch eine begrenzte Anzahl von Koinzidenzen verringern. Um jedoch die Einheitlichkeit der Messungen für die Auswertung zu bewahren, wurde die Anzahl der Koinzidenzen je Meßreihe beibehalten.

Die Koinzidenzgenauigkeit bei Fernrohrzielungen nach einer Latte ist von der Beleuchtungsstärke der Latte und dem Kontrast, unter dem die Lattenteilungsstriche dem Beobachter erscheinen, abhängig (Abschnitt 4.1.2.). Bei den Versuchsmessungen unter Tage wurde durch Verwendung von mehreren Azetylen grubenlampen für eine genügende und gleichmäßige Beleuchtung der Ablesestellen an der Latte gesorgt. Um den Adaptionszustand des Auges nicht zu stören, wurde eine Blendung des Beobachters durch eigene oder fremde Lampen vermieden.

3.2.2. Bisherige Ergebnisse der Grubenmessungen mit Doppelbildtachymeter

Über die Einsatzmöglichkeiten der Doppelbildinstrumente zur Entfernungsmessung unter Tage ist bisher wenig berichtet worden. In diesen wenigen Veröffentlichungen sind außerdem meist Versuchsmessungen mit Doppelbildreduktionstachymetern beschrieben. Man hoffte, diese Instrumente zur Längenmessung in größeren Strecken für Haupt- und Verbindungszüge einsetzen zu können. Untersuchungen über die Eignung der Doppelbilddistanzmesser für die Streckenmessung von Nachtragungszügen sind meines Wissens noch nicht durchgeführt worden. Obwohl die Doppelbildreduktionstachymeter für Nachtragungszüge ungeeignet sind, lassen sich aus den Meßergebnissen gewisse Rückschlüsse auf den Einsatz der Distanzmeßkeile als Vorsatz für Hänge-theodolite ziehen.

Die ersten größeren Untersuchungsmessungen in der Grube wurden von EVERSMANN [34] [36] mit den Doppelbildtachymetern „Arreger-Hildebrand“ und „Boßhardt-Zeiss“ durchgeführt. Anfangs erfolgten die Messungen mit normalen Doppelbildtachymeter-Ausrüstungen [34]. Obwohl die Latten von 2 bis 3 Azetylen grubenlampen angestrahlt wurden, konnte der hohe Anteil des Ablese- bzw. Einstellfehlers am Längenmeßfehler nicht herabgesetzt werden. Der mittlere äußere Fehler einer einmaligen Messung ist

für beide Instrumente ungefähr gleich und beträgt in der Grube $m_e = \pm 18$ mm auf 50 m (1:2800) und über Tage $m_e = \pm 17$ mm auf 100 m (1:6000). Bezieht man die beiden Genauigkeitsangaben auf eine gemeinsame Bezugslänge von 25 m, so erhält man folgende relative Distanzfehler: unter Tage 1:2500, über Tage 1:4000. EVERSMANN berücksichtigte bei der Gewichtsermittlung für die Einheitsstrecken das Fehlergesetz $c\sqrt{s}$, obwohl er bei den Berechnungen feststellte, daß für die einzelnen Entfernungen der Wert $p \cdot m_e^2$ beträchtliche Schwankungen zeigte. Abschließend schlug er zur Genauigkeitssteigerung der Doppelbilddistanzmessung unter Tage vor, eine kurze Grubenlatte zu konstruieren und die Lattenbeleuchtung zu verbessern. Für Entfernungen über 50 m sollte der Intervallabstand der Lattenteilung größer als ein Zentimeter sein.

Bei den zwei Jahre später erfolgten Grubenmessungen verwendete EVERSMANN die beiden gleichen Instrumente mit einer besonderen Grubenausrüstung [36]. Die zwei zu jedem Instrument gehörenden Entfernungsmeßplatten von 80 bzw. 95 cm Länge waren mit einer besonderen elektrischen Beleuchtungs-ausrüstung (am Nonius eine feste und für die Lattenteilung eine verschiebbare Lampe) versehen. Zur Genauigkeitsuntersuchung der Doppelbildinstrumente wurden 3 geschlossene Polygonzüge von je 105 m Länge und auf einer besonderen Prüfstrecke mit 7 Standpunkten zwischen 5 und 60 m Beobachtungsreihen gemessen. Während die Polygonzüge zu keinem brauchbaren Ergebnis führten, leitete EVERSMANN aus den Reihenbeobachtungen eine relative Längenmeßgenauigkeit von 1:2000 für Längen unter 20 m und von 1:4000 bis 1:5000 für Distanzen von 20 bis 60 m ab. Diese Genauigkeitsangaben geben jedoch nur teilweise den äußeren Fehler wieder, da aus den Messungsreihen gleichzeitig die Instrumentenkonstanten zur Verbesserung derselben Beobachtungen bestimmt wurden.

Berechnet man den äußeren Fehler aus den gleichen Messungen, die auch zur Ermittlung der Konstantenverbesserung dienen, so wird ein Teil der bei den praktischen Distanzmessungen nicht zu vermeidenden und bei der Auswertung auch nicht erfaßbaren systematischen Fehleranteile beseitigt und eine zu günstige Genauigkeit erhalten.

LÜDEMANN [111] führte seine Versuchsmessungen nur mit dem Doppelbilddistanzmesser von HILDEBRAND in einem verdunkelten Raum oder nachts mit einer elektrisch beleuchteten Latte (2 feste Lampen am Nonius, 1 verschiebbar für die Lattenteilung) durch. Den mittleren äußeren Längenmeßfehler gab er mit $\pm 16,2$ mm/50 m (1:3000) und $\pm 5,5$ mm/10 m (1:1800) an und erreichte damit nahezu Übereinstimmung mit EVERSMANN [34].

Bei späteren Untersuchungen verwendete LÜDEMANN [114] drei Theodolite (Vergrößerung 28fach) mit vorgesetztem Glaskeil. Ein Vorsatzkeil war mit einer Planparallelplatte versehen. Zum Unterschied von den bisherigen Doppelbilddistanzmessungen wurde als Teilungsträger für die Distanzlatten erstmals Sicherheitsglas verwendet, so daß eine schlagwettersichere Beleuchtung hinter der Latte angebracht werden konnte. Mit jedem Instrument beobachtete er 13 Messungsreihen zwischen 6 und 60 m mit je 20 Ablesungen. Die Messungen wurden über Tage während der Dunkelheit ausgeführt und erstreckten sich über mehrere Jahre. Da die Fernrohre der drei Theodolite in ihrer optischen Leistungsfähigkeit im wesentlichen übereinstimmen, werden die Meßwerte bei Ablesung mit dem Nonius und Schätzung von Bruchteilen seiner Angabe zu einem Mittelwert zusammengefaßt und der äußere Fehler durch die

Beziehung $m_e = (1,85 \pm 0,02) \sqrt{s'}$ wiedergegeben. Er erreichte also eine relative äußere Genauigkeit von 1:2700 bei einer Meßdistanz von $s' = 25$ m und 1:1700 bei $s' = 10$ m, während bei Benutzung der Planplatte und doppelter Koinzidenzeinstellung die entsprechenden Fehler durch den Ausdruck $m = (1,38 \pm 0,04) \sqrt{s'}$ wiedergegeben werden ($\pm 1:3600/25$ m und $1:2300/10$ m). Auf Grund dieser Ergebnisse glaubte LÜDEMANN, daß als Hauptanwendungsgebiet der Doppelbildtachymeter die Verbindungszüge in Frage kommen. Die Steigerung der Längenmeßgenauigkeit machte er von der Schaffung einer genügend hellen und gleichmäßigen Beleuchtung des auf Kontrastwirkung abgestellten Teilungsbildes der Latte abhängig. Um eine Blendung beim Ablesen zu vermeiden, schlug er vor, die Latte mit einer geeigneten Färbung zu versehen oder vor dem Fernrohrkular ein Farbfilter anzuordnen.

Ausgedehnte Untersuchungen über die Anwendungsmöglichkeiten der Doppelbilddistanzmessung unter Tage führte TYSOWSKYJ [169] durch. Er überprüfte, ob sich der Redta (Baujahr 1942) zur optischen Feinlängenmessung mit einer geforderten relativen Genauigkeit von 1:10000 eignet. Obgleich die bei der optischen Längenmessung auftretenden Fehlerbestandteile eingehend untersucht und bei den abschließenden Probenmessungen berücksichtigt wurden, erreichte er mit dem ihm zur Verfügung stehenden Instrumentarium nicht die geforderte Genauigkeit. Aus den wahren Abweichungen der Redta-Messung von den Prüfstreckenlängen erhält TYSOWSKYJ als Fehlerkurve für die optische Präzisionslängenmessung unter Tage den Ausdruck:

$$m^2 = 12 - 1,418 \cdot s + 0,0414 \cdot s^2.$$

Da diese Formel ein Minuszeichen enthält, das nach dem Fehlerfortpflanzungsgesetz nicht zutreffen kann, läßt er die ersten beiden Glieder der Gleichung weg und erhält nach einer nochmaligen Ausgleichung den Wert

$$m = \pm 0,132 s.$$

Nach dieser Fehlerfunktion beträgt die mit dem Redta erreichbare relative Längenmeßgenauigkeit 1:7500.

Bei der abschließenden Messung von 8 Polygonzügen konnte diese Genauigkeit nicht eingehalten werden. Die teilweise hohen Abweichungen gegenüber der mechanischen Längenmessung werden auf systematische Fehlereinflüsse (Temperaturempfindlichkeit) des Redta-Instrumentes zurückgeführt. TYSOWSKYJ kommt auf Grund seiner zahlreichen Untersuchungen und Erfahrungen mit dem Redta zu dem abschließenden Ergebnis, „daß die optische Feinlängenmessung mit dem Redta zahlreichen Fehlerquellen ausgesetzt ist, die ein abschließendes Urteil über die erreichbare Meßgenauigkeit so lange nicht zulassen, als Instrumenten- und Gerätefehler völlig unzulässige, die von E. EMSCHERMANN vorgeschlagenen Fehlergrenzen weit übertreffende Widersprüche hervorrufen“ [169, S. 67]. Trotzdem ist NIEMCZYK [128] auf Grund der Ergebnisse der Arbeit von TYSOWSKYJ überzeugt, daß es durch die optische Längenmessung unter Tage möglich ist, bei Durchschnittslängen von 30 m eine relative Genauigkeit von 1:15000 und bei Entfernungen von 50 m eine Genauigkeit von 1:10000 einzuhalten und damit die an das Hauptzugnetz gestellten Anforderungen zu erfüllen.

Zur Genauigkeitssteigerung der optischen Distanzmessung gibt TYSOWSKYJ abschließend Hinweise zur Verbesserung des Redta, der Latten, Signale und Beleuchtungseinrichtungen. Auf diese Vorschläge soll zum Teil in den betreffenden Abschnitten noch näher eingegangen werden.

Ogleich seit der Arbeit von TYSOWSKYJ die Reduktionstachymeter bedeutend weiterentwickelt worden sind, ist es bis jetzt noch nicht gelungen, mit diesen Instrumenten beim praktischen Einsatz ohne zusätzliche Mittel eine Längenmeßgenauigkeit von 1:10000 zu garantieren.

Bei den 1956 durchgeführten Untersuchungen mit einem Doppelbildreduktionstachymeter DK-RT von der Firma Kern erreichte SCHMIDT [145] bei weißem Licht eine Längenmeßgenauigkeit von 1:13000. Bei der Verwendung von Rotfilterlicht 1 konnte durch Erhöhung der Noniussehstärke die äußere Genauigkeit um $\approx 30\%$ auf 1:17000 gesteigert werden. Die Genauigkeitsangaben wurden nicht auf eine bestimmte Einheitslänge bezogen, sondern stellen Durchschnittswerte der Messungsergebnisse aus Beobachtungsreihen von 10 Standpunkten zwischen 10 und 100 m dar. Die von SCHMIDT festgestellten Längenmeßgenauigkeiten lassen die meisten äußeren Fehlereinflüsse, wie persönliche Fehler, Lattenaufstellungsfehler, Restfehler der Instrumentenkonstanten und Refraktionseinflüsse, unberücksichtigt, so daß man unter normalen Meßbedingungen kaum so günstige Ergebnisse erhalten wird.

In der UdSSR wurde für die optische Streckenmessung unter Tage der Vorsatzkeil DN-6 m in Verbindung mit einer speziellen Distanzgrubenlatte entwickelt [53]. An der Vorderseite des Distanzmeßvorsatzes befinden sich in der Fassung zwei feste Glaskeile, die je eine Hälfte der Objektivöffnung bedecken und den Sehstrahl um den gleichen Winkel nach entgegengesetzten Seiten ablenken. In der mit einer Mikrometertrommel verschiebbaren Fassung sind zwei ähnliche Keile befestigt, deren brechende Kanten gegenüber denen der festen Keile um 200° verdreht liegen. Durch eine Veränderung der Schiebekeile wird der Scheitel des parallaktischen Winkels verschoben. Bei der Nullstellung der Mikrometertrommel fällt der Scheitelpunkt mit der Kippachse des Fernrohrs zusammen. Da die Mikrometertrommel nur in 10 Intervalle (Doppelzentimeter, Schätzung auf Doppelmillimeter) unterteilt ist, muß man für eine Distanzermittlung zweimal koinzidieren und die beiden Trommelablesungen addieren.

Die Distanzgrubenlatte hat eine Länge von 70 cm und kann in horizontaler und vertikaler Lage verwendet werden. Die Lattenteilungseinheit beträgt 1 cm und die Noniusangabe 2 mm. Der Teilungsträger der Distanzlatte besteht aus Plexiglas, so daß die Latte von hinten mit zwei an der Latte angebrachten Grubenkopflampen beleuchtet werden kann. Nach Angaben von GUSEV [54] beträgt die mit dieser Distanzmeßausrüstung erreichbare mittlere relative Entfernungsmeßgenauigkeit 1:2000 auf 70 m. Bei kurzen Zielweiten ist eine bedeutende Verringerung der Genauigkeit zu erwarten, da sich infolge der ungünstigen Keilanordnung der persönliche Fehler des Beobachters voll auswirkt. Außerdem werden die freiliegende Meßspindel und die Führungsschiene für den Verschiebungskeil leicht verstauben, sich dadurch schnell abnutzen und eine zusätzliche Fehlerquelle bilden. Für einen Hängetheodolit ist der Vorsatz DN-6 m sehr wenig geeignet, da er viel zu globig, schlagempfindlich und 30% länger als der Dimeßkeil ist. Auch dürften zwei Lampen kaum ausreichen, die Distanzlatte für eine genaue Distanzmessung ausreichend zu beleuchten.

Die angeführten Beispiele zeigen, daß schon seit drei Jahrzehnten Versuche unternommen wurden, die Doppelbildtachymeter für die Längenmessung unter Tage einzusetzen. Die Genauigkeit der Doppelbilddistanzmesser reichte jedoch für Hauptzüge nicht aus, und die verwendeten Distanzmeßeinrichtungen (horizontale Distanzlatte mit aufwendiger Beleuchtungsausrüstung und in den meisten Fällen mit Reduktionsdoppelbildtachymeter) eigneten sich für Grubenpolygonzüge geringerer Genauigkeit nur wenig. Deshalb fand die Doppelbildentfernungsmessung unter Tage bisher keine Verbreitung.

3.2.3. Theodolit 030 mit Lotakeil

Der neue Vorsatzkeil „Lota“ des VEB Carl Zeiss [70] [72] nützt die logarithmisch geteilte Latte für die Doppelbildentfernungsmessung aus. Dieser Vorsatzdistanzmesser unterscheidet sich von den anderen Vorsatzkeilen durch die besondere Art seines Mikrometers. Der Lotakeilvorsatz weist im Gegensatz zu dem starren Keil mit schwenkbarer Planplatte des Dimeß ein System aus zwei kreisförmigen Keilen auf, von denen der eine sich um die optische Achse meßbar drehen läßt. Mit Hilfe der Mikrometerschraube kann der Keilwinkel um kleine Beträge verändert und die Indexmarke auf den nächsten Teilpunkt der Latte gestellt werden. Im Fernrohr Gesichtsfeld erscheint ein Mischbild wie beim Dimeßvorsatz. Zum Unterschied von diesem werden beim Lotakeil Indexmarke und Hauptteilung übereinander projiziert und die Koinzidenzstellung durch Symmetriestellung ersetzt. Infolge der logarithmischen Latten- teilung erscheint im Fernrohrsehfeld das Lattenbild für alle Entfernungen in gleicher Größe, so daß die Ablesegenauigkeit, in Logarithmendifferenzen ausgedrückt, unabhängig von der Entfernung ist. Durch den Wegfall des Nonius ist die Lattenablesung bedeutend übersichtlicher. Das Prinzip der logarithmischen Tachymetrie gestattet ohne spätere zusätzliche Rechnung die Anwendung der Distanzlatte sowohl in horizontaler als auch in vertikaler Lage. Durch die Verwendung der Multiplikationskonstante $K = 200$ können mit einer kleinen vertikalen Latte von 25 cm Länge Entfernungen bis 50 m gemessen werden. Auf Grund der aufgezählten Vorteile war anzunehmen, daß sich der Lotakeilvorsatz auf einem Hängetheodolit zur Streckenmessung von Nachtragungszügen gut eignen würde.

Zur Feststellung der Längenmeßgenauigkeit wurden die Messungen mit dem Lotakeil zunächst in Verbindung mit einem Theodolit 030 und einem von dem VEB Carl Zeiss freundlicherweise zur Verfügung gestellten Versuchsmuster der Lotagrubenlatte (Bild 2) durchgeführt.

Die Genauigkeitsuntersuchungen erfolgten auf der Prüfstrecke unter Tage und auf der Meßbahn im verdunkelten Flur des Instituts für Markscheidewesen. Auf 10 Standpunkten zwischen 4 und 35 m wurden je 4 Meßreihen zu 10 Koinzidenzen beobachtet. Die Lotagrubenlatte wurde mit 2 bis 4 hellbrennenden Grubenkopflampen (≈ 400 bis 600 lx) beleuchtet. Da ein Genauigkeitsunterschied zwischen den Messungen über und unter Tage nicht festzustellen war, wurden die Ergebnisse von beiden Prüfstrecken gemittelt (Anlage 3). Die innere Genauigkeit einer Koinzidenz beträgt ≈ 12 mm/25 m ($\approx 1:2100$), während für die äußere Genauigkeit 1:500 bei 10 m und 1:1300 bei 25 m erhalten wurden. Aus dem Diagramm (Anlage 3) ist zu ersehen, daß der absolute äußere Fehler bei Entfernungen zwischen 4 und 35 m unabhängig von der Meßdistanz ist, während der innere Fehler bei kurzen Sichten stark abnimmt.

Zu ähnlichen Ergebnissen kommt BRAUNE [18]. Die aus Messungen auf einer Prüfbahn unter Tage abgeleiteten Genauigkeiten für eine Koinzidenz betragen für den inneren Fehler 1:2500 und für den äußeren Fehler $m_a = \pm 18$ mm (1:600 bei 10 m und 1:1400 bei 25 m). Die höhere innere Genauigkeit gegenüber den Messungen des Verfassers ist wahrscheinlich auf die stärkere Beleuchtung der Lotagrubenlatte zurückzuführen. Die Latte wurde von zwei Azetylengrubenlampen (≈ 1000 lx) angestrahlt.

Außerdem wurde von BRAUNE auf der III. Gezeugstrecke der Lehrgrube ein Polygonzug von 500 m Länge mit dem Theo 030 und Lotakeil in Verbindung mit der Lotagrubenlatte gemessen. Die inneren Fehler dieser Messung stimmen völlig mit den auf der Prüfbahn erhaltenen Ergebnissen überein. Der mittlere äußere Fehler einer Koinzidenz ($m_e = \pm 28$ mm) überschreitet dagegen den entsprechenden Wert auf der Prüfbahn etwa um die Hälfte. Auch bei diesen Messungen mußte festgestellt werden, daß

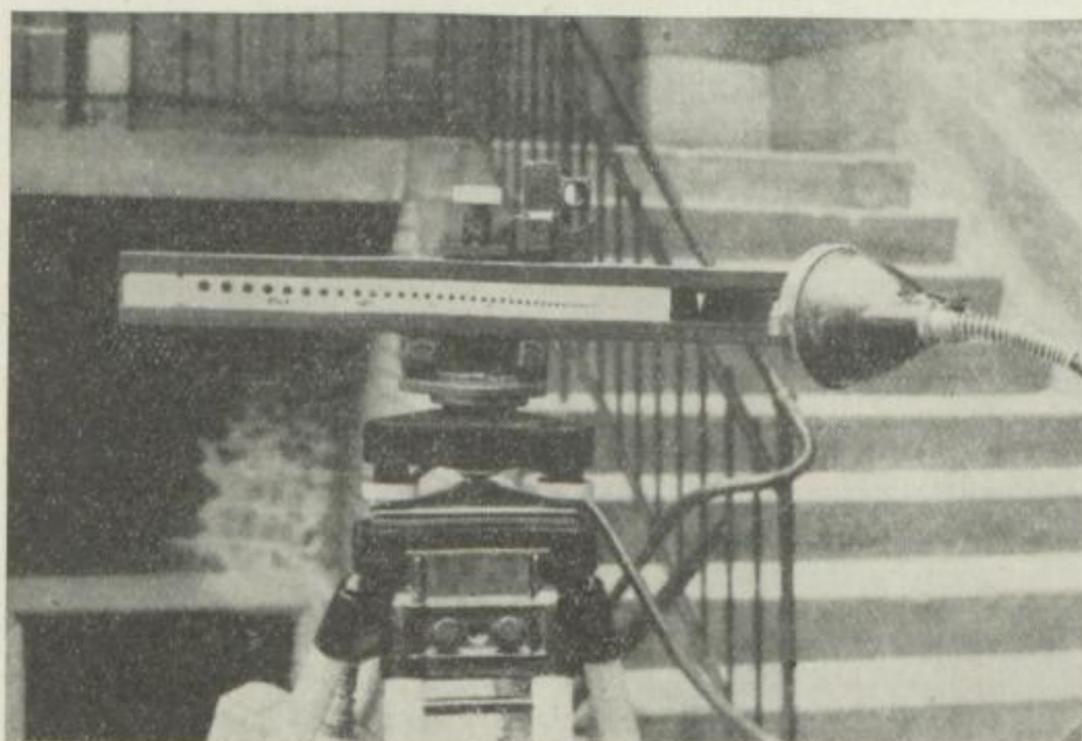


Bild 2. Versuchsmuster der Lotagrubenlatte

die wahren äußeren Fehler in keinerlei Beziehung zur Seitenlänge stehen. Die vom Verfasser sowie von BRAUNE durchgeführten Grubenmessungen mit dem Lotakeil zeigen, daß die äußere Genauigkeit bei kurzen Längen sehr gering ist. Der Vorsatzkeil genügt damit in seiner jetzigen Form nicht den Ansprüchen für Nachtragungszüge. Als Hauptursache für den geringen Genauigkeitsgrad ist die Multiplikationskonstante $K = 200$ anzusehen. Diese erhöht einerseits unmittelbar den inneren Fehler und bringt andererseits den Lattenteilungsfehler verdoppelt zur Wirkung. Die größere Konstante des Lotakeils ist für über Tage mit Rücksicht auf Längen über 300 m gewählt worden, für markscheiderische Zwecke unter Tage jedoch wirkt sie sich ungünstig aus. Als besonders nachteilig für die Grubenmessung erweist sich die geringe scheinbare Größe der Teilungspunkte der Lotagrubenlatte, die unter Tage eine sehr starke Lattenbeleuchtung erforderlich macht.

Diesem Übelstand zu begegnen, wurde ein zweites Lattenmuster auf Zeichenkarton gezeichnet und photographisch reproduziert, bei dem die Punkte gegenüber der Original-

latte im Verhältnis 1,3:1 vergrößert sind. Einem vom VEB Carl Zeiss, Jena, mitgeteilten Gedanken entsprechend, wurde außerdem eine Negativreproduktion des vergrößerten Musters, bei dem weiße Punkte auf schwarzem Felde und ein schwarzer Keil auf weißem Untergrund erscheinen, untersucht. Die Messungen wurden auf der Prüfbahn im Flur des Instituts für Markscheidewesen durchgeführt. Auf 9 Standpunkten zwischen 4 und 36 m wurden mit jedem Lattenmuster jeweils 4 Messungsreihen zu je 10 Koinzidenzen beobachtet. Durch eine Tischlampe mit einer Neonröhre (≈ 500 lx) wurden die Lattenmuster ausreichend beleuchtet. Die aus den 40 Messungen pro Standpunkt und Lattenmuster errechneten mittleren Koinzidenzfehler sind in Anlage 3 eingetragen und durch eine ausgleichende Gerade dargestellt worden. Vergleicht man die mit dem vergrößerten positiven Lattenmuster erreichten Koinzidenzfehler mit denen, die mit der normalen Lotagrubenlatte ermittelt wurden, so ist zu erkennen, daß die innere Genauigkeit durch die Punktvergrößerung von $m_i = \pm 12$ mm/25 m (1:2100) auf $m_i = \pm 10$ mm/25 m (1:2500) gestiegen ist. Dagegen wird durch das vergrößerte negative Lattenmuster keine Genauigkeitssteigerung erreicht ($m_i = \pm 13$ mm/25m).

Die mit dem Lotakeilvorsatz auf dem Theo 030 und den verschiedenen Lattenproben festgestellten Ergebnisse zeigen, daß ein Vorsatzkeil mit einer Multiplikationskonstante $K = 200$ und die hierfür vorgesehene Lotagrubenlatte mit den kleinen Distanzpunkten nicht ausreichen, um auch auf kurzen Entfernungen, unter 15 m, eine äußere relative Längenmeßgenauigkeit von 1:1000 einzuhalten. Eine Erhöhung des Durchmessers der Lattendistanzpunkte verringert zwar bei den ungünstigen Beleuchtungsverhältnissen unter Tage den Koinzidenzfehler; durch die gegebene Instrumentenkonstante jedoch sind der mit der Lattenpunktvergrößerung wachsenden inneren Genauigkeit der Distanzmessung Grenzen gesetzt. Für Nachtragungszüge ist die logarithmische Tachymetrie nur dann geeignet, wenn ein Lotakeil mit einer Konstante $K = 100$ und eine dafür geeignete Grubenlatte mit größerem Punktdurchmesser hergestellt werden. Sollen auch die Längen der Zugseiten von Polygonzügen höherer Genauigkeit (Verbindungszüge, Hauptzüge) mit einem Lotakeilvorsatz gemessen werden, so ist es angebracht, einen Keil mit einer Konstante $K = 50$ zu verwenden.

3.2.4. Theodolit 030 mit Dimeßkeil

Der Entfernungsmeßvorsatz „Dimeß 002“ von Zeiss besteht aus einem vor der Objektivmitte der Zeiss-Theodolite anzubringenden streifenförmigen, achromatischen Keil, der mit einem Planplattenmikrometer verbunden ist. Im Fernrohrsichtfeld erscheint ein Mischbild wie beim Lotakeil, jedoch wird hierbei durch eine entsprechende Lattenteilung der Nonius neben die Hauptteilung projiziert. Mit Hilfe des Planplattenmikrometers wird die Koinzidenz zwischen einem Strich der Noniusteilung und einem Strich der Hauptteilung herbeigeführt und die Feinablesung ermittelt. Da der Dimeßkeil um 90° um die optische Achse des Fernrohrs gedreht werden kann, ist er grundsätzlich für die Messung bei horizontaler und vertikaler Lattenlage geeignet. Bei lotrechter Lattenlage treten bei geneigten Sichten jedoch Schwierigkeiten auf, wenn zur Steigerung der Beobachtungsgenauigkeit am Lattennonius abgelesen werden soll. Durch die schiefe Lage der Latte zur Zielachse wird die Projektion des Nonius in die Hauptteilung

verzerrt. Dieser Fehler ruft bei einer Latte mit einem Teilungsintervall $a = 10$ mm und einem 20teiligen Nonius im ungünstigsten Fall (bei $\alpha = 50^\circ$) einen Längenfehler $\Delta s \approx 20$ cm auf 100 m Entfernung hervor [72]. Erst wenn gleichzeitig an einem nachtragenden und an einem vortragenden Nonius abgelesen und daraus das Mittel gebildet wird, ist nach BERCHTOLD [9] der Fehler infolge Maßstabsverzerrung bis auf eine kleine Restungenauigkeit beseitigt. Die Planparallelplatte kann nur für die waagrecht oder zur Zielachse senkrecht stehende Latte verwendet werden, da sich bei lotrechter Latte die scheinbare Größe des Teilungsintervalls proportional zum Kosinus des Höhenwinkels ändert.

Die Genauigkeitsangaben über den Dimeßkeilvorsatz sind sehr unterschiedlich. Für kurze Entfernungen liegen kaum Untersuchungen über die Größe des Längenfehlers vor. Es war deshalb zweckmäßig, den Dimeßkeilvorsatz zunächst in Verbindung mit einem Theodolit 030 und der Dimeßhandlatte zu untersuchen.

Die Dimeßhandlatte ist für die Stadtvermessung konstruiert worden und läßt sich nur auf einen Fluchtstab aufstecken. Um mit dieser Latte genaue Messungen auf den Prüfstrecken durchführen zu können, wurde in der Institutswerkstatt ein Zwischenstück angefertigt, das einerseits in den Haltering der Handlatte, andererseits in die Steckhülse des Zeiss-Untersatzes paßt. Da bei der Dimeßhandlatte keine Möglichkeit besteht, die Latte in der Halterung seitlich zu verschieben, ist stets (außer bei $s = 57$ m) ein mehr oder weniger großer Fehler infolge unsymmetrischer Lage des Lattenabschnittes zum Zielpunkt vorhanden. Dieser Einfluß wird jedoch, wie die Untersuchungen im Abschnitt 5.3.2. zeigen, fast völlig dadurch aufgehoben, daß das Richtdioptr und das Kollimatorauge ebenfalls exzentrisch ($e = 16$ cm) angebracht sind.

Zur Konstantenbestimmung wurde auf den Prüfstrecken über und unter Tage auf 11 Standpunkten zwischen 4 und 60 m je eine Meßreihe mit 10 Doppelkoinzidenzen beobachtet. Die Messungen wurden viermal an verschiedenen Tagen wiederholt. Die Konstantenbestimmungen wurden für zwei verschiedene Dimeßkeile ermittelt. Da trotz der verschiedenen Meßbedingungen kein Unterschied zwischen den Instrumentenkonstanten über und unter Tage festzustellen war, wurden die vier Meßwerte pro Standpunkt gemittelt und aus den 11 Mittelwerten durch graphische Ausgleichung eine mittlere Konstantenverbesserung für jeden Dimeßkeil bestimmt.

Zum Abschluß der Versuchsmessungen, nach ungefähr 15 Monaten, erfolgte eine Überprüfung der Instrumentenkonstanten. Eine eindeutige Abweichung der Konstanten konnte nicht festgestellt werden. Die Abweichungen lagen innerhalb des bei den Messungen zur ersten Konstantenbestimmung ermittelten Streubereiches. Die mehrmalige Konstantenbestimmung zeigte jedoch, daß einwandfreie Konstantenverbesserungen nicht aus einer Reihenmessung abgeleitet werden können, sondern die Messungen zwei- bis dreimal an verschiedenen Tagen zu wiederholen sind und daraus der Mittelwert zu bilden ist.

Für die Genauigkeitsuntersuchungen des Dimeßkeiles in Verbindung mit dem Theo 030 und der Dimeßhandlatte wurden über Tage auf 15 Standpunkten zwischen 4 und 60 m durchschnittlich je 12 Reihen mit jeweils 10 Doppelkoinzidenzen beobachtet. Die Messungen erstreckten sich über einen längeren Zeitraum, so daß die Ergebnisse der einzelnen Reihen voneinander unabhängig sind. Aus den 10 Doppelkoinzidenzen einer Meßreihe wurde der mittlere innere Fehler einer Koinzidenz berechnet und in Anlage 4

eingetragen. Die lineare Funktion für die 3600 Beobachtungen der Messungen über Tage wurde durch näherungsweise Ausgleichung nach GROSSMANN [48] bestimmt. Die mittlere Abweichung der Meßpunkte von dieser Geraden beträgt $m = \pm 0,3$ mm. Zur Bestimmung der äußeren Fehler wurden die Meßwerte durch die Konstantenverbesserungen korrigiert.

Die Meßwerte und ihre ausgleichende Gerade (mittlere Abweichung der gemittelten Meßwerte von der Geraden $m = \pm 0,7$ mm) zeigt Anlage 5. Der innere Fehler einer Koinzidenz beträgt $m_i = \pm 3,6$ mm bei 25 m (1:6800) und $m_i = \pm 1,7$ mm bei 10 m (1:5900), während der äußere Fehler mit $m_e = \pm 5,1$ mm bei 25 m (1:4900) und $m_e = \pm 3,8$ mm (1:2100) bei 10 m ermittelt wurde.

Für die Genauigkeitsuntersuchungen in der Grube wurden auf 15 Standpunkten zwischen 4 und 65 m im Durchschnitt 5 Reihen mit jeweils 10 Doppelkoinzidenzen gemessen. Die Beleuchtung der Dimeßhandlatte erfolgte mit zwei hellbrennenden Azetylengrubenlampen (≈ 1000 lx).

Die Ergebnisse der Genauigkeitsuntersuchungen zeigen Anlage 4 (innere Genauigkeit) und Anlage 5 (äußere Genauigkeit). Für die Grubenmessungen wurden folgende Koinzidenzgenauigkeiten erhalten: bei 25 m $m_i = \pm 6,5$ mm (1:3900) und bei 10 m $m_i = \pm 3,7$ mm (1:2700). Die mittlere Streuung der gemittelten Meßwerte liegt bei $m = \pm 1,2$ mm. Der äußere Fehler wurde mit $m_e = \pm 10,3$ mm bei 25 m (1:2400) und $m_e = \pm 7,5$ mm bei 10 m (1:1400) festgestellt, wobei die mittlere Abweichung der gemittelten Meßwerte von der ausgleichenden Geraden $m = \pm 3,4$ mm beträgt. Vergleicht man in den beiden Diagrammen (Anlagen 4 und 5) die inneren und äußeren Fehler der Messungen über Tage mit den Ergebnissen unter Tage, so ist ersichtlich, daß bei den Grubenmessungen ungefähr nur halb so große Genauigkeiten ermittelt wurden. Der Genauigkeitsunterschied ist zum größten Teil auf die verschiedenen Helligkeiten an der Latte zurückzuführen. Die im Abschnitt 4.1.2. angeführten Untersuchungen beweisen die starke Abhängigkeit der Koinzidenzgenauigkeit von der Beleuchtungsstärke der Dimeßlatte.

Die unter Tage ermittelten Längenmeßgenauigkeiten stimmen gut mit den Ergebnissen von LÜDEMANN [114] überein (1:2700 bei 25 m und 1:1700 bei 10 m). Er führte seine Messungen über Tage in einem verdunkelten Gang mit einer gut beleuchteten Dimeßglaslatte (Beleuchtung von hinten durch mehrere elektrische Lampen) durch. Die bei den eigenen Messungen mit den beiden Azetylengrubenlampen an der Dimeßhandlatte erzeugte Beleuchtungsstärke von ≈ 1000 lx ist mit den zur Zeit bekannten anderen Grubenlampen kaum zu übertreffen, so daß die festgestellten Distanzfehler als optimale Werte für Grubenverhältnisse anzusehen sind.

Bei den Grubenmessungen mit dem Theo 030 mit Dimeßkeilvorsatz wurde die für die Streckenmessung von Nachtragungszügen geforderte Genauigkeit bei allen Längen gut eingehalten, so daß Untersuchungen über die Anwendungsmöglichkeit des Dimeßkeiles für den Hängetheodolit Theo 6.1 begonnen werden konnten.

Abschließend einige Bemerkungen zum Fehlergesetz der Doppelbilddistanzmessung mit dem Theo 030 und dem Dimeßkeil. Aus dem Diagramm der Anlage 4 ist zu entnehmen, daß der Koinzidenzfehler am besten durch eine Gerade mit der allgemeinen Gleichung $m_i = a + b s$ wiedergegeben wird. Die Ausgleichung nach diesem Ansatz

ergab für die Messung über Tage

$$m_i = 0,4 + 13,2 s \quad (1)$$

und für die Grubenmessung bei einer Lattenbeleuchtung von 1000 lx

$$m_i = 1,9 + 18,3 s. \quad (2)$$

Hierbei ergibt sich der Koinzidenzfehler in mm, wenn die Entfernung s in hm eingesetzt wird.

Im Gegensatz zu der Feststellung von TYSOWSKYJ [169] tritt also auch ein konstanter Anteil bei der Funktion für den inneren Distanzfehler auf. Zu einem ähnlichen Ergebnis kommt BAHNERT [6] für die Redtamessungen. Da die Differenz zu der Geradengleichung $m_d = 1,3 d$ (für m_d in cm und d in hm) maximal nur 0,17 cm beträgt, ist er überzeugt, daß eine lineare Funktion ohne konstantes Glied den inneren Distanzfehler am besten wiedergibt. Die vom Verfasser bei der Distanzmessung über Tage erzielten Ergebnisse stimmen sehr gut mit der Fehlerfunktion von BAHNERT überein. Auch bei der Gleichung (1) kann der konstante Fehler von 0,4 mm vernachlässigt werden. Die Schlußfolgerungen von BAHNERT treffen jedoch nur für die Messungen über Tage zu. Bei den Grubenmessungen ist infolge der schlechten Lattenbeleuchtung der konstante Fehler fast 5fach größer und muß bei der Genauigkeitsbetrachtung berücksichtigt werden. Aus den Untersuchungen über den Einfluß der Beleuchtungsstärke auf den Koinzidenzfehler (Abschnitt 4.1.2.2.) ist zu entnehmen, daß das Absolutglied der Fehlergleichung (2) mit abnehmender Lattenbeleuchtung gesetzmäßig ansteigt. Der konstante Ablesefehler entsteht wahrscheinlich dadurch, daß das Auge die Koinzidenzstellung von zwei Teilstrichen bei kurzen Entfernungen nur bis zu einer bestimmten unteren Grenze richtig beurteilen kann. Da man infolge des konstanten Anteils des Koinzidenzfehlers bei kurzen Entfernungen größere Werte erhält, als nach dem allgemeinen Fehlergesetz der Doppelbilddistanzmessung zu erwarten ist, ergibt die Ausgleichung nach dem Wurzelgesetz $m_i = b \sqrt{s}$ teilweise kleinere [vv]. Deshalb glaubten verschiedene Autoren (u. a. EVERSMAAN [34], LÜDEMANN [114], ACKERL [1] und ROMPF [141]), daß die Genauigkeit der Doppelbilddistanzmessung ebenso wie die mechanische Streckenmessung einem Wurzelgesetz folgt.

Bei der Fehlergleichung für den äußeren Fehler der Doppelbilddistanzmessung wurde in neuerer Zeit meistens der konstante Anteil berücksichtigt. Da sich bei diesem Absolutglied auch die Aufstellungsfehler von Instrument und Latte auswirken, ist sein Betrag größer als beim Koinzidenzfehler. Aus den Versuchsmessungen mit dem Theo 030 und Dimeßkeil wurden für den äußeren Fehler als Absolutglied + 2,9 mm für über Tage und + 5,8 mm für unter Tage erhalten. Das Steigungsmaß der Fehlergeraden unterscheidet sich kaum von dem des inneren Fehlers.

3.2.5. Verwendungsmöglichkeiten des Dimeßkeiles für Hängetheodolite

Der Distanzmeßkeil „Dimeß 002“ wird zur Zeit nur als Vorsatz für die Zeiss-Tachymetertheodolite hergestellt. Er mußte deshalb zunächst so umgebaut werden, daß er auch für den Nachtragehängetheodolit „Theo 6.1“ der Freiburger Präzisionsmechanik

zu verwenden ist. Diese Aufgabe wurde in der Werkstatt des Instituts für Markscheidewesen so gelöst, daß ein Zwischenring in der Fassung des Vorsatzkeiles angebracht wurde (Bild 3).

In der Literatur findet man kaum Hinweise über die Verwendungsmöglichkeit eines Hängetheodolits zur Doppelbilddistanzmessung. Als erster regte NEUBERT 1951 [124] an, durch Vorsetzen eines Dimeßkeiles vor einen Hängetheodolit in Verbindung mit einer besonders ausgebildeten Latte die Genauigkeit der optischen Längenmessung von Nachtragungszügen zu steigern. SCHMIDT [145] schlägt 1957 auf Grund seiner Meßergebnisse mit einem Doppelbildreduktionstachymeter bei monochromatischem Licht vor, einen Hängetheodolit mit einer Doppelbildentfernungsmeßeinrichtung für Nachtragungsmessungen zu konstruieren. Das Fernrohr dieses Hängetheodolits wäre nur in einem kleinen Wellenbereich von 600 bis 700 μm (rot) besonders gut zu korrigieren. Dafür müßte die Distanzlatte von einem Grubenscheinwerfer mit geeignetem Filter beleuchtet werden. Für ein Nachtragungsinstrument ist dieser Aufwand unzumutbar; denn die bei weißem Licht erreichbare Längenmeßgenauigkeit genügt den Anforderungen für Nachtragungszüge.

Die Versuchsmessungen mit dem Hängetheodolit und dem Dimeßkeil wurden auf den Prüf Strecken über und unter Tage durchgeführt. Es war zu untersuchen, ob durch die geringere Vergrößerung des Theo 6.1 (20fach gegenüber 25fach beim Theo 030) und durch den kleineren Objektivdurchmesser (30 mm gegenüber 35 mm beim Theo 030) die Distanzmessung an Genauigkeit verliert.

Zunächst wurden auf der Prüf Strecke über Tage auf 10 Standpunkten zwischen 5 und 50 m je 3 Meßreihen mit jeweils 10 Koinzidenzen beobachtet und die Ergebnisse in Anlage 4 eingetragen. Die mit dem Theo 6.1 und dem Dimeßkeilvorsatz über Tage erhaltenen Genauigkeiten betragen bei 25 m $m_i = \pm 4,5 \text{ mm}$ (1:5600) und bei 10 m $m_i = \pm 1,95 \text{ mm}$ (1:5100) gegenüber 1:6800 bei 25 m und 1:5900 bei 10 m bei den Messungen mit dem Theo 030.

Zusammen mit den Versuchsmessungen unter Tage wurde gleichzeitig das Dimeßreflexlattenmuster 2 untersucht. Die Beleuchtung der Reflexlatte (Abschnitt 4.2.4.) erfolgte vom Instrumentenstandpunkt aus mit einer Stableuchte. Auf der Prüf Strecke in der Lehrgrube wurden auf 12 Standpunkten zwischen 5 und 50 m je 2 bis 4 Reihen mit jeweils 10 Doppelkoinzidenzen beobachtet. Gemessen wurde mit dem Theo 6.1 und dem Theo 030. Die aus jeder Messungsreihe berechneten mittleren Fehler einer Doppelkoinzidenz sind mit den ausgleichenden Geraden in Anlage 17 aufgetragen. Die erreichten inneren Genauigkeiten betragen bei den Messungen mit dem Theo 6.1 bei 25 m $m_i = \pm 4,8 \text{ mm}$ (1:5200) und bei 10 m $m_i = \pm 2,8 \text{ mm}$ (1:3600), während mit dem Theo 030 ein relativer Koinzidenzfehler von 1:5600 bei 25 m und 1:3500 bei 10 m erhalten wurde.

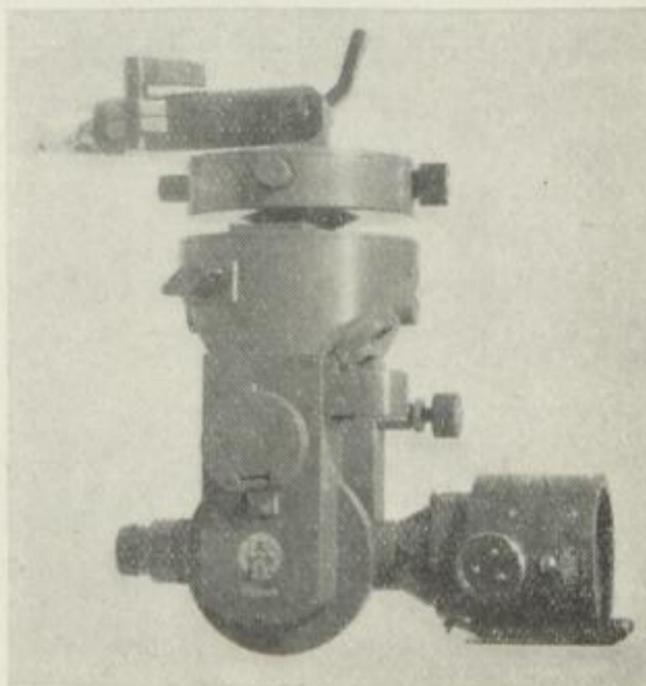


Bild 3. Hängetheodolit mit Dimeßkeil

Vergleicht man die mit den beiden Instrumententypen unter Tage erreichten Koinzidenzfehler miteinander, so ist bei den Längen bis zu 30 m kein Genauigkeitsunterschied festzustellen. Als Grund hierfür ist neben der größeren Austrittspupille des Theo 6.1 (1,5 mm gegenüber 1,4 mm beim Theo 030) noch anzunehmen, daß die höhere Fernrohrvergrößerung des Theo 030 unter Grubenverhältnissen auf kürzeren Entfernungen keine merkbaren Vorteile bringt. Bei Distanzen über 30 m wirkt sich die geringere Fernrohrvergrößerung des Theo 6.1 etwas stärker aus. Da jedoch der Genauigkeitsunterschied auch bei einer Länge von 45 m noch nicht groß ist (Theo 6.1 1:6100 gegenüber Theo 030 1:6800), kann man beide Instrumente in der Genauigkeit für die Streckenmessung von Nachtragungszügen unter Tage mit dem Dimeßvorsatz als praktisch gleichwertig ansehen. Damit war ein Instrument gefunden, das die im 1. Abschnitt an einen Distanzmesser für Nachtragungszüge gestellten Bedingungen erfüllt.

4. Wahl einer Distanzlatte für Nachtragungszüge

Die optische Streckenmessung mit Doppelbildtachymetern wird sich unter Tage nur dann durchsetzen, wenn es gelingt, neben dem geeigneten Instrument eine den Grubenverhältnissen angepaßte Distanzlatte zu entwickeln. Für Nachtragungszüge benötigt man eine handliche, leichte und höchstens 50 bis 60 cm lange Distanzlatte, die auch unter schwierigen Meßverhältnissen störunanfällig ist. Von größter Wichtigkeit für eine Grubendistanzlatte ist ihre Beleuchtung. Nur sehr gute Beleuchtungsverhältnisse an der Latte und eine möglichst einfache Handhabung der Beleuchtungseinrichtung ermöglichen einwandfreie Distanzmessungen und einen reibungslosen Arbeitsablauf.

4.1. Die vorhandenen Distanzlatten für Grubenmessungen mit Doppelbildtachymeter

4.1.1. Betrachtungen zu den bisherigen Ausführungsformen der Grubendistanzlatten

Bei den bisherigen Versuchsmessungen mit Doppelbildtachymetern in der Grube wurde die Beleuchtungsfrage der Distanzlatte auf verschiedene Weise gelöst. EVERSMANN [34] verwendete bei seinen ersten Längenmessungen mit Doppelbildtachymetern in der Grube eine normale Meßlatte, wie sie über Tage gebraucht wird, und beleuchtete sie je nach der zu messenden Länge mit 1 bis 3 Azetylengrubenlampen. Obwohl durch Azetylengrubenlampen eine sehr helle Beleuchtung der Latte möglich ist, kann diese Anordnung nur als Notlösung angesehen werden, da man zur Beleuchtung für jede Latte zwei Meßgehilfen benötigt. Außerdem kann das offene Geleucht nur in schlagwetterfreien Gruben eingesetzt werden.

Bei darauffolgenden Messungen mit Doppelbildtachymetern [36] standen EVERSMANN zwei Ausrüstungen für Grubenmessungen zur Verfügung. Hierbei erfolgte die Beleuchtung der Distanzlatten mit zwei elektrischen Lampen. Während die Lichtquelle für den Nonius nicht verändert werden konnte, ließ sich die andere Lampe an einer Führungsschiene längs der Lattenteilung verschieben. Als Stromquelle der Lattenbeleuchtung diente ein Akkumulator für Grubenlampen. Ob diese Grubenausrüstung den erwarteten Ansprüchen für Distanzmessungen in der Grube genügte, teilte EVERSMANN nicht mit.

LÜDEMANN [111] und TYSOWSKYJ [169] verwendeten bei ihren Doppelbilddistanzmessungen unter Tage ähnliche elektrische Lattenbeleuchtungseinrichtungen wie EVERSMANN. Während an der von TYSOWSKYJ verwendeten Grubenlatte eine feste und eine bewegliche Lichtquelle angebracht waren, benutzte LÜDEMANN zwei feste Lampen

am Nonius, um ein möglichst gleichmäßiges Licht zu erhalten. TYSOWSKYJ stellte bei den Redtamessungen unter Tage verschiedene Mängel an der Lattenbeleuchtungseinrichtung fest. Die Beleuchtungsstärke der beiden fest an der 80 cm langen Latte angebrachten Lampen reichte für eine einwandfreie Messung meist nicht aus, so daß er „bei allen Längenmessungen so lange mit Zusatz- oder Ersatzlicht arbeitete, bis die günstigsten Ablesebedingungen erfüllt waren, was sich selbstverständlich für den Beobachter wie auch für den Meßgehilfen als sehr anstrengend und auf die Dauer zeitraubend erwies“ [169, S. 56]. Als Zusatz- bzw. Ersatzlicht wurden zwei starke elektrische Kofferlampen (2,6 V, 5 A) sowie Azetylengrubenlampen verwendet. Die am Nonius fest angebrachte Lampe beleuchtete nur dessen Mitte genügend stark. Dadurch wurden nur bei einigen Koinzidenzstellungen der Nonius und die Lattenteilung gleichmäßig beleuchtet. Außerdem verdeckten bei steilen Visuren die Lampen der Beleuchtungseinrichtung die Lattenteilung.

TYSOWSKYJ gibt einige Hinweise, die Nachteile der elektrischen Lattenbeleuchtung zu verringern. Die fest angebrachte Lampe sollte verschiebbar eingerichtet oder durch zwei am Nonius befestigte Lichtquellen ersetzt werden. Umlegbare Lampen sollen das Verdecken der Lattenteilung bei steilen Sichten vermeiden. Die Beleuchtungsstärke der Lampen ist zu erhöhen.

Diese Forderungen lassen sich nur dann erfüllen, wenn jede Latte mit einer aufwendigen, komplizierten Beleuchtungseinrichtung versehen wird. Soll am Nonius noch zusätzlich eine zweite Lampe angebracht werden und gleichzeitig die Beleuchtungsstärke der Latte durch Verwendung stärkerer Birnen erhöht werden, reichen als Stromquellen die zur Zeit im Bergbau üblichen Akkumulatoren (2,4 V, 12 Ah) nicht aus. Man würde innerhalb einer Schicht für jede Latte einen Akkumulator von mindestens 6 Volt mit 16 bis 24 Amperestunden benötigen. Diese Stromquellen sind jedoch sehr schwer und unhandlich. Sie erfordern für den Transport zusätzliche Hilfskräfte oder einen größeren Zeitaufwand. Durch eine verschiebbare Lampe am Nonius kann eine Lichtquelle eingespart und damit der Stromverbrauch verringert werden. Dann muß jedoch der Beobachter dem Meßgehilfen an der Latte nicht nur die ungefähre Meterzahl der Lattenteilung, sondern auch noch den jeweiligen für die Koinzidenz benötigten Noniusstrich zurufen.

Die bisherigen Ausführungen zeigen, daß die elektrischen Lattenbeleuchtungseinrichtungen für Bergbauverhältnisse sehr kompliziert und störanfällig sind. Für die Streckenmessung bei Nachtragungszügen durch enge Grubenräume würde sich eine elektrische Beleuchtungseinrichtung noch weniger eignen. Außerdem ist es sehr schwierig, die elektrische Einrichtung zur Beleuchtung der Vorderseite der Distanzlatte schlagwettersicher zu gestalten.

Um die störanfällige elektrische Beleuchtungseinrichtung vor Staub und Feuchtigkeit zu schützen und eine schlagwettersichere Lampenanlage zu erhalten, entwickelten die Hildebrand-Werke eine Grubendistanzlatte (60 cm Länge) mit einem Teilungsträger aus Sicherheitsglas. Die elektrische Beleuchtungseinrichtung befindet sich hinter der Latte in einem luftdicht abgeschlossenen Gehäuse. Die Glasdistanzlatte wurde von LÜDEMANN bei Genauigkeitsuntersuchungen von drei Doppelbildtachymetern in einem verdunkelten Raum oder nachts erprobt [114]. Leider wird in der Veröffentlichung nichts über Anzahl und Stärke der hinter der Latte angebrachten Lampen sowie über Art und

Größe der Stromquelle berichtet. Da man in einem luftdicht abgekapselten Gehäuse kaum eine von außen verschiebbare Lampe einrichten kann, wurde wahrscheinlich die Lattenfläche durch eine größere Anzahl von Lampen beleuchtet. Für diese Lattenbeleuchtung wird als Stromquelle ein starker und schwerer Akkumulator benötigt. Außerdem erfordert die Beleuchtung durch mehrschichtiges Sicherheitsglas stärkere Lichtquellen als bei auffallender Beleuchtung, denn der Helligkeitsverlust durch Milchglas kann recht beträchtlich sein. Andererseits darf helles, durchsichtiges Glas nicht verwendet werden, da sonst der Beobachter geblendet wird. Um eine Blendung zu vermeiden, schlägt LÜDEMANN vor, eine geeignete Irisblende anzubringen oder eine entsprechend gefärbte Latte bzw. vor dem Fernrohrkular angeordnete Farbfilter zu benutzen.

Für Messungen in engen und unübersichtlichen Grubenräumen ist eine Distanzlatte aus Sicherheitsglas ihrer hohen Zerbrechlichkeit wegen, wie bereits bei der SCHMIDT'schen Glaslatte bemängelt, kaum brauchbar. Eine Glasdistanzlatte ist für die Doppelbildtachymetrie in der Grube kaum besser geeignet als die bereits erwähnte normale Distanzlatte mit elektrischer Auflichtbeleuchtung.

4.1.2. Untersuchungen über die Abhängigkeit des Distanzfehlers von der Beleuchtungsstärke der Dimeßlatten

Die Koinzidenzgenauigkeit bei Doppelbilddistanzmessern hängt von der Bauart des Instrumentes und der Latte, von dem Grad der Übung des Beobachters und von den Sichtverhältnissen ab. Für die Fernrohrleistung eines Instrumentes sind Schärfe, Vergrößerung und Helligkeit der Fernrohrbilder ausschlaggebend. Die Doppelbilddistanzmesser lassen sich entsprechend ihrer Bildtrennung in zwei Arten einteilen. Während die Instrumente mit Trennbildern (Redta) ein scharfes Fernrohrbild ergeben, tritt bei den durch Vorsatzkeile erzeugten Mischbildern eine Kontrastverminderung infolge Bildüberlagerung ein. Durch die Verwendung von schwarzen Gegenfeldern an der Latte bleiben die Kontraste größtenteils erhalten, und es kommt nur zu einer Helligkeitsverringerung. Dieser Mangel wirkt sich bei der großen Helligkeit über Tage (Beleuchtungsstärke an der Distanzlatte mittags in der Sommersonne $\approx 100\,000$ lx) kaum als Beeinträchtigung der Beobachtungsschärfe aus. Bei den Messungen unter Tage kann die geringere Lattenhelligkeit zu einer Erhöhung des Distanzfehlers führen, da die Lichtstärke der Grubenlampen auf Grund der geforderten Schlagwettersicherheit begrenzt ist.

Aus den Ausführungen über die Doppelbilddistanzmesser ist zu erkennen, daß auf die Größe des Koinzidenzfehlers neben dem Kontrast der Teilstriche gegenüber der Lattenfläche die Beleuchtungsstärke des Lattenteilungsbildes den Haupteinfluß ausübt. Eine starke Kontrastminderung des im Fernrohr gesehenen Lattenbildes tritt bei den Messungen unter Tage durch staubhaltige Wetter und Schießschwaden auf. Da man bei der optischen Streckenmessung von Nachtragungs- und Verbindungszügen diesen Fehlereinfluß nur teilweise vermeiden bzw. beseitigen kann, ist es nur möglich, durch eine gute Beleuchtung der Distanzlatte einen geringen Koinzidenzfehler zu erreichen. Bei den wenigen bisher ausgeführten Grubenmessungen mit Doppelbildtachymetern beschränkten sich die meisten Beobachter auf die Feststellung, daß die besten Messungsergebnisse nur bei Verwendung einer genügend hellen und gleichmäßig beleuchteten Distanzlatte zu erreichen sind.

LÜDEMANN, EVERSMANN und TYSOWSKYJ versuchten, den Einfluß der Beleuchtungsstärke auf den Distanzfehler etwas näher zu erfassen. TYSOWSKYJ [169] beobachtete mehrere Meßreihen unter folgenden Beleuchtungsverhältnissen an der Latte:

- a) bei normaler elektrischer Lattenbeleuchtung,
- b) mit verstärkter Beleuchtung durch Kofferlampen,
- c) nur mit Kofferlampen,
- d) unter Verstärkung der normalen Beleuchtung mit Azetylenlampen und
- e) nur mit Azetylenlampen.

Da die verschiedene Lattenbeleuchtung nicht mit einwandfreien Lichtquellen erzeugt wurde, erhielt er keine brauchbaren Ergebnisse. Er bemängelte, daß bei der normalen Beleuchtung die Glühlampen verschieden hell brannten und die von den Meßgehilfen gehaltenen Zusatzlampen keine feste Lage gegenüber der Latte einnahmen. Abschließend betont TYSOWSKYJ, daß die Koinzidenzstellung möglichst gleich hell zu beleuchten sei.

Auch EVERSMANN [34] weist auf die Bedeutung einer gleich starken Beleuchtung von Nonius und Lattenteilung hin. Obwohl bei den Messungen unter Tage mit den Doppelbildtachymetern von Boßhardt-Zeiss und Aregger-Hildebrand die Distanzlatte gleichmäßig beleuchtet wurde, stellte er infolge der durch die Konstruktion des Fernrohrs (unterschiedliche Anzahl von optischen Systemen in den beiden Strahlengängen) bedingten verschieden hellen Lattenbilder eine Erhöhung des Koinzidenzfehlers um ≈ 10 bis 20% fest. Durch entsprechende Anordnung der Beleuchtung erzeugte er bei den Untersuchungen gleich helle Bilder, so daß dieser Fehlereinfluß vermieden wurde. Zur Verringerung des Koinzidenzfehlers bei Grubenmessungen fordert EVERSMANN neben einer gleichmäßigen Beleuchtung auch eine verstärkte Beleuchtung der Distanzlatte.

LÜDEMANN [111] führte seine ersten Untersuchungen über den Einfluß der Lattenbeleuchtung auf den Koinzidenzfehler in einem verdunkelten Raum durch. Er unterscheidet jedoch nur gute, mittlere und schlechte Beobachtungsverhältnisse, wobei außer der Beleuchtung auch alle anderen auf die Distanzmessung einwirkenden Einflüsse erfaßt werden. Außerdem beobachtete er einige Messungsreihen bei „sehr großer Helligkeit und größter Sorgfalt“. Aus diesen Messungsergebnissen lassen sich die Einflüsse der Lattenbeleuchtung nicht isolieren.

Bei späteren Messungen untersuchte LÜDEMANN [114] mit einer Latte aus Sicherheitsglas gesondert den Einfluß der Beleuchtung auf den Distanzfehler. Er beobachtete nachts mehrere Messungsreihen bei drei verschiedenen Helligkeiten und Entfernungen zwischen 10 und 60 m. Nimmt man für den mittleren äußeren Fehler einer Doppelkoinzidenz den Ausdruck $m_s = c \cdot \sqrt{s}$ an, wobei c eine Konstante und s die Meßdistanz bedeutet, so ergeben sich als Resultat dieser Messungen folgende Werte:

Beleuchtung	Konstante c	Relativer Distanzfehler bei 25 m	Zeitaufwand
sehr gut	$1,26 \pm 0,04$	1:4000	0,8
mittel	$1,35 \pm 0,02$	1:3700	1,0
schlecht	$1,73 \pm 0,06$	1:2900	1,6

Diese Messungsergebnisse lassen deutlich einen Einfluß der Beleuchtungsstärke der Latte auf den Distanzfehler erkennen. Jedoch sind für die Größe der Beleuchtungsstärke die Begriffe gut, mittel und schlecht unklar und hängen stark von der Anschauung des Messenden ab. Aus diesen Angaben von LÜDEMANN kann man nur entnehmen, daß eine sehr gute Lattenbeleuchtung die Genauigkeit und die Meßgeschwindigkeit der Doppelbilddistanzmessung erhöht.

SMIRNOFF [159] führte mit einem Doppelbildtachymeter von Kern Laborversuche in einem 12 m langen Raum durch, um das Instrument auf seine Eignung für die Stadtvermessung zu erproben. Dabei ermittelte er auch den Einfluß der Beleuchtungsstärke auf den Distanzfehler. Bei diesen Untersuchungen wurde die Latte durch elektrische Lampen (Abstand zur Latte ≈ 25 cm) mit Lichtstärken zwischen 10 bis 250 Kerzen beleuchtet. Hierbei stellte er fest, daß der bei 10 Kerzen erhaltene Distanzfehler von $\pm 3,5$ cm mit zunehmender Beleuchtungsstärke bis 50 Kerzen abnahm und bei weiterer Erhöhung der Helligkeit konstant blieb. Da für eine Lichtmessung die Angaben von SMIRNOFF unvollständig sind, ist ein Vergleich mit anderen Ergebnissen kaum möglich. Es fehlt auch die Angabe, um welche Beträge sich der Distanzfehler mit zunehmender Beleuchtungsstärke verringert.

Bei den Prüfungsmessungen mit dem Redta von Boßhardt-Zeiss untersuchte WALTER auch den Einfluß der Helligkeit [176]. Die Distanzlatte wurde mit elektrischem Licht von 1 bis 400 Kerzen aus 30 cm Entfernung angestrahlt. Die relative Helligkeit ermittelte er vom Instrumentenstandpunkt (Meßentfernung $\approx 8,6$ m) aus mit einem Photometer und stellte fest, daß sich der mittlere Ablesefehler von $\pm 5,5$ mm bei 1 Kerze mit zunehmender Beleuchtungsstärke auf $\pm 3,5$ mm bei 15 Kerzen verringerte und bei weiterer Erhöhung der Lattenhelligkeit konstant blieb. Jedoch auch diese Angaben sind für lichttechnische Messungen unvollständig und lassen sich mit anderen Untersuchungen kaum vergleichen.

Die oben angeführten Lichtmessungen zeigen einen deutlichen Einfluß der Stärke der Lattenbeleuchtung auf die Größe des Distanzfehlers von Doppelbildtachymetern. Jedoch wurden bisher noch keine systematischen Untersuchungen durchgeführt, die eine direkte Abhängigkeit der Meßgenauigkeit von der Stärke der Lattenbeleuchtung aufzeigen und aus denen man Rückschlüsse auf die günstigste Beleuchtungsstärke für Grubendistanzlatten ziehen kann. Durch zahlreiche eigene lichttechnische Messungen wurde versucht, diesen funktionellen Zusammenhang zu finden.

4.1.2.1. Allgemeine Ausführungen zu den lichttechnischen Messungen

Die systematischen Untersuchungen über den Einfluß der Beleuchtungsstärke auf den Koinzidenzfehler wurden auf der Prüfstrecke im Flur des Instituts für Markscheidewesen durchgeführt. Die Versuchsanordnung für die Messungen wurde so aufgebaut, daß die Meßbedingungen den unter Tage vorhandenen Verhältnissen (Verdunkelung der Fenster) weitgehend entsprachen. Zur Messung wurden ein Theodolit 030 mit drei Dimeßkeilen und die Dimeßhandlatte (auf Stativ) benutzt. Die Beleuchtung der Distanzlatte erfolgte durch zwei an der Latte befestigte Arbeitslampen. Während die eine Lampe den Nonius gleichmäßig beleuchtete, konnte die andere entsprechend der Koinzidenzstellung an der Lattenteilung verschoben werden. Die gewünschten unter-

schiedlichen Beleuchtungsstärken wurden teils durch Verwendung verschiedener Glühlampen (15 bis 200 W) und teils durch Veränderung der Spannung mit einem Regeltransformator erzeugt. Die mit dem Variieren der Spannung verbundene Veränderung der Farbtemperatur der Glühlampen beeinflußt die Sehschärfe nach Untersuchungen von SCHOBER [151] nur geringfügig. Diese Beeinträchtigung kann für die Untersuchungen unberücksichtigt bleiben, da auch bei den Doppelbilddistanzmessungen in der Grube die Spannung der elektrischen Lattenbeleuchtung sich im Laufe einer Schicht stark ändert (Anlage 10). Die Messung der Beleuchtungsstärke erfolgte mit dem Luxmeter LMI des VEB Carl Zeiss, Jena. Dieses Instrument arbeitet lichtelektrisch, wobei als Empfänger ein kleines, durch ein Kabel mit einem Mikro-Amperemeter verbundenes Selenphotoelement dient. Für die Helligkeitsmessung wurde das Photoelement entsprechend der jeweiligen Koinzidenzstelle an die Distanzlatte gehalten und die Beleuchtungsstärke in der Beobachtungsrichtung bestimmt. Da bei der Messung von Beleuchtungsstärken über 1000 lx ein Schwächungsfilter auf das Photoelement gesteckt werden mußte, wurde zur Vermeidung von Fehlern infolge Abschattung durch den Fassungsrand das Photoelement senkrecht zur einfallenden Strahlung gehalten. Die gemessenen Beleuchtungsstärken wurden entsprechend dem Lambertschen Gesetz

$$E = E \cdot \cos \varepsilon,$$

wobei E die Beleuchtungsstärke und ε der Winkel zwischen Strahlrichtung und Flächenlot ist, mit dem Kosinus des Lichteinfallwinkels multipliziert.

Für den Helligkeitseindruck, den eine Fläche im Auge erzeugt, ist nicht die Beleuchtungsstärke E , sondern die Leuchtdichte B maßgebend. Man erhält die Leuchtdichte einer nicht selbst leuchtenden Fläche in asb (s. DIN 5031), wenn der Zahlenwert der Beleuchtungsstärke in lx mit dem Reflexionsgrad ρ multipliziert wird. Der Reflexionsgrad ist das Verhältnis des reflektierten Lichtstroms Φ_ρ zum auffallenden Lichtstrom Φ , also $\rho = \Phi_\rho/\Phi$. Dieser Verhältniswert ist eine für jede Fläche charakteristische Größe, die bei einer diffus und vollständig reflektierenden Fläche die Zahl 1 annimmt. Daraus ergibt sich, daß zur Beurteilung der Güte der Beleuchtung von Doppelbilddistanzlatten die Beleuchtungsstärke der Leuchtdichte gleichwertig ist. Die Reflexionseigenschaften der üblichen Dimeßlatten (Teilung auf Stahlblech) unterscheiden sich kaum voneinander, so daß infolge der gleichen Reflexionsgrade die Beleuchtungsstärke der Leuchtdichte entspricht.

Die lichttechnischen Untersuchungen wurden ohne Zuhilfenahme weiterer Versuchspersonen durchgeführt. Dadurch sind die Messungsergebnisse mit einem individuellen Fehler behaftet. Man darf jedoch annehmen, daß dieser Anteil geringfügig ist und die Ergebnisse nicht beeinträchtigt.

Bei den lichttechnischen Messungen kam es darauf an, den Einfluß der Lattenbeleuchtung auf die Größe des Koinzidenzfehlers nachzuweisen. So wurde von Anfang an darauf verzichtet, die Meßgeschwindigkeit festzuhalten, um die Aufmerksamkeit nicht absinken zu lassen. Mit abnehmender Beleuchtungsstärke trat eine merkbare Erhöhung der Meßzeit auf. Zu einer ähnlichen Feststellung kam auch LÜDEMANN [114].

Die auf den einzelnen Standpunkten ausgeführten Reihenmessungen wurden mit steigenden Beleuchtungsstärken beobachtet, da sich die Dauer der Adaption, wie

KOHLRAUSCH [84] und SCHOBER [153] angeben, ganz erheblich gegenüber der umgekehrten Reihenfolge verkürzt. Der Grund für diese Erscheinung liegt nach TRENDELENBURG [167] darin, daß der Sehpurpur schneller ausbleicht als sich erneuert.

In diesem Zusammenhang ist es angebracht, auf die für die Messungen unter Tage wichtige Erkenntnis hinzuweisen, daß die beste Sehschärfe erst nach mindestens 25 bis 30 min Dunkelanpassung der Augen erreicht wird [153]. Diese Voraussetzung wird in der Grube durch den Zeitaufwand für den Anmarschweg und die Meßvorbereitungen in der Regel erfüllt.

Auf Grund der Untersuchungsergebnisse von KÜHL [91], NAGEL und KLUGHARDT [122] erfolgte die eigentliche Messung erst, nachdem die Distanzlatte durch das Fernrohr einige Minuten betrachtet worden war, da nach ihren Angaben das Auge beim Vorsetzen des Fernrohres eine merkbare Nachadaption erfährt, so daß erst nach ≈ 3 Minuten Beobachtungszeit die günstige Sehschärfe eintritt.

4.1.2.2. Der Einfluß der unterschiedlichen Beleuchtungsstärke von Teilung und Nonius

Auf die Bedeutung einer gleich hellen Beleuchtung von Lattenteilung und Nonius zur Erreichung eines geringen Distanzfehlers bei Doppelbildtachymetern wiesen u. a. LÜDEMANN und TYSOWSKYJ hin. Mit den bisher bekannten elektrischen Beleuchtungs-ausrüstungen für Grubendistanzlatten kann eine gleichmäßige Beleuchtungsstärke aller Koinzidenzstellen kaum erreicht werden. In welchem Ausmaß dürfen sich die Beleuchtungsstärken zwischen Nonius und Lattenteilung unterscheiden, ohne zu einer merklichen Erhöhung des Koinzidenzfehlers zu führen? Dies festzustellen, wurde auf 5 Standpunkten (bei Entfernungen von 20, 24, 28, 32 und 35 m) mit einem Theo 030 und drei Dimeßkeilvorsätzen bei verschiedenen Beleuchtungsstärken je eine Messungsreihe mit 10 Koinzidenzen beobachtet. Bei einer Beleuchtungsstärke an der Distanzlatte von 500 lx, die mit einer normalen elektrischen Grubenkopflampe maximal zu erreichen ist, wurden die Lattenteilung und der Nonius gleich hell beleuchtet. Diese Beleuchtungsstärke wurde am Nonius für die einzelnen Messungen beibehalten, während die Helligkeit der Lattenteilung in regelmäßigen Abständen bis zu 60 lx verringert und bis zu 4000 lx erhöht wurde. Die Einteilung dieser Abstände erfolgte willkürlich nach der Helligkeitsempfindung des Beobachters. Die Intervalle der Beleuchtungsstärken liegen bei den geringen Leuchtdichten bedeutend enger zusammen, da in diesem Bereich eine Helligkeitsveränderung viel stärker empfunden wird als bei großen Leuchtdichten. Diese Feststellung entspricht der WEBER-FECHNERSchen Regel, die nach SCHOBER [153, S. 228] lautet: „Im mittleren Beleuchtungsbereich (Beleuchtungsstärken zwischen etwa 200 und 10000 lx) erreicht bei richtigem Adaptionszustand des Auges die Unterschiedsempfindlichkeit das Maximum. Sie kann in diesem Gebiet in erster Näherung als konstant angenommen werden und bewegt sich um 1 bis 2% der herrschenden Feldleuchtdichte.“ Unter Unterschiedsempfindlichkeit E versteht man das Verhältnis der Gesichtsfeldleuchtdichte B zum Leuchtdichteunterschied ΔB

$$\left(E = \frac{B}{\Delta B}\right).$$

Der WEBER-FECHNERSche Satz besagt damit, daß in dem begrenzten Beleuchtungsbereich das Auge nur logarithmisch zunehmende Lichtintensitäten als gleichabständig empfindet.

Die Ergebnisse der ungefähr 2000 Messungen sind in Anlage 6 dargestellt, wobei jeder Meßpunkt einen Mittelwert aus 30 Beobachtungen bildet. Die bei einer Distanz von 20 m durchgeführten Messungen wurden in Anlage 6 nicht mit angeführt, da bei kurzen Entfernungen die Beleuchtungsstärke der Lattenteilung nicht mehr unabhängig von der Noniusbeleuchtung geändert werden konnte. Die in Anlage 6 aufgetragene Kurvenschar für eine gleichmäßige Lattenbeleuchtung bei 500 lx veranschaulicht das Anwachsen des Koinzidenzfehlers mit steigendem Unterschied der Beleuchtungsstärke zwischen Nonius und Lattenwert. Das Diagramm trifft voll nur für die

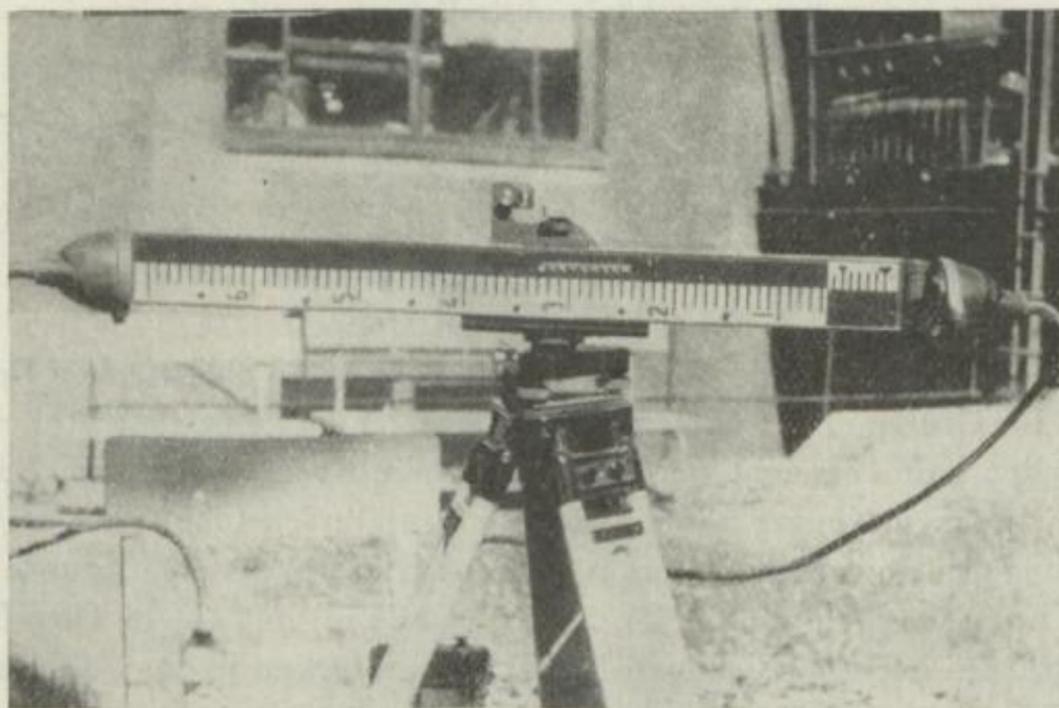


Bild 4. Dimeßgrubenlatte des VEB Carl Zeiss, Jena

angenommene Lattenbeleuchtungsstärke zu. Bei Änderung dieses Wertes verändert sich nicht nur die Lage des Minimums, sondern auch der Verlauf der Kurven. Der Einfluß der unterschiedlichen Beleuchtungsstärke auf den Distanzfehler ist um so größer, je geringer die gleichmäßige Leuchtdichte der Distanzlatte ist. Bei den verhältnismäßig geringen Beleuchtungsstärken, die mit den normalen Grubenkopflampen an der Distanzlatte erzeugt werden können (≈ 350 bis 450 lx), erhöht sich bereits durch eine Helligkeitsveränderung von 100 lx der Koinzidenzfehler um mehr als einen Millimeter. Verwendet man für die Beleuchtung der Lattenteilung und des Nonius Lampen mit getrennten Stromquellen, so können bereits, wie aus dem Verlauf der oberen und unteren Kurve in Anlage 10 zu ersehen ist, infolge der durch die Akkumulatoren bedingten Spannungsunterschiede die Beleuchtungsstärken um über 100 lx differieren.

Bei der neuen Dimeßgrubenlatte von Zeiss (Bild 4) entstehen als Folge der ungünstigen Beleuchtungsausrüstung besonders große Unterschiede in der Beleuchtungsstärke zwischen Nonius und Lattenwert.

Aus der Abbildung ist zu ersehen, daß auch die Lichtquelle zur Beleuchtung der Lattenteilung fest an der Latte angebracht ist. Durch die am Nonius befestigte Lampe wird auf diesem eine Beleuchtungsstärke von ≈ 300 lx erzeugt. Die gleiche Beleuchtung wird mit der anderen Lampe auf der Lattenteilung nur bei ≈ 60 cm hervorgerufen. Da die anderen Lattenwerte nur durch Verschwenken der Lampe zu beleuchten sind, nimmt die Beleuchtungsstärke nach der Lattenmitte zu ab. Wie aus dem Diagramm der Anlage 11 zu ersehen ist, hat die Beleuchtungsstärke bei einer Meßdistanz von 30 m ungefähr eine Größe von 30 bis 40 lx, beträgt also nur noch $\frac{1}{10}$ der Noniushelligkeit. Auf Grund der großen Unterschiede in der Beleuchtungsstärke der Distanzlatte und gleichzeitig infolge der geringen Gesamthelligkeit steigt der Koinzidenzfehler bei den Meßdistanzen zwischen 15 und 50 m stark an (s. a. Abschnitt 4.1.2.3.).

Der physiologische Grund für die Erhöhung des Koinzidenzfehlers bei unterschiedlicher Lattenbeleuchtung liegt offenbar darin, daß das Auge nicht gleichzeitig auf zwei verschiedene Leuchtdichten adaptieren kann. Außerdem wirkt sich der Einfluß der Umfeldleuchtdichte mit auf die Sehschärfe aus. Die größte Sehschärfe wird nach SCHÖBER [153] erreicht, wenn der Adaptionszustand des Auges dem Leuchtdichtezustand des Gesichtsfeldes angepaßt ist.

4.1.2.3. Bestimmung der günstigsten Beleuchtungsstärke bei gleich heller Beleuchtung von Teilung und Nonius

Die Untersuchungen über den Einfluß der verschieden starken, jedoch gleichmäßigen Lattenbeleuchtung auf die Größe des Koinzidenzfehlers wurden mit einem Theodolit 030 und zwei Dimeßkeilen in Verbindung mit der Dimeßhandlatte durchgeführt. Der Nonius und der für die verschiedenen Entfernungen jeweilig benötigte Lattenwert wurden mit zwei gleich hellen Arbeitslampen beleuchtet. Durch Verwendung verschiedener Glühlampen und durch Regelung der Spannung mit einem Regeltransformator konnten die Beleuchtungsstärken der beiden Lampen gleichmäßig in bestimmten Abständen zwischen 20 und 10000 lx verändert werden. Wie bei der vorhergehenden Messung erfolgte die Einteilung der Abstände willkürlich nach der Helligkeitsempfindung. Auf den einzelnen 9 Standpunkten der Prüfbahn wurden für Entfernungen zwischen 4 und 35 m bei jeder Beleuchtungsstärke 2 bis 4 Meßreihen zu je 10 Koinzidenzen beobachtet. Für die Distanzen von 32 und 35 m mußten die Messungen bei 20 lx infolge zu geringer Lattenhelligkeit ausfallen.

Zur Auswertung wurden aus den Beobachtungsreihen der ≈ 4000 Messungen die mittleren Fehler einer Koinzidenz berechnet und in Anlage 7 eingetragen. Die für jede Beleuchtungsstärke auf den einzelnen Standpunkten erhaltenen Meßwerte wurden durch eine ausgleichende Gerade verbunden. Für die Geraden mit der größten (40 lx, 60 lx) und der kleinsten Streuung (5000 lx) der Meßpunkte wurde die mittlere Abweichung der Beobachtungswerte von der linearen Funktion berechnet. Es ergaben sich folgende mittlere Abweichungen: bei 40 lx $m = \pm 1,6$ mm, bei 60 lx $m = \pm 1,4$ mm und bei 5000 lx $m = \pm 0,2$ mm. Bei den anderen Beleuchtungsstärken liegt die mittlere Streuung der Meßwerte für die ausgleichenden Geraden zwischen $\pm 0,2$ mm und $\pm 1,6$ mm. Diese Abweichungen sind für Sehschärfemessungen, bei denen mit einer Genauigkeit von $\pm 5\%$ gerechnet wird [155], recht günstig. Die guten Meßergebnisse

sind wahrscheinlich auf die große Übung des Beobachters und die hohe Konzentration während der Messung zurückzuführen. Um eine Ermüdung des Auges zu vermeiden, wurde nur eine beschränkte Anzahl von Messungen pro Tag durchgeführt und nach 20 bis 30 aufeinanderfolgenden Beobachtungen eine Pause eingelegt. Außerdem wurden bei den kleinen Beleuchtungsstärken (unter 100 lx) je Standpunkt und Lattenhelligkeit bis zu 40 Ablesungen vorgenommen.

Aus der Anlage 7 ist ersichtlich, daß jeder Beleuchtungsstärke an der Distanzlatte eine eigene lineare Funktion des Koinzidenzfehlers entspricht. Mit wachsender Beleuchtungsstärke bis zu 5000 lx verringert sich die Steigung der Geraden, während bei den größeren Beleuchtungsstärken (von 6000 bis 10000 lx) der Koinzidenzfehler wieder zunimmt. Bei den niedrigen Beleuchtungsstärken vergrößern sich die Abstände zwischen den Geraden. Zur besseren Verdeutlichung dieser Zusammenhänge wurden die Meßwerte in Anlage 8 eingetragen, wobei der Koinzidenzfehler wieder auf der Ordinate erscheint, während die Abszissenachse die Logarithmen der Beleuchtungsstärke trägt. Der Koinzidenzfehler erreicht zwischen 4000 und 6000 lx sein Minimum und steigt vor allem unter 100 lx stark an, wobei zu beachten ist, daß durch die logarithmische Teilung das Anwachsen schwächer hervortritt.

Aus den Kurven der Anlage 8 zwischen 20 und 500 lx läßt sich bei geeigneter Darstellung (auf doppeltlogarithmischem Papier) ein gesetzmäßiger Zusammenhang der Beleuchtungsstärke E vom Koinzidenzfehler m_i nach der Gleichung

$$E = c \cdot m_i^{-3}$$

ableiten, wobei c eine von der Entfernung abhängige Konstante ist. Da diese Gleichung sehr kompliziert ist, wurde versucht, empirisch die Funktion für das Geradenbüschel der Anlage 7 zu bestimmen. Die allgemeine Gleichung für den Koinzidenzfehler m_i nimmt in diesem Diagramm die Form

$$m_i = \frac{a}{Eb} s + \frac{c}{Ed} \quad (3)$$

an, wenn E die Beleuchtungsstärke, s die Entfernung und a, b, c, d Konstanten bedeuten. Durch Auftragen der einzelnen Steigungswerte ($\tan \varphi$) der Geraden in Abhängigkeit von der Beleuchtungsstärke auf doppeltlogarithmisches Papier läßt sich das erste Glied der Gleichung (3) ermitteln. Zur Bestimmung des zweiten Teiles der Gleichung (3) wurden die Ordinatenabschnitte der Geraden in Abhängigkeit von der Beleuchtungsstärke ebenfalls auf doppeltlogarithmisches Papier gezeichnet. Formt man die erhaltenen Ergebnisse mehrmals um, ergibt sich die verhältnismäßig einfache Näherungsgleichung

$$m_i \approx \frac{s + 6}{\sqrt[3]{\frac{E}{10}}} \quad (4)$$

für $4 \text{ m} \leq s \leq 40 \text{ m}$ und $20 \text{ lx} \leq E \leq 5000 \text{ lx}$.

Um die Abweichungen der gemessenen Werte von der Näherungsfunktion feststellen zu können, wurde das aus Gleichung (4) sich ergebende Geradenbüschel in Anlage 9 wiedergegeben. Dieses Geradenbüschel entspricht im allgemeinen gut den bei

den Lichtmessungen erhaltenen Ergebnissen. Nur die Koinzidenzfehlergeraden bei 80, 100, 3000 und 5000 lx weichen etwas stärker von den Meßwerten ab. Es ist jedoch anzunehmen, daß diese Abweichungen zum Teil durch einseitige physiologische Fehler bei den Messungen bedingt sind, da die Abstände der Geraden untereinander zwischen 100 und 200 lx sowie zwischen 1000 und 2000 bzw. 3000 lx relativ klein sind im Vergleich zu dem großen Intervall der Beleuchtungsstärke.

Die ermittelte Gleichung (4) entspricht dem WEBER-FECHNERSchen Satz besser als das Geradenbüschel der Anlage 7. Auch die größeren Abweichungen der Gleichung (4) von den Meßwerten liegen noch in der normalen, bei Sehschärfemessungen nicht zu vermeidenden Streuung. Nach den Angaben der Physiologen können infolge des Augen- aufbaues die Sehschärfen mit keiner größeren Genauigkeit als mit etwa $\pm 5\%$ bestimmt werden [155], so daß bei der Reproduzierbarkeit der Sehschärfe von einem Beobachter zum anderen mit einer Unsicherheit von 10 bis 20% zu rechnen ist. Die großen Abweichungen bei Sehschärfemessungen haben ihre Ursache darin, daß die Augenschärfe von mehreren Faktoren abhängig ist [155, S. 373]:

- „a) Kontrast des Testobjektes gegenüber dem Untergrund $K = \frac{U - P}{U}$, wobei P die Flächenhelle des Testobjektes, U die Flächenhelle des Umfeldes ist;
- b) Adaptionshelligkeit;
- c) Beobachtungsdauer;
- d) Farbe des Umfeldes und des Testes;
- e) Form des Testes;
- f) Größe und Helligkeitsverteilung des Umfeldes;
- g) Winkelabstand des Testobjektes vom Fixierpunkt des Auges;
- h) subjektive Einflüsse.“

Diese Faktoren lassen sich insgesamt in einer Formel für die Sehschärfe des menschlichen Auges nicht erfassen. Dadurch wurden von den Physiologen je nach den Untersuchungsbedingungen unterschiedliche Gleichungen abgeleitet.

Während die Verfasser älterer Veröffentlichungen in Anlehnung an die Messungsergebnisse von KÖNIG sich oft für eine logarithmische Abhängigkeit der Sehschärfe S von der Leuchtdichte B nach

$$S = a + b \log B$$

[122] (wobei die Konstanten a und b Schwankungen unterliegen) entschieden, glauben auf Grund neuerer Messungen KÖHLER [82] und DEKANY [23], daß die Sehschärfe am besten durch die Formel

$$S = c \cdot B^m$$

wiedergegeben wird. Hierbei stellen c und m Konstanten dar, die in einem beschränkten Leuchtdichtebereich sich nicht verändern und vor allem vom Beobachter, vom Adaptionzustand des Auges und von der Art des Sehschärfekriteriums abhängen.

Die Untersuchungen über die Abhängigkeit des Koinzidenzfehlers von der Beleuchtungsstärke wurden mit einem Theodolit durchgeführt. Die erhaltenen Ergebnisse sind

also auch von der Güte der Fernrohroptik abhängig und gelten streng nur für Streckenmessungen mit dem Theodolit Theo 030 mit Dimeßkeil. Auf Grund der geringen Genauigkeitsunterschiede, die bei den Doppelbilddistanzmessungen unter Tage mit einem Theo 030 und einem Theo 6.1 (Abschnitt 3.2.5.) festgestellt wurden, ist anzunehmen, daß die Ergebnisse der Helligkeitsuntersuchungen auch für die Messungen mit dem Theo 6.1 mit Dimeßkeil zutreffen. Jedoch auch bei den Messungen mit anderen Doppelbildtachymetern mit einer 25fachen Fernrohrvergrößerung werden die Abweichungen gegenüber den mit dem Theo 030 und dem Dimeßkeil erzielten Resultaten gering sein, da die Fernrohrleistung L beim Tagessehen (bis ≈ 100 lx) in der Hauptsache von der Fernrohrvergrößerung V und der Lichtdurchlässigkeit des Fernrohrs δ_F abhängt. Nach KÖHLER [82, S. 43] läßt sich die Fernrohrleistung durch folgende Formel berechnen:

$$L = C \cdot V \cdot \delta_F^m \left(\frac{P}{p_a} \right)^{2m} \quad (5)$$

Beim Tagessehen nimmt die Augenpupille p_a ihren kleinsten Wert von etwa 2 mm an, deshalb kann man den Faktor $\frac{P}{p_a} = 1$ setzen, wenn die Austrittspupille des Fernrohrs p wenigstens 2 mm beträgt. Die Werte C und m stellen vom Beobachter abhängige Konstanten dar. Für die Messungen unter Tage wird die Fernrohrleistung wahrscheinlich durch die von KÖHLER für die Dämmerung aufgestellte Gleichung am besten wiedergegeben:

$$L = K \cdot \sqrt[4]{\delta_F} \sqrt{V \cdot D} \quad (6)$$

Hierbei bedeuten

D = Objektivdurchmesser und

$K = \frac{C}{p_a^{2m}}$ eine individuell stark schwankende Konstante.

Da bei den Messungen zur Feststellung der Fernrohrleistung fast nur Feldstecher untersucht wurden, ist es unbekannt, wieweit die entwickelten Formeln für Leistungsangaben von Theodolitfernrohren übernommen werden können.

Selbst wenn bei einer Übertragung der erzielten Ergebnisse auf andere Beobachter Abweichungen in einer Größenordnung von 10 bis 20% auftreten, kann man das gestellte Ziel als erfüllt ansehen.

Die durchgeführten Helligkeitsmessungen sollten vor allem die gesetzmäßige Abhängigkeit des Koinzidenzfehlers von der Beleuchtungsstärke nachweisen. Aus den Messungsergebnissen (Anlage 8) ist zu erkennen, daß die günstigste Beleuchtungsstärke für Dimeßgrubenlatten zwischen 4000 und 5000 lx liegt. Bei zu hell beleuchteten Latten (über 5000 lx) erhöht sich infolge Blendung der Distanzfehler wieder. Mit Hilfe der abgeleiteten Formel bzw. aus dem Diagramm (Anlage 9) ist zu entnehmen, welche minimalen Lattenhelligkeiten nötig sind, um eine bestimmte Koinzidenzgenauigkeit zu erreichen. Als Vergleichswerte sollen einige mit den üblichen Grubenlampen erreichbare Lattenbeleuchtungsstärken angegeben werden:

elektrische Grubenkopflampe	350 bis 450 lx,
elektrische Handlampe (kleine Batterie)	200 bis 250 lx,
elektrische Handlampe (große Batterie)	
gebündelter Lichtkegel	800 bis 1000 lx,
ungebündelter Lichtkegel	500 bis 600 lx,
Azetylengrubenlampe, frisch gefüllt mit sauberer Messingblende,	
kleine Flamme (schlechte Beleuchtung)	≈ 250 lx,
mittlere Flamme (normale Beleuchtung)	≈ 700 lx,
große Flamme (sehr gute Beleuchtung)	≈ 1000 lx,
zischende Flamme (maximale Beleuchtung)	≈ 2000 lx.

Die angegebenen Beleuchtungsstärken für die elektrischen Grubenlampen stellen Mittelwerte dar, die nur mit einem frisch geladenen Akkumulator zu erreichen sind. Da bei optischen Streckenmessungen in der Grube die Distanzlatte während der ganzen Schicht eine gute Beleuchtung benötigt, wurde von verschiedenen Grubenkopflampen die Abnahme der Beleuchtungsstärke mit der Brenndauer gemessen und in Anlage 10 dargestellt. Während die beiden mittleren Kurven die normale Helligkeitsabnahme angeben, zeigen der obere und der untere Kurvenverlauf Extremfälle. Aus dem Diagramm ist ersichtlich, daß bei elektrischen Grubenlampen die Helligkeit innerhalb der ersten Verbrauchsstunde stark abnimmt (im Mittel um ≈ 60 lx). Dagegen verringert sich die Beleuchtungsstärke bei einer Brenndauer von 1 bis 8 Std. nur allmählich (um ≈ 40 lx) und fällt dann bei längerer Brennzeit wieder sehr steil ab. Da sich die Helligkeit bei den Grubenkopflampen infolge Spannungsabnahme mit fortschreitender Brenndauer verringert, darf man nur mit einer durchschnittlichen Beleuchtungsstärke von ≈ 330 lx an der Distanzlatte rechnen. Mit den für die Beleuchtung von Distanzlatten benötigten kleinen und handlichen Lampen wird es in der Grube kaum möglich sein, Beleuchtungsstärken von 4000 bis 5000 lx zu erzeugen. Die durchgeführten Helligkeitsmessungen zeigen jedoch (Anlage 8), daß der Genauigkeitsabfall bis zu Beleuchtungsstärken von 800 bis 1000 lx relativ gering ist (≈ 3 mm bei 25 m). Für die meisten Fälle würde es durchaus genügen, wenn die Doppelbilddistanzlatten mit einer Helligkeit von 800 bis 1000 lx beleuchtet würden. Diese erwünschte Lattenbeleuchtungsstärke läßt sich höchstens mit Grubenazetylenlampen und der elektrischen Handlampe erzielen. Da diese Lampen für eine feste Beleuchtungseinrichtung an einer Distanzlatte zu schwer und groß sind, müßten zur Lattenbeleuchtung geeignete kleine elektrische Lampen mit einer großen Leuchtdichte konstruiert werden.

Die bei den Lichtmessungen festgestellte verhältnismäßig große Erhöhung des Koinzidenzfehlers mit abnehmender Beleuchtungsstärke tritt in geringerem Ausmaße auf, wenn die Umgebung der Latte nicht vollkommen dunkel ist. Einige bei Dämmerung (≈ 50 bis 100 lx) durchgeführte Messungen ergaben eine Erhöhung der Sehschärfe um $\approx 5\%$. Diese Ergebnisse zeigen, daß die Umfeldleuchtdichte die Größe des Koinzidenzfehlers ebenfalls beeinflußt. Bei den Messungen unter Tage reicht die kleine beleuchtete Lattenfläche nicht aus, um den Adaptionzustand des Auges richtig festzulegen. Das Auge arbeitet also mit der einer geringeren Adaptionshelligkeit entsprechenden Seh-

schärfe und empfindet die kleine beleuchtete Koinzidenzstelle auf der Latte bei großen Helligkeiten über 5000 lx gegenüber dem dunklen Umfeld als blendend.

Im Anschluß an die Helligkeitsmessungen stand dem Verfasser ein Muster der im Abschnitt 4.1.2.2. bereits beschriebenen neuen Dimeßgrubenlatte für Versuchsmessungen zur Verfügung. Auf der Prüfstrecke unter Tage wurden mit dieser Latte und einem Theo 030 mit 2 Dimeßkeilen auf 13 Standpunkten zwischen 7 und 60 m je 4 Reihen zu 10 Koinzidenzen gemessen. Die aus den vier Reihen pro Standpunkt erhaltenen Fehler einer Koinzidenz wurden gemittelt und in Anlage 11 aufgetragen. Da die Grubenlampe zur Beleuchtung der Lattenteilung fest an der Latte angebracht ist und nur verschwenkt werden kann, nimmt die Beleuchtungsstärke nach der Lattenmitte zu infolge der wachsenden Entfernung und des schrägen Lichteinfalls stark ab. Die Veränderung der Beleuchtungsstärke bei verschiedenen Koinzidenzstellen wurde mit dem Luxmeter an der Lattenteilung gemessen und ebenfalls in Anlage 11 eingezeichnet. Der durch die zweite Grubenkopflampe erhellte Nonius wird dagegen ständig mit ≈ 300 lx beleuchtet. Der Einfluß der Beleuchtungsstärke auf den Koinzidenzfehler infolge unterschiedlicher Lattenbeleuchtung unterscheidet sich bei geringen Helligkeiten nicht stark von dem Fehler, der bei einer Verringerung der gleichmäßigen Lattenbeleuchtung entsteht. Deshalb wurde dieser Fehler (aus Anlage 9) neben dem gemessenen Koinzidenzfehler in Anlage 11 eingetragen. Ein Vergleich der graphisch ermittelten Koinzidenzfehler mit denen der Messung ergibt eine gute Übereinstimmung. Ordnet man die zweite Grubenlampe an der Lattenteilung verschiebbar an, wäre es möglich, jede Ablesestelle mit ≈ 300 lx zu beleuchten, wodurch sich der zu erwartende Koinzidenzfehler (gestrichelte Gerade in Anlage 11) bedeutend verringern würde.

Die bei den Messungen mit der Dimeßgrubenlatte erreichten Koinzidenzfehler weisen auf die große Bedeutung der Lattenbeleuchtungsstärke für Doppelbilddistanzmessungen unter Tage hin. Eine Lattenbeleuchtung mit zwei festen Lichtquellen eignet sich infolge des großen Koinzidenzfehlers kaum für genauere Distanzmessungen, da die geforderte äußere Genauigkeit nur durch eine Erhöhung der Koinzidenzen zu erreichen ist. Für die Streckenmessung von Nachtragungszügen ist die neue Dimeßgrubenlatte zu sperrig.

Die Helligkeitsmessungen zeigen, daß für die Doppelbilddistanzmessung unter Tage die Distanzlatte gleichmäßig und sehr hell (wenigstens mit 800 bis 1000 lx) zu beleuchten ist. Eine geeignete elektrische Beleuchtungseinrichtung für Grubendistanzlatten ist nicht vorhanden. Die bisherigen Entwicklungen auf diesem Gebiet lassen vermuten, daß jede elektrische Beleuchtungseinrichtung für Distanzlatten infolge der benötigten Stromquelle zu einer bedeutenden Gewichtserhöhung der Distanzmeßausrüstung führt und eine nicht zu vermeidende Störanfälligkeit in der Grube besitzt.

4.2. Untersuchungen über die Verwendungsmöglichkeiten der Reflexstoffe für Distanzlatten

Der günstigste Lösungsweg für die Entwicklung einer gleichmäßig gut beleuchteten Dimeßgrubenlatte wäre gefunden, wenn es gelänge, die elektrische Beleuchtungseinrichtung der Latte durch eine selbstleuchtende Lattenteilung zu ersetzen. An

Stelle der bisher für Distanzlatten verwendeten Lackfarben müßten Leuchtfarben benutzt werden.

Bei Leuchtfarben unterscheidet man folgende drei Gruppen: radioaktive, phosphoreszierende und fluoreszierende Farben. Die fluoreszierenden Leuchtfarben kennen kein Nachleuchten und sind nur bei ständiger Ultraviolettbeleuchtung sichtbar. Die phosphoreszierenden Leuchtfarben bedürfen der Bestrahlung und leuchten dann einige Stunden unter ständigem Abklingen nach. Die radioaktiven Leuchtfarben benötigen keinerlei Beleuchtung durch natürliches oder künstliches Licht; sie leuchten aus sich heraus jahrelang ohne jede zusätzliche Lichtquelle. Da die beiden zuerst angeführten Leuchtfarbengruppen für eine dauernde, gute Beleuchtung ebenfalls einer zusätzlichen Lichtquelle bedürfen, würden sie gegenüber der normalen Lattenteilung nur einen Helligkeitsgewinn bringen. Die radioaktiven Leuchtfarben könnten dagegen zum Belegen von Distanzlatten die meisten Vorteile bieten, wenn ihre Lichtausstrahlung den Anforderungen genügt. Die Untersuchungen zweier von einer Schweizer Firma zur Verfügung gestellter Leuchtfarben (je eine Probe der Leuchtfarbe Nr. 8 und Nr. 14, wobei letztere die zur Zeit stärkste radioaktive Farbe darstellt) zeigten, daß ein schwarzer Strich von 1 mm Breite auf der Probe Nr. 14 bei Beobachtung mit dem Theo 6.1 nur bis zu einer Zielentfernung von 1 bis 2 m scharf zu erkennen ist. Auf Grund ihrer geringen Helligkeitswerte sind also auch die radioaktiven Leuchtfarben für eine selbstleuchtende Lattenteilung ungeeignet.

Die zweite Möglichkeit, auf die elektrische Beleuchtungseinrichtung an der Latte zu verzichten, besteht darin, die Lattenfläche reflektierend zu gestalten, so daß die Lattenteilung bei Anstrahlung vom Instrument aus bis auf die benötigte Entfernung scharf erkennbar ist. In den letzten Jahren wurden zur Erhöhung der Wirksamkeit von Verkehrszeichen während der Nachtstunden verschiedene sehr stark reflektierende Reflexstoffe entwickelt, die auch im Bergbau bei Markierungsmarken für Richtungs- und Höhenlehren und für Grubennivellierlatten Verwendung fanden und sich bewährten. Diese Reflexstoffe wurden eingehend auch auf ihre Eignung für Distanzlatten untersucht.

4.2.1. Aufbau und Wirkungsweise der lichtreflektierenden Folien

Die auf ihre Eignung zum Belegen von Distanzlatten untersuchten Reflexstoffe „Scotchlite“ wurden freundlicherweise von der Minnesota Mining and Manufacturing Company, Düsseldorf, zur Verfügung gestellt.

Die Reflexfolien zeigen einen mehrschichtigen Aufbau (Bild 5 nach [132]). Sie bestehen aus der reflektierenden Grundsicht (1) (aus Kunststoff oder Metallfolie), auf der eine durchsichtige Abstandsschicht (2) aufliegt, die von einer durchsichtigen Bindemittelschicht (3) überlagert wird. In dieser sind kleine Glaskugeln (4) eingebettet, die je nach den Erfordernissen die Abstandsschicht (2) berühren oder bis zu einer bestimmten Tiefe in sie hineintauchen. Die Glaskugeln werden bei den Flat-top-Folien von einer durchsichtigen Deckschicht (5) luftdicht abgeschlossen. Diese Deckschicht schützt gegen atmosphärische Einwirkungen und Verschmutzung.

Einen abweichenden Aufbau der Reflexfolie zeigt Bild 6 (nach [132]). Hierbei wird eine starre oder biegsame Trägerschicht (6) von einer reflektierenden, farblosen oder

farbigen Kunststoffschicht (7) überlagert. In diese sind kleine Glaskugeln (9) von hohem Brechungsindex (1,6 bis 2,0) teilweise eingebettet. Für bestimmte Folien sind die einzelnen Kugeln noch mit einem durchsichtigen konzentrischen Überzug (8) mit geringem Brechungsindex umhüllt. Den Abschluß bildet eine durchsichtige Deckschicht (10). Da bei diesen Folien der Reflektor (7) die Rückseite des Kugelüberzugs einhüllt, hat er eine konkav sphärisch reflektierende Oberfläche.

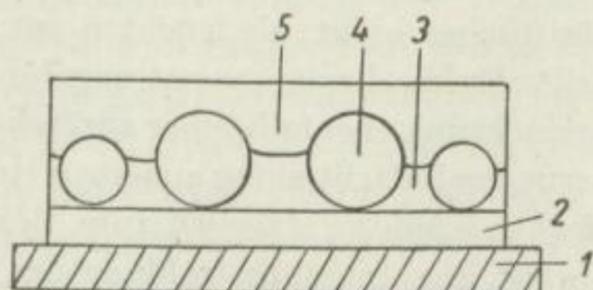


Bild 5. Aufbau der Reflexfolie (Grundschicht reflektierend)

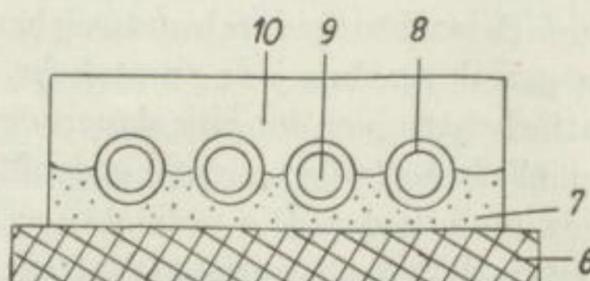


Bild 6. Aufbau der Reflexfolie (Bindemittelschicht reflektierend)

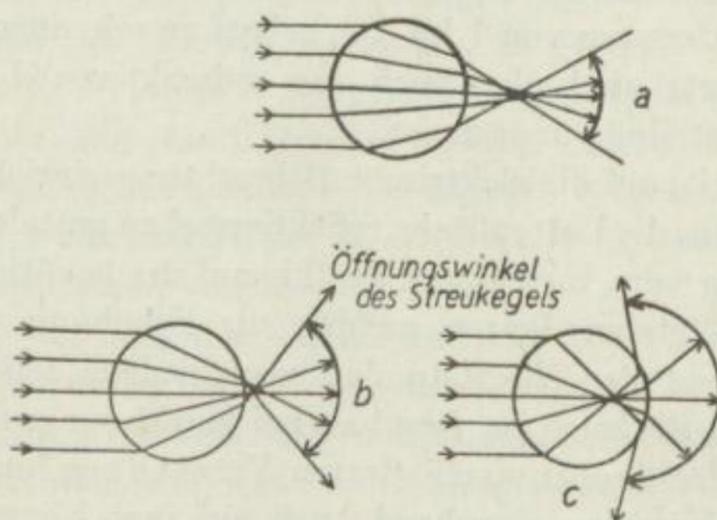


Bild 7. Lichtbrechung an Glaskugeln mit verschiedenen Brechungsindizes

Die hohe Wirksamkeit der Reflexfolien wird durch ihren den Gesetzen der geometrischen Optik entsprechenden Aufbau erreicht. Die Glaskugeln (bevorzugter Durchmesser 0,12 bis 0,25 mm) haben im allgemeinen gegenüber den durchsichtigen Schichten einen wesentlich höheren Brechungsindex. Die einfallenden Lichtstrahlen werden bei ihrem Durchgang durch die Glaskugeln zweimal abgelenkt, wobei sie beide Male nach der Mittelachse der Kugel konvergieren. Der Durchmesser des Lichtkegels der auf die reflektierende Rückfläche (1) bzw. (7) einfallenden Strahlen hängt vom Brechungsindex der Glaskugeln und deren Abstand von der Reflexfläche ab (Bild 7 aus [77]). Je weiter die Kugeln bei kleinem Brechungsindex (Bild 7a) von der Reflexfläche entfernt sind, desto kleiner wird der Durchmesser des Streukreises, d. h., desto punktförmiger ist die den Brennpunkt bildende Fläche, von der dann die Strahlen als Kegel zurückgeworfen werden. Ist die reflektierende Fläche stark spiegelnd und sind die Kugeln im geeigneten Abstand von ihr angeordnet, hat der reflektierende Strahlenkegel nach dem Austritt an der Kugeloberfläche den gleichen Umfang wie der einfallende,

so daß praktisch kaum eine Streuung auftritt. Folien mit spiegelnder Grundsicht liefern bei optimalem Kugelabstand die höchste Leuchtwirkung, wenn der Einfallswinkel zwischen den Lichtstrahlen und der reflektierenden Fläche 100° beträgt. Mit wachsendem Lichteinfallswinkel nimmt die Leuchtkraft dieser Folien schnell ab, da der für senkrecht einfallende Strahlen als optimal geltende Abstand zwischen den Kugeln und der reflektierenden Grundsicht bei schrägem Lichteinfall zu groß wird. Das Hauptziel dieser Folien (Spitzwinkelfolien) ist große Sichtweite.

Verwendet man Reflexfolien mit einem Aufbau ähnlich Abb. 6, jedoch ohne Abstandsschicht (8), so müssen die Kugeln, um einen kleinen Divergenzwinkel zu erreichen, einen höheren Brechungsindex aufweisen, damit die Spitze des Streu kegels auf der Reflexschicht liegt. Dieser Folienaufbau hat den Vorteil, daß die Reflektoroberfläche sowohl bei senkrecht als auch bei schiefwinklig einfallenden Strahlen die gleiche Entfernung vom Kugelmittelpunkt hat. Bei diesen Reflexfolien (Weitwinkelfolien) fällt mit zunehmendem Lichteinfallswinkel die reflektierende Leuchtstärke infolge guter Konzentration der Rückstrahlung nur wenig ab.

Bei den Glaskugeln wird durch die Erhöhung des Brechungsexponenten nicht nur der Ablenkungswinkel und damit der Öffnungswinkel des Streu kegels (Bild 7) größer, sondern nach FRESNEL nimmt auch die Intensität des zurückgeworfenen Lichtes zu. Durch die dichte Anordnung von Kugeln mit hohen Brechungsexponenten werden diese nicht nur von den auffallenden, sondern auch von den durch Brechung auseinanderstreuenden Strahlen (Bild 7c) getroffen. Dabei ist die zu erzielende Wirkung um so größer, je dichter die Oberfläche mit den Glaskügelchen bedeckt und je kleiner deren Durchmesser ist. Nach JAINSKI [68] ist ein Quadratmeter Folienfläche je nach Größe der Kugeln mit 50 bis 77 Millionen Kugeln bedeckt.

Bei den Reflexstoffen wird der aufgestrahlte Lichtstrom um 200° umgekehrt und fast genau in Richtung der Lichtquelle mit geringer Streuung reflektiert. Die Reflexfolien vermeiden also die Nachteile der nur diffus und spiegelnd sowie der gemischt reflektierenden Oberflächen.

Zur bequemen Verarbeitung befindet sich auf der Rückseite der Reflexfolien ein Klebstoff, der durch ein Schutzpapier gegen die Einwirkung von Luft und Licht geschützt ist. Bei Verwendung der Folie wird die Schutzschicht abgezogen, der Klebstoff mit einem Aktivator reaktiviert und auf den jeweiligen Untergrund (Metall und jede andere glatte, fettfreie und trockene Oberfläche) aufgewalzt. Die aufgezogenen Folien lassen sich, ohne sie zu beschädigen, nicht mehr entfernen. Obgleich von der Herstellungsfirma für die Lebensdauer der Folien nur 5 Jahre Garantie übernommen wird, konnte bei der Anwendung des Reflexmaterials im Straßenverkehrswesen unter ungünstigen Witterungsbedingungen auch nach einer wesentlich längeren Zeit noch keine Verminderung des Reflexionsvermögens festgestellt werden. Verschmutzte Reflexfolien lassen sich auch mit Seifenwasser und einer weichen Bürste abwaschen und erhalten ihre ursprüngliche Reflexionsfähigkeit.

Auf Grund der günstigen Eigenschaften der Reflexfolien fanden diese bereits für verschiedene Aufgaben des Vermessungswesens unter Tage Anwendung. In der Literatur wurde bisher über die Eignung der Reflexfolien als Markierungsmarken für Richtungs- und Höhenlehren [94] [95] und für Grubennivellierlatten [99] berichtet. LEHMANN [95] spricht außerdem die Vermutung aus, daß sich das Reflexmaterial auch für die

Herstellung von verschiedenen Zielzeichen eignen könnte. Es ist jedoch bisher noch kein Hinweis über die Verwendungsmöglichkeit von Reflexfolien für Doppelbild-distanzlatten bekannt.

4.2.2. Messungen mit Reflexnivellierlatten

Um die Eigenarten der Reflexstoffe bei ihrer Anwendung für Vermessungsaufgaben kennenzulernen, wurden zunächst Untersuchungsmessungen mit drei Reflexnivellierlatten (2 Versuchslatten des VEB Carl Zeiss, Jena, und 1 der Firma Zeiss, Oberkochen) und einem Nivellier Ni 030 mit Planplatte auf der Prüf-strecke der Lehrgrube durchgeführt. Die Reflexlatten wurden durch das Scheinwerferlicht einer auf dem Fernrohr des Nivelliers befestigten Stableuchte (mit 3 Monozellen) beleuchtet.



Bild 8
Grubennivellierlatte ohne
(Mitte) und mit Reflexbelag
bei gleicher Beleuchtung

Eine gute Vorstellung über die starke Reflexionskraft der Nivellierlatten mit Reflexfolienbelag gegenüber den normalen, mit einer Lackfarbe versehenen Grubennivellierlatten bekommt man durch Bild 8. Durch die Scheinwerferbeleuchtung vom Instrument aus werden die beiden Reflexlatten in voller Länge sichtbar, während die Normallatte im Lichtkegel selbst bei kurzer Entfernung kaum zu erkennen ist.

Bei den ersten Messungen sollten die unterschiedlichen Reflexeigenschaften der verschiedenen Reflexnivellierlatten festgestellt werden.

Auf 7 Standpunkten zwischen 10 und 70 m wurde für jede der drei Reflexnivellierlatten eine Meßreihe mit 10 Einstellungen beobachtet. Die aus einer Meßreihe berechneten mittleren Einstellfehler sind in Tabelle 1 wiedergegeben, wobei die Ergebnisse der beiden mit der gleichen Folie belegten Latten gemittelt wurden.

Aus der Zusammenstellung erkennt man ein gleichmäßiges Wachsen des Einstellfehlers bis 50 m, wobei mit der Latte 3 etwas kleinere Werte erzielt wurden. Zwischen 50 und 60 m steigt der Einstellfehler plötzlich stark an. Auf die Gründe dieses Fehleranstiegs soll in Abschnitt 4.2.4.2.2. eingegangen werden. Die mit den Nivellierlatten 1 und 2 gegenüber der Latte 3 erhaltenen größeren Einstellfehler sind auf eine schlechtere Reflexwirkung zurückzuführen. Als Grund hierfür gibt der VEB Carl Zeiss, Jena, ein nochmaliges Aufbringen von Zaponlack und eine zu lange Lagerung der Folie vor ihrer Verarbeitung an.

Um die Reflexlatten mit der normalen Nivelliergrubenlatte vergleichen zu können, wurden in einer weiteren Messung (je Latte 14 Aufstellungen mit je 10 Einstellungen) die Reflexlatte 3 und die Normallatte mit einer elektrischen Steigerlampe vom Latten-träger angeleuchtet. Die erhaltenen Ergebnisse zeigt Tabelle 2.

Tabelle 1. Einstellfehler in 1/10 mm für eine Ablesung aus 10 Einstellungen

	Entfernung in m						
	10	20	30	40	50	60	70
Reflexlatte 1 und 2 (VEB Carl Zeiss, Jena)	0,6	0,7	1,2	1,1	1,8	2,9	3,8
Reflexlatte 3 (Firma Zeiss, Oberkochen)	0,6	0,6	0,8	1,1	1,0	2,6	3,4

Tabelle 2. Einstellfehler in 1/10 mm für eine Ablesung aus 10 Einstellungen

	Entfernung in m						
	10	20	30	40	50	60	70
Reflexlatte Mittelwerte	0,5	0,7	1,4	1,7	1,6		
Normallatte (Reiß-Liebenwerda)	0,7	0,7	0,9	1,5	1,6	1,7	2,1

Vergleicht man die Einstellfehler, die mit der Grubennivellierlatte von Reiß-Liebenwerda erreicht wurden, mit den entsprechenden Werten der Reflexlatten in Tabelle 1, so ist zu erkennen, daß die mit der Normallatte erhaltene Genauigkeit bis 50 m Zielweite ungefähr den Werten entspricht, die mit den Reflexlatten 1 und 2 ermittelt wurden. Die Ergebnisse der Reflexlatte 3 liegen noch etwas günstiger. Bei Zielweiten über 50 m steigen die Ablesefehler mit Reflexnivellierlatten (Tabelle 1) im Vergleich zur normalen Grubennivellierlatte (Tabelle 2) stark an.

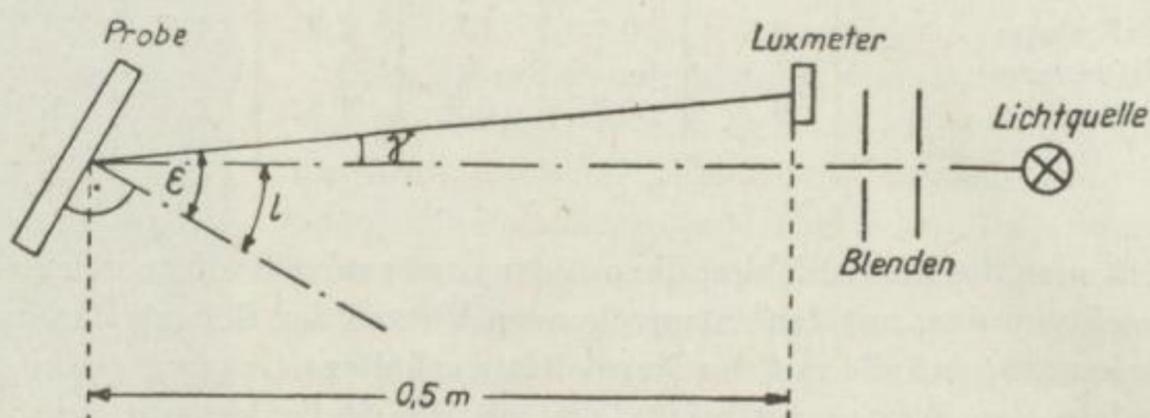
Werden die Reflexlatten durch den Lattenträger beleuchtet, so ist die Helligkeit bedeutend geringer als bei Beleuchtung vom Instrument aus, da bei den Reflexfolien die optimale Reflexionskraft in der Lichteinfallrichtung liegt. Deshalb wurden bei der zweiten Versuchsreihe (Tabelle 2) höhere Einstellfehler als bei der ersten Messung (Tabelle 1) erzielt.

Zusammenfassend ergaben die Versuchsmessungen folgende Vorteile der Reflexnivellierlatten gegenüber der normalen Grubennivellierlatte:

- Das Anleuchten durch den Lattenträger fällt weg. Dieser braucht sich nur auf die Lotrechthaltung der Latte zu konzentrieren.
- Die Reflexfolienlatte ist bei eingeschalteter Stableuchte in ihrer gesamten Größe hell und gut bis 50 m Zielweite ablesbar.
- Der Beobachter übersieht dadurch mit einem Blick die gesamte Latte und kann sofort ablesen, während bei der normalen Nivellierlatte der Lichtkegel des Lattenträgers erst auf die Ablesestelle durch den Messenden eingewiesen werden muß.
- Durch das Aufleuchten der gesamten Latte ist das Strichkreuz voll sichtbar, wodurch grobe Ablesefehler vermieden werden können.
- Die Verwendung von Reflexnivellierlatten ermöglicht bei Einhaltung der gleichen Genauigkeit eine Zeitersparnis von 30 bis 40%.

4.2.3. Lichttechnische Bewertung der verschiedenen Reflexstoffe

Auf Grund der bei den Untersuchungen der Reflexnivellierlatten erzielten Ergebnisse war anzunehmen, daß die Reflexstoffe sich auch für Doppelbilddistanzlatten eignen würden. Es konnte jedoch nicht erwartet werden, daß die Folien, die sich als Reflexmaterial für Grubennivellierlatten bewährt haben, auch bei der Doppelbilddistanzmessung günstige Resultate ergeben. Bei der Doppelbildtachymetrie erscheinen die Lattenbilder der Teilung und des Nonius in einem Gesichtsfeld und werden durch Überlagerung zur Deckung gebracht. Es war zu vermuten, daß bei Verwendung der für die Herstellung von Grubennivellierlatten dienenden hell-silbernen, stark reflektierenden Folie für Doppelbilddistanzlatten die Ablesestelle infolge Überlagerung der beiden Bilder überstrahlt wird. Eine Überstrahlung verringert den Kontrast der Distanzstriche gegenüber der Lattenteilungsfläche.



ϵ = Lichteinfall- \angle

γ = Beobachtungs- \angle

Bild 9. Versuchsanordnung zur Prüfung der Reflexfolien

Um die in Farbe und Reflexionswirkung sehr unterschiedlichen Reflexstoffe richtig beurteilen zu können, müssen ihre lichttechnischen Eigenschaften bekannt sein. Für die von der Firma Minnesota Mining & Manufacturing Company zur Verfügung gestellten Proben der Reflexfolien „Scotchlite“ wurde jedoch nur der allgemeine Reflexwert für jede einzelne Folienart (entsprechend der Fabrikationsnummer) mitgeteilt. Diese Größe genügt für eine lichttechnische Bewertung der Reflexstoffe nicht. Als sich bei den Vorversuchen herausstellte, daß Reflexfolien, die unter dieselbe Fabrikationsnummer einzuordnen sind, verschiedene Reflexeigenschaften aufwiesen, mußten eigene Untersuchungen zur Erfassung der Rückstrahleigenschaften der einzelnen Folien durchgeführt werden.

Zur Beurteilung der Reflexwirkung der Folien wurden ihre Rückstrahlwerte bei verschiedenen Lichteinfallswinkeln in einem verdunkelten Raum des Instituts für Markscheidewesen bestimmt. Die Messungen erfolgten nach der in Bild 9 dargestellten Meßanordnung. An dieser wurden während der Durchführung der Meßreihen keinerlei Veränderungen vorgenommen. Dadurch war eine wichtige Voraussetzung für den Vergleich der einzelnen Meßergebnisse untereinander erfüllt. Die zu untersuchende Re-

flexfolienprobe wurde an einem Steigertheodolit befestigt und konnte so um ihre senkrechte Achse beliebig gedreht werden, wobei sich der Winkelwert auf 1' genau bestimmen ließ. Als anstrahlende Lichtquelle diente ein Kleinbildprojektor (375 W, 75 V) des VEB Carl Zeiss, Jena, der in 2 m Entfernung von der zu untersuchenden Probe aufgestellt war. Die mittlere Beleuchtungsstärke auf der Probe wurde bei senkrechtem Lichteinfall zu 600 lx gemessen. Durch eine im Projektor eingeschobene Blende war die beleuchtete Fläche auf allen Proben gleich groß (50 cm²). Zur Messung der Beleuchtungsstärken des von der Probe zurückgestrahlten Lichtes wurde das Luxmeter LMI verwendet. Durch seitlich angebrachte Blenden war dafür gesorgt, daß auf das Photoelement nur von der Probe reflektiertes Licht fallen konnte. Für den ersten Teil der Untersuchungen wurde nur der Winkel ι (siehe Bild 9) entsprechend der jeweils gewünschten Lichteinfallrichtung, im allgemeinen alle 5°, zwischen 0° und 50° geändert und der Beobachtungswinkel $\gamma = 1,15^\circ$ konstant gehalten (Anlage 13). Um die Abhängigkeit der Reflexionswirkung von der Größe des Beobachtungswinkels zu zeigen, wurde in einer gesonderten Untersuchung für die Probe Silber 2 der Lichteinfallwinkel konstant $\iota = 0^\circ$ gehalten und der Beobachtungswinkel durch Abstandsänderung des Photoelements von der Verbindungslinie Lichtquelle — Probe von $\gamma = 0,5^\circ$ bis $\gamma = 30^\circ$ um kleine Intervalle variiert (Anlage 13).

Für die Berechnung der Reflexionswerte der Proben wurde der für die lichttechnische Bewertung von Rückstrahlern übliche Leuchtdichtefaktor gewählt, den JAINSKI [69] für die Untersuchungen von Reflexstoffen als Rückstrahlwert B_R bezeichnet. Der Rückstrahlwert gibt an, wie groß die zurückgestrahlte Lichtstärke (cd) der Probe ist, wenn auf ihr je Quadratzentimeter eine Beleuchtungsstärke (lx) von 1 Lux erzeugt wird. In mathematischer Form ergibt sich der Rückstrahlwert durch folgenden Ausdruck:

$$B_R = \frac{E_2 \cdot r^2}{E_1 \cdot f \cdot \cos \iota} \text{ mit der Dimension } \frac{cd}{lx \cdot cm^2}.$$

Hierbei bedeuten: $E_1 = 600$ lx, die mittlere Beleuchtungsstärke auf der Probe bei einem Lichteinfallwinkel ι von 0°, mit ihrer Fläche $f = 50$ cm², $r = 0,5$ m die Entfernung zwischen Probe und Luxmeter, E_2 die unter den verschiedenen Lichteinfallrichtungen jeweils vom Luxmeter angezeigte Beleuchtungsstärke. Um die Ergebnisse in einer geeigneten Größenordnung zu erhalten, wurde mit Millicandela (mcd) = $\frac{1}{1000}$ cd gerechnet.

Die Ergebnisse der Reflexfolienuntersuchung wurden in den Anlagen 12 und 13 graphisch dargestellt. In diesen zwei Anlagen zeigt die Ordinatenachse die Logarithmen der Rückstrahlwerte, während auf der Abszisse die Lichteinfall- bzw. Beobachtungswinkel aufgetragen wurden.

Die vollständige lichttechnische Untersuchung wurde nur bei den Folien durchgeführt, die bei einem Lichteinfallwinkel von 0° eine genügend hohe Reflexionskraft zeigten und die auch in farbiger Hinsicht für Distanzlatten Verwendung finden konnten. Die beste Kontrastwirkung haben die schwarzen Lattenteilungsstriche gegenüber Folien mit weißer, silberner und gelber Farbe. Reflexfolien mit den dunkleren Farben Rot, Grün, Blau eignen sich zum Belegen von Distanzlatten wenig und haben außerdem eine geringere Reflexionskraft. Von den verschiedenen Reflexfolien mit hoher Reflexwirkung

und günstiger Farbe mußten diejenigen ausscheiden, deren Oberflächenstruktur für Distanzlatten nicht geeignet ist. Eine scharfe Lattenteilung kann nur auf Folien mit einer glatten Oberfläche aufgebracht werden. Außerdem verschmutzen diese Folien weniger und lassen sich leichter reinigen. Dieser Gesichtspunkt darf nicht unberücksichtigt bleiben, da in der Grube der Staub- und Feuchtigkeitsgehalt meist sehr hoch und damit die Verschmutzungsgefahr sehr groß ist. Unter Berücksichtigung dieser Bedingungen kommen für Distanzlatten nur die Flat-top-Folien Silber und Gelb in Frage. Die Oberflächenstruktur der normalen Reflexstoffe sowie der Spitzwinkelfolien ist nicht homogen, sondern weist zwischen den Kugeln kleine Vertiefungen auf und entspricht etwa der Oberfläche eines feinen Schmirgelpapiers. Da die Spitzwinkelfolien die größte Reflexionswirkung aufweisen und für die Verwendung von Zielzeichen Bedeutung erlangen können, wurde auch von diesen ein Muster mit silberner Farbe untersucht.

Aus der Anlage 12 ist zu erkennen, daß die silbernen Reflexfolien die höchsten Rückstrahlwerte haben. Von diesen Folien weist die Probe S_4 (Spitzwinkelfolie) den höchsten B_R -Wert auf, der doppelt so hoch liegt wie von Probe S_1 . Die Reflexwirkung der Spitzwinkelfolie nimmt jedoch bei Lichteinfallwinkeln über 15° stark ab, so daß der B_R -Wert bereits bei 20° unter dem der silbernen Folie S_1 liegt. Da die Reflexfolie S_4 eine rauhe Oberfläche hat, ist sie für Distanzlatten ungeeignet. Infolge des hohen Reflexwertes wird diese Folie dagegen gut für bestimmte Zielzeichen verwendbar sein. Die starke Abnahme der Reflexionskraft mit dem Lichteinfallwinkel wird sich für diesen Zweck kaum ungünstig auswirken, da man die Zielzeichen zum Instrument und damit zur Lichtquelle ausrichtet. Die anderen silbernen und die gelbe Folienprobe unterscheiden sich in der Größe des Rückstrahlwertes nur wenig und zeigen bis zu Lichteinfallwinkeln von 40° und 50° nur einen geringen Abfall der Reflexionswirkung. Nur die silberne Folie mit starkem Gelbanteil (S_5) weist bei Veränderung des Lichteinfallwinkels zwischen 0° und 5° ein stärkeres Absinken des Rückstrahlwertes auf.

Zur Herstellung von Reflexnivellierlatten werden meistens die silbernen Weitwinkelfolien mit glatter Oberfläche S_2 und S_3 verwendet. Zum Vergleich wurde auch in das Diagramm der Rückstrahlwert der normalen Dimeblatte (weiß lackiertes Stahlblech) eingezeichnet. Der Kurvenverlauf zeigt gut die Rückstrahlwirkung einer gemischt (teils gerichtet, teils diffus) reflektierenden Oberfläche. Bei einer Veränderung des Lichteinfallwinkels von 0° bis 5° verringert sich die Reflexionswirkung um über zwei Drittel. Aus der in Anlage 12 gezeigten Abhängigkeit des Rückstrahlwertes von der Größe des Lichteinfallwinkels ist zu erkennen, welchen Einfluß die Schiefstellung oder Verdrehung einer Reflexlatte gegenüber der Lichteinfallrichtung auf die Helligkeitsveränderung der Latte hat. Der allgemeine Kurvenverlauf in der Anlage 13 zeigt, daß die Größe des von den Reflexfolien zurückgestrahlten Lichtstromes sehr stark vom Beobachtungswinkel abhängt. Aus dieser Abhängigkeit ersieht man, daß die Reflexfolien infolge ihres Aufbaus den aufgestrahlten Lichtstrom zur Lichtquelle nur in einem sehr kleinen Streukegel zurückwerfen. Zur Erreichung einer optimalen Reflexionswirkung durch die Folien muß der Beobachtungswinkel, d. h. der seitliche Abstand zwischen Lichtquelle und Meßinstrument, so klein wie möglich gehalten werden. Bei Beobachtungswinkeln bis zu $\approx 2^\circ$ führt eine Verdoppelung des Abstandes zwischen Lichtquelle und Meßinstrument zu einer ungefähr zehnfachen Verringerung des Rück-

strahlwertes. Werden bei markscheiderischen Messungen Zielgeräte mit Reflexfolien verwendet, darf die Lichtquelle zum Anstrahlen der Reflexstoffe sich nicht neben dem Meßinstrument befinden, sondern muß daran möglichst in der Nähe des Fernrohrs befestigt sein.

Zur Festlegung der geeignetsten Reflexfolie für Doppelbilddistanzlatten mußten neben der Bestimmung der Rückstrahlwerte der einzelnen Folien auch Versuchsmessungen mit einem Doppelbildtachymeter durchgeführt werden. Durch diese Messungen konnte festgestellt werden, wie sich die verschiedenen Reflexfolien bei Überlagerung der beiden Zielbilder im Fernrohr Gesichtsfeld verhalten. Die Untersuchungen erfolgten mit einem Theo 030 und zwei Dimeßkeilen auf der Prüfstrecke im Flur des Instituts für Markscheidewesen. Die verschiedenen Reflexfolienproben wurden in zwei Teile geteilt und auf jedem einige Distanzstriche (Breite und Länge der Striche wie auf der Dimeßhandlatte) gezeichnet, wobei entsprechend der Dimeßlatte die eine Seite geschwärzt wurde. Die Gegenschwärzung bei den Teilstrichen erwies sich als nötig, da sonst bei allen Folien wegen Überstrahlung keine scharfen Strichkanten zu erkennen gewesen wären. Die beiden Teilstücke wurden so an einer Latte befestigt, daß sie entsprechend der Meßdistanz gegeneinander vorschoben und dann mit dem Dimeßkeil zur Koinzidenz gebracht werden konnten. Mit jeder der 5 verschiedenen Reflexfolienproben wurden auf 6 Standpunkten bei Entfernungen von 4, 8, 20, 24, 31 und 35 m jeweils 2 Meßreihen mit 10 Koinzidenzen beobachtet. Die Beleuchtung der Folien erfolgte mit einer Stablampe vom Theodolit aus. Die aus den 10 Ablesungen jeder Reihe berechneten mittleren Fehler einer Koinzidenz wurden für jede Probe und Entfernung gemittelt und in Tabelle 3 eingetragen.

Tabelle 3

Ent- fernung [m]	Silber 1 [mm]	Silber 2 [mm]	Silber 4 Spitzwinkelfolie [mm]	Silber 5 großer Gelb- anteil [mm]	Gelb [mm]
4	2,3	2,9	7,6	2,2	2,4
8	3,8	4,1	7,1	2,6	2,9
20	8,9	7,0	12,7	4,0	5,4
24	9,8	7,6	13,5	6,2	6,4
31	10,8	8,7	11,0	7,5	6,5
35	11,7	9,0	10,6	8,1	8,1

Aus Tabelle 3 ersieht man, daß die kleinsten Koinzidenzfehler überraschend mit der gelben und der silbernen Reflexfolie S_5 (starker Gelbanteil) erzielt wurden. Mit den silbernen Folien S_1 und S_2 , die sich als Reflexstoff zum Belegen von Nivellierlatten bewährt haben, wurden dagegen höhere Fehler erhalten. Die schlechteren Ergebnisse mit den hell-silbernen Folien sind auf eine teilweise Überstrahlung der Koinzidenzstelle zurückzuführen. Die stärksten Überstrahlungen wurden bei der Spitzwinkelfolie S_4 festgestellt. Die Reflexionskraft dieser Folie ist so groß, daß die Kugeln selbst durch die schwarze Tusche hindurch etwas aufleuchteten. Die Strichgrenzen der Teilstriche bei der Reflexfolie S_4 sowie auch bei den Proben S_1 und S_2 erschienen im Fernrohr Gesichtsfeld ausgefranst.

4.2.4. Messungen mit Reflexdimeßplatten

Die Ergebnisse der Koinzidenzmessungen mit den verschiedenen Reflexfolienproben lassen noch kein endgültiges Urteil über die zur Herstellung von Doppelbilddistanzlatte am besten geeignete Folie zu. Um eine Entscheidung zwischen den in die engere Wahl kommenden Reflexfolien treffen zu können, wurden von den Zeiss-Werken freundlicherweise drei mit verschiedener Reflexfolie versehene Dimeßhandlatten zur Verfügung gestellt. Diese Reflexfolien entsprechen bei der Voruntersuchung den Proben Silber 1, Silber 5 und Gelb. Durch eingehende Vergleichsmessungen mit diesen drei Dimeßreflexlatten konnte die Latte mit der geeignetsten Reflexfolie ausgewählt werden.

4.2.4.1. Untersuchungen über die mit Reflexdistanzlatte zu erreichenden Genauigkeiten

Die Untersuchungsmessungen mit den drei Mustern der Reflexdimeßplatten erfolgten auf der Prüfstrecke in der Lehrgrube mit einem Theo 030 und einem Theo 6.1 mit aufgesetztem Dimeßkeilvorsatz. Die Messungen wurden auf 12 Standpunkten bei Entfernungen zwischen 5 und 60 m durchgeführt. Auf jedem Standpunkt wurden mit dem Theo 030 an jeder Reflexlatte zwei bis drei Meßreihen zu je 10 Doppelkoinzidenzen beobachtet. Mit dem Theo 6.1 wurden die Messungen nur an zwei Latten (2 bis 3 Reihen mit 10 Ablesungen pro Standpunkt) vorgenommen. Für jede Meßreihe wurde das Instrument neu aufgestellt, um voneinander unabhängige Ergebnisse zu erhalten. Die Beleuchtung der Reflexdistanzlatte erfolgte mit einer am Instrument befestigten Stablampe (mit 3 Monozellen). Für jedes Lattenmuster wurden die mittleren Fehler einer Doppelkoinzidenz für die Messungen mit dem Theo 030 in Anlage 14 und mit dem Theo 6.1 in Anlage 15 dargestellt. Aus der Anlage 14 ist ersichtlich, daß die mit dem Lattenmuster 2 (Reflexfolienprobe Silber 5 aus Abschnitt 4.2.3. und 3 (Reflexfolienprobe Gelb) erreichten Koinzidenzgenauigkeiten nur wenig voneinander abweichen. Mit der Latte 2 wurde eine innere Genauigkeit von $m_i = \pm 2,8$ mm bei 10 m (1:3600) und $m_i = \pm 4,5$ mm bei 25 m (1:5600) erreicht, während für den Koinzidenzfehler bei der Latte 3 bei 10 m $m_i = \pm 3,0$ mm (1:3300) und bei 25 m $m_i = \pm 4,8$ mm (1:5200) ermittelt wurden. Dagegen weisen die mit der Latte 1 (Reflexfolienprobe Silber 1, die bei der Reflexnivellierlatte verwendet wird) festgestellten Ergebnisse einen höheren Koinzidenzfehler auf. Er beträgt bei 10 m $m_i = \pm 3,2$ mm (1:3100) und bei 25 m $m_i = \pm 5,8$ mm (1:4300).

Die mit dem Theo 6.1 ermittelten und in Anlage 15 aufgetragenen Koinzidenzfehler erhärten die bei der Messung mit dem Theo 030 erhaltenen Resultate. Als innere Genauigkeit wurde bei 10 m für beide Latten der Wert $m_i = \pm 2,9$ mm (1:3500) festgestellt, während der Koinzidenzfehler der Latte 1 bei 25 m ($m_i = \pm 5,5$ mm $\hat{=} 1:4500$) wieder bedeutend über dem der Latte 2 ($m_i = \pm 4,7$ mm $\hat{=} 1:5300$) liegt. Die mit der Reflexlatte 2 und 3 erreichten Koinzidenzgenauigkeiten sind sehr groß. Sie entsprechen fast den Ergebnissen der Distanzmessung über Tage (Anlage 4) und liegen weit über dem Distanzfehler der Grubenmessung mit der Dimeßhandlatte (1:3900/25 m).

Aus den Anlagen 14 und 15 ist zu ersehen, daß die Koinzidenzfehler bei allen drei Reflexdimeßplatten bei der Messung mit dem Theo 030 bis 50 m und mit dem Theo 6.1 bis 45 m linear verlaufen. Bei größeren Entfernungen steigen die Distanzfehler plötzlich sprunghaft an. Auf die Gründe hierfür wird in Abschnitt 4.2.4.2.2. näher eingegangen.

Da bei Nachtragungszügen größere Längen als 45 m im allgemeinen zu vermeiden sind, können mit den Mustern 2 und 3 der Reflexdimeßhandlatten die für Nachtragungszüge geforderten äußeren Längenmeßgenauigkeiten voll erfüllt werden. Die Reflexfolien dieser beiden Distanzlatten sind als gleichwertig für die Doppelbildentfernungsmessung mit dem Dimeßkeil anzusehen. Es handelt sich hierbei um folgende „Scotchlite“-Weitwinkel-Flat-top-Folien:

- a) Nr. 2271 (Gelb, Lattenmuster 3),
- b) Nr. 2270 (Silber mit hohem gelbem Farbanteil, Lattenmuster 2).

4.2.4.2. Der Einfluß der Beleuchtungsstärke auf den Distanzfehler

Bei den verschiedenen Untersuchungen der Reflexfolien wurde eine starke Abhängigkeit des reflektierten Lichtstromes von der Lichtquelle festgestellt. Bei Beleuchtung der Reflexdimeßplatte vom Instrument aus mit einer normalen Grubenkopflampe konnten einwandfreie Messungen nur bis zu Zielweiten von etwa 25 m durchgeführt werden, während der von einer Stableuchte mit drei Monozellen ausgestrahlte Lichtstrom die Reflexlatte bis zu Entfernungen von ≈ 50 m genügend hell beleuchtete. Die unterschiedliche Eignung der Lichtquellen zum Beleuchten von Reflexfolien hängt von der Leuchtdichte und der Reflektorform ab. Als am günstigsten erwiesen sich Lampen, die eng gebündeltes Licht mit hoher Leuchtdichte, ähnlich einem Scheinwerfer, ausstrahlen. Auf Grund der Ergebnisse der Lichtmessungen mit der normalen Dimeßplatte konnte angenommen werden, daß auch bei Messungen mit der Reflexdimeßplatte der Koinzidenzfehler von der Leuchtdichte der Lampe bzw. von der Beleuchtungsstärke der Latte abhängt.

4.2.4.2.1. Bestimmung der optimalen Beleuchtungsstärke für Reflexdistanzlatten

Die Untersuchungen über den Einfluß der Beleuchtungsstärke auf den Koinzidenzfehler wurden auf der Prüfstrecke im verdunkelten Flur des Instituts für Markscheidewesen durchgeführt. Hierbei wurden ebenfalls die im Abschnitt 4.1.2.1. angeführten Gesichtspunkte berücksichtigt. Die Messungen erfolgten mit einem Theo 030 und zwei Dimeßkeilen in Verbindung mit dem Muster 2 der Reflexdistanzlatte. Als Beleuchtungsquelle diente ein Kleinbildprojektionsapparat von Zeiss (375 W, 75 V). Die Beleuchtungsstärken an der Latte wurden in bestimmten Abständen durch Spannungsreglung und Entfernungsänderung zwischen 2 und 400 lx variiert. Die Einteilung dieser Abstände geschah willkürlich nach der Helligkeitsempfindung. Da bei den Reflexfolien die stärkste Rückstrahlung in Richtung der Lichtquelle erfolgt, mußte versucht werden, die Beleuchtungsrichtung soweit wie möglich mit der Zielrichtung des Theodolits zusammenzulegen. Eine gute Lösung konnte erreicht werden, indem ein Taschenspiegel (10 × 6 cm) so nahe wie möglich an die Ziellinie gebracht und von dem in Nähe der

Distanzlatte befindlichen Projektionsapparat angestrahlt wurde. Durch Drehen des Spiegels und Veränderung des Aufstellungspunktes der Beleuchtungsquelle ließen sich die einfallenden Lichtstrahlen in ausreichender Annäherung mit den Zielstrahlen vereinen. Eine im Projektionsapparat angebrachte Blende begrenzte den Lichtkegel auf die Größe des Spiegels. Die Distanzmessungen erfolgten auf 8 Standpunkten der Prüfbahn zwischen 8 und 35 m. Auf jedem Standpunkt wurden bei jeder Beleuchtungsstärke 2 bis 3 Meßreihen zu je 10 Koinzidenzen beobachtet.

Die Ergebnisse der etwa 2600 Messungen sind in Anlage 16 dargestellt, wobei die eingetragenen mittleren Fehler einer Koinzidenz durch Mittelbildung aus 2 bis 3 Meßreihen bestimmt wurden. Die auf jedem zweiten Standpunkt für die verschiedenen Beleuchtungsstärken erhaltenen Meßwerte wurden durch eine ausgleichende Kurve verbunden. Der Kurvenverlauf in dieser Anlage unterscheidet sich stark von dem der Anlage 8. Bei der Dimeßhandlatte (Anlage 8) fällt der Koinzidenzfehler von 20 lx mit steigender Beleuchtungsstärke stark bis zu 5000 lx ab und zeigt nur ein eng begrenztes (zwischen 4000 und 6000 lx) Minimum. Demgegenüber steigt der Koinzidenzfehler bei der Reflexdimeßlatte (Anlage 16) bei Beleuchtungsstärken unter 20 bis 30 lx nur allmählich. Die günstigste Beleuchtungsstärke für Reflexdimeßplatten liegt zwischen 30 und 100 lx, wobei in diesem Intervall der Koinzidenzfehler von der Beleuchtungsstärke unabhängig ist. Bei Beleuchtungsstärken über 100 lx wächst der Koinzidenzfehler vor allem bei geringeren Entfernungen infolge Blendung und Überstrahlung der Teilstriche. Während bei einer Beleuchtungsstärke der normalen Dimeßlatte von 20 lx die Lattenteilstriche bei Distanzen über 25 m kaum erkannt werden konnten, war die Reflexdimeßlatte bei einer Lattenhelligkeit von 2 lx noch sehr gut beleuchtet. Bei Beleuchtungsstärken unter 2 lx konnte der Verlauf des Koinzidenzfehlers leider nicht weiter verfolgt werden, da das zur Verfügung stehende Luxmeter nur Beleuchtungsstärken bis zu 1 lx anzeigt.

4.2.4.2.2. *Ermittlung der geringsten Beleuchtungsstärke für optische Distanzmessungen mit Reflexlatten*

Für Streckenmessungen mit Reflexdistanzlatten ist es wichtig, den Verlauf des Koinzidenzfehlers auch bei Lattenbeleuchtungsstärken unter 1 lx zu kennen. Wird die Distanzlatte mit einer dreizelligen Stablampe (Beleuchtungsstärke ≈ 600 lx bei 1 m Abstand von der Distanzlatte) beleuchtet, so liegen infolge des quadratischen Entfernungsgesetzes der Photometrie $I = E \cdot r^2$ (wobei I = Lichtstärke der Lichtquelle, E = Beleuchtungsstärke der Latte und r = Abstand zwischen Lichtquelle und Latte bedeutet) die Beleuchtungsstärken an der Latte bei Meßentfernungen über 25 m unter 1 lx. Die Ergebnisse der Streckenmessungen mit den Reflexdimeßhandlatten unter Tage (Abschnitt 4.2.4.1.) zeigten bereits, daß der Koinzidenzfehler mit der Entfernung bei Messungen mit dem Theo 030 bis 50 m (Anlage 14) und mit dem Theo 6.1 bis 45 m (Anlage 15) gleichmäßig wächst und bei größeren Distanzen sprunghaft ansteigt. Zur Verdeutlichung dieses sprunghaften Fehleranstiegs werden die mit beiden Theodoliten ermittelten Koinzidenzfehler in Anlage 17 aufgetragen. Durch die Wahl eines kleineren Entfernungsmaßstabes konnten in dieser Anlage auch die gemittelten Meßwerte bei Entfernungen über 45 bzw. 50 m dargestellt werden. Aus dem Diagramm ist

zu ersehen, daß der Koinzidenzfehler bei Vergrößerung der Meßdistanz von 45 auf 50 m bzw. von 50 auf 55 m fast um das Doppelte ansteigt. Bei einer weiteren Erhöhung der Zielweiten hält das starke Anwachsen des Koinzidenzfehlers an, bis bei Entfernungen von ≈ 60 m infolge zu geringer Lattenhelligkeit eine einwandfreie Ablesung nicht mehr möglich ist.

Um feststellen zu können, von welchen Faktoren das plötzliche starke Ansteigen des Koinzidenzfehlers bei Überschreitung einer bestimmten Meßdistanz (im folgenden als Grenzentfernung bezeichnet) abhängig ist, wurden mit einem Nivellier „Ni 004“ und mit den Nivellieren „Ni 030“ und „Ni 060“ mit vorgesetzten Planplatten Untersuchungsmessungen an verschiedenen Reflexfolienlatten durchgeführt.

Als Beleuchtungsquelle diente eine auf dem Nivellier angebrachte Stablampe mit 3 Monozellen. Mit jedem Instrument wurden auf 8 bis 9 Standpunkten zwischen 10 und 90 m jeweils zwei bis drei Meßreihen mit je 10 Ablesungen beobachtet. Die aus den zwei bis drei Meßreihen berechneten und gemittelten mittleren Fehler einer Ablesung zeigt Anlage 18. Aus dem Kurvenverlauf der Anlage ist ersichtlich, daß auch beim Nivellieren mit Reflexlatten bestimmte Grenzentfernungen vorhanden sind.

Diese Meßergebnisse scheinen die bereits bei den Distanzmessungen mit Dimeßreflexlatten festgestellte Abhängigkeit der Grenzentfernung von der Fernrohrleistung des Instrumentes zu bestätigen. Während die Ablese- bzw. Koinzidenzfehler beim Messen mit dem Ni 060 (Vergrößerung $V = 19$ fach, Eintrittspupille $D = 25$ mm) und dem Theo 6.1 ($V = 20$ fach, $D = 30$ mm) bis zu Entfernungen von ≈ 45 m gleichmäßig wachsen, liegt die entsprechende Grenzentfernung beim Ni 030 ($V = 25$ fach, $D = 35$ mm) und beim Theo 030 ($V = 25$ fach, $D = 35$ mm) bei ≈ 50 m und erhöht sich beim Ni 004 ($V = 44$ fach, $D = 56$ mm) auf ≈ 60 m. Unter der Fernrohrleistung versteht man das Verhältnis der mit dem Instrument beobachteten Sehschärfe zu der Sehschärfe des bloßen Auges [112]. Die Fernrohrleistung ist nur in gewissen Sonderfällen bei den Messungen über Tage der Fernrohrvergrößerung gleichzusetzen. Im allgemeinen hängt jedoch die Fernrohrleistung außer von der Vergrößerung noch von der Lichtstärke der Fernrohroptik sowie von den Beleuchtungsverhältnissen und dem Kontrast des zu beobachtenden Zieles ab.

Obwohl bei den angeführten Messungen mit Reflexlatten ein gesetzmäßiger Zusammenhang zwischen der Grenzentfernung und der „Maßzahl für die Dämmerungsehleistung“ [82, S. 54] $V \cdot D$ (Abschnitt 4.1.2.3.) zu bestehen scheint, wird der durch diesen Wert ausgedrückte instrumentelle Einfluß nur zum geringeren Teil die Grenzentfernung beeinflussen. Das von einer bestimmten Zielweite an sprunghafte Ansteigen der Ablesefehler bei Messungen mit Reflexlatten ist nur durch eine plötzliche Verringerung der Sehschärfe des Auges zu erklären. Da bei den Messungen als Beobachtungsgegenstand immer die im Aussehen und in der Kontrastwirkung gleichen Reflexlatten verwendet wurden, hängt die Sehschärfe zum größten Teil nur von der Lattenbeleuchtung ab. Bei den Distanzmessungen und bei den Untersuchungen mit den Nivellieren wurden zwar die Reflexlatten immer mit derselben Stablampe beleuchtet, jedoch war die benötigte Meßzeit für die einzelnen Instrumente bis zur Erreichung der Grenzentfernung unterschiedlich, so daß von den gleichen Standpunkten aus die Latte infolge der unterschiedlichen Batteriespannung der Stablampe kaum mit der gleichen Beleuchtungsstärke angestrahlt wurde.

Zu einer genauen Ermittlung des Einflusses der Lattenbeleuchtung auf die Größe der Grenzfernung wurden mit einem Ni 030 und einem Theo 6.1 mit Planplattenvorsätzen in Verbindung mit zwei verschiedenen Reflexlatten in der Lehrgrube mehrere Messungen durchgeführt. Auf 6 bzw. 9 Standpunkten zwischen 5 und 43 m Entfernung wurden mit jedem Instrument und jeder Latte bei zwei verschiedenen Beleuchtungsstärken zwei Meßreihen mit je 10 Ablesungen beobachtet. Die Beleuchtung erfolgte vom Instrument aus mit einer Stabtaschenlampe (2,5 V, 0,2 Ah) und mit einer kleinen Grubenhandlampe (2,5 V, 6 Ah). Um die Veränderung der Lattenhelligkeit infolge des Spannungsabfalls zu erfassen, wurde vor Beginn und nach Beendigung jeder Messungsreihe die Beleuchtungsstärke der Lampe mit dem Luxmeter gemessen.

Die aus den Messungsreihen berechneten und gemittelten Fehler einer Ablesung sind aus Anlage 19 ersichtlich. Aus dem Diagramm erkennt man, daß der Ablesefehler bei Anstrahlung der Reflexlatten mit der Grubenhandlampe bei Zielweiten über ≈ 33 m sprunghaft ansteigt, während bei Beleuchtung mit der kleinen Stabtaschenlampe die Grenzfernung für das Ni 030 bei $\approx 17,5$ m und für den Theo 6.1 bei ≈ 15 m liegen. Diese Ergebnisse zeigen, daß die verschiedenen beim Messen mit Reflexfolienlatten auftretenden Grenzfernungen zum größten Teil von der Beleuchtungsstärke der Latte abhängen. Bei gleicher Lattenbeleuchtung kann die Grenzfernung durch Verwendung von Instrumenten mit verschiedener Fernrohrleistung um kleine Beträge verändert werden. Die größere Fernrohrleistung des Ni 030 gegenüber dem Theo 6.1 erhöht den Wert der Grenzfernung von 15 m um $\approx 2,5$ m (Anlage 19). Die in den Anlagen 17 und 20 festzustellende starke Abhängigkeit der Grenzfernung von der Fernrohrleistung ist nur zum Teil auf diese zurückzuführen und wird hauptsächlich durch eine unterschiedliche Lattenbeleuchtung hervorgerufen.

Die Größe der Grenzfernung ist auch vom Rückstrahlwert der Reflexfolien abhängig. Bei den Messungen wurde dieser Einfluß trotz Verwendung von verschiedenen Reflexlatten nur einmal (Anlage 19) festgestellt, da die Reflexfolien der einzelnen Latten keine größeren Unterschiede der Rückstrahlwerte aufwiesen. Nur bei den Messungen mit dem Ni 030 und Beleuchtung durch Grubenhandlampe verkürzte sich bei der gelben Reflexdimeßlatte die Grenzfernung um ≈ 3 m gegenüber den anderen beiden Reflexlatten.

Die Helligkeitsgrenze, von der ab die Sehschärfe stark abnimmt, wurde bei den Messungen mit Beleuchtung durch Grubenhandlampe und Stablampe nach dem quadratischen Entfernungsgesetz der Photometrie berechnet. Die von der Grubenhandlampe (Lichtstärke $J = 200$ lx in einem Abstand von 1 m von der Lampe) an den Reflexlatten bei einer Meßdistanz von $r = 33$ m erzeugte Beleuchtungsstärke ermittelte man nach $E = \frac{J}{r^2}$ zu 0,18 lx, während die mit der kleinen Stabtaschenlampe (gemessene Helligkeit in 1 m Abstand von der Lampe $J = 80$ lx) an den Latten erreichte Beleuchtungsstärke bei 15 m $E = 0,36$ lx und bei 17,5 m $E = 0,26$ lx betrug.

Da bei den ersten Versuchsmessungen mit Reflexfolienlatten (Anlage 18) die für jede Messungsreihe benötigte Meßzeit notiert worden war, konnte nachträglich durch eine Bestimmung des Abfalls der Beleuchtungsstärke der Stablampe (mit 3 Monozellen) mit der Brenndauer die Helligkeit der Stablampe bei Erreichen der Grenzfernung

errechnet werden. Aus der Brenndauer wurden für die Stableuchte folgende Lichtstärken (im Abstand von 1 m von der Lampe) ermittelt:

für die Grenzentfernungen von 45 bis 50 m
für die Grenzentfernungen von 60 m

$$J = 450 \text{ lx,}$$

$$J = 600 \text{ lx.}$$

Die aus diesen Helligkeitswerten berechneten Lattenbeleuchtungsstärken betragen für die Grenzentfernungen von 45 m $E = 0,22 \text{ lx}$, von 50 m $E = 0,18 \text{ lx}$ und von 60 m $E = 0,17 \text{ lx}$. Ein Vergleich dieser Beleuchtungsstärken mit den Werten, die aus den Messungsergebnissen der Anlage 19 abgeleitet wurden, zeigt einen maximalen Unterschied der Beleuchtungsstärken von $0,19 \text{ lx}$. Diese Abweichung kann man für physiologische Messungen als gute Übereinstimmung ansehen. Für alle mit den Reflexlatten durchgeführten Messungen ergibt sich eine mittlere Helligkeitsgrenze von $E = 0,23 \text{ lx}$. Dieser Wert stellt die untere Beleuchtungsstärke für Reflexlatten (Distanz- und Nivellierlatten) dar.

Bei Übertragung der ermittelten Helligkeitsgrenze auf andere Beobachter wird man, wie bei allen physiologischen Grenzen, teilweise größere Abweichungen feststellen, jedoch größenordnungsmäßig dürfte dieser Wert für alle Messenden mit normalen Augen zutreffen.

Die sprunghafte Verringerung der Sehschärfe beim Unterschreiten einer bestimmten Helligkeit läßt sich physiologisch nur durch den Übergang vom Zapfensehen (Tagesehen) zum Stäbchensehen (Nachtsehen) im Auge erklären. Nach SCHÖBER [153] beträgt die Sehschärfe beim Stäbchensehen nur etwa den zehnten Teil des für die Zapfen geltenden Wertes. Die Abhängigkeit der Sehschärfe von der Beleuchtung hat A. KÖNIG [167] näher untersucht. Die Lichteinheit betrug 1 Meterkerze ($\cong \approx 1 \text{ Lux}$) senkrecht auf weißes Papier. Als Einheit der Sehschärfe wurden $60''$ angenommen. Bild 10 zeigt die Ergebnisse von KÖNIG, wobei als Abszissen die Logarithmen der Beleuchtungsstärken und als Ordinaten die Sehschärfe aufgetragen sind. Aus dem Bild ist ersichtlich, daß die Sehschärfenkurve mit wachsender Beleuchtung, ausgehend von $\approx 0,0004 \text{ lx}$, im ersten Teil allmählich geradlinig ansteigt. Bei etwa $0,1$ bis $0,2 \text{ lx}$ biegt die Kurve plötzlich zu einem schnelleren Anstieg ab und läuft bei $\approx 1000 \text{ Lux}$ waagrecht weiter. Den Kurvenknick bei $\approx 0,1 \text{ lx}$ bezieht KÖNIG auf den Beginn des Zapfensehens. Von verschiedenen anderen Autoren wird der Kurvenknick, der im Gebiet des gemischten Sehens (Dämmerungsehen) liegt, nicht durch eine Übergangs-

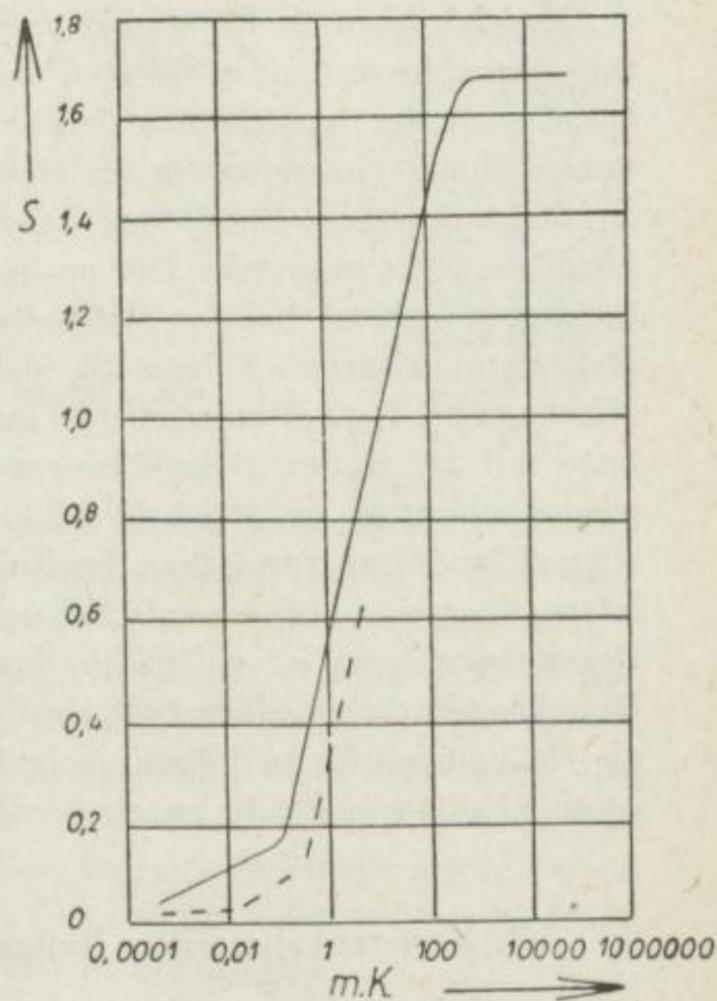


Bild 10. Abhängigkeit der Sehschärfe von der Beleuchtung (mit weißem Licht)

— nach KÖNIG
- - - nach PERZ

funktion, sondern durch eine Gerade wiedergegeben. Dadurch entstehen zwei Knickstellen. Als Beispiel dafür wurde in Bild 10 die Kurve von PERTZ nach [132] gestrichelt eingezeichnet. Nach [123] gibt PERTZ für die beiden Grenzen 0,033 und 0,3 lx an, während BERTLING nach [123] die beiden Knickstellen bei 0,008 und 8 asb, NAGEL und KLUGHARDT [123] bei $\approx 0,03$ und ≈ 3 asb finden. Die teilweise recht unterschiedlichen Angaben zeigen, daß die Meinungen über die Helligkeitsgrenzen ziemlich weit auseinandergehen. Dies liegt zum Teil daran, daß die Autoren für die Untersuchungen verschiedene Sehzeichen benutzten und die Sehschärfe nach der nicht richtig definierten „Erkennbarkeit“ der Sehzeichen beurteilten.

Die von KÖNIG bei $\approx 0,1$ bis 0,2 lx und von PERTZ bei 0,3 lx festgestellten Knickstellen stimmen gut mit der aus den eigenen Messungen ermittelten Helligkeitsgrenze bei $\approx 0,23$ lx überein.

Vergleicht man die Ergebnisse der Helligkeitsmessungen mit den Reflexdistanzlatten mit den entsprechenden Werten der normalen Dimeßhandlatte, so scheinen für die Grenzwerte der Koinzidenzfehlerkurven gewisse Parallelen zu bestehen. Während die untere Helligkeitsgrenze für die Reflexlatten bei $\approx 0,23$ lx liegt, wurden als geringste Beleuchtungsstärke für die normalen Distanzlatten (Teilstriche auf lackiertem Stahlblech) ≈ 20 lx ermittelt. Die optimale Beleuchtungsstärke für die Dimeßhandlatte beträgt ≈ 5000 lx. Bei den Reflexdistanzlatten gibt es keine eng begrenzte günstigste Beleuchtungsstärke (Anlage 18), jedoch dürfte bei den Kurven dieser Anlage das Minimum bei etwa 50 lx zu suchen sein. Wird die Reflexlatte oder die normale Distanzlatte mit zu großen Beleuchtungsstärken angestrahlt, wächst der Koinzidenzfehler wieder sehr stark an. Bei beiden Latten wurde mit Verringerung der Lattenhelligkeit ein gleichmäßiges Anwachsen des Koinzidenzfehlers festgestellt, jedoch sind die Reflexlatten gegen eine abnehmende Beleuchtungsstärke bedeutend unempfindlicher. Aus der Gegenüberstellung ist ersichtlich, daß die Grenzwerte der Beleuchtungsstärken an der Dimeßhandlatte ungefähr 100fach über denen der Reflexlatten liegen. Da andererseits die Reflexfolien bis zu 100mal mehr Licht reflektieren als die normalen Distanzlatten, ist eine Erklärung für die unterschiedlichen Ergebnisse der beiden Lattenarten gegeben.

4.3. Konstruktion einer Reflex-Dimeßhängelatte für Nachtragungszüge

Nachdem die günstigste Reflexfolie zum Belegen von Dimeßgrubenlatten gefunden war, kam es darauf an, eine für Nachtragungszüge mit dem Hängetheodolit besonders geeignete Latte zu entwickeln. Diese Latte mußte so konstruiert werden, daß sie sich schnell und sicher an einen Pfriemen aufstecken läßt. Da sich die Pfriemen entweder im Stempel oder in der Kappe des Ausbaus befinden, scheidet eine horizontale Dimeßlatte zugunsten einer vertikalen aus. Jedoch können die mit einem Planplattenmikrometer versehenen Vorsatzkeile im allgemeinen nur für die zur Zielachse senkrechte Lattenlage verwendet werden, denn die scheinbare Größe des Teilungsintervalls ändert sich bei lotrechter Latte proportional zum Kosinus des Höhenwinkels, so daß eine rechnerische oder mechanische Reduktion des Restintervalls erforderlich wird. Die Aufstellung einer Distanzlatte mit Hilfe eines Diopters senkrecht zum Zielstrahl ist in beengten Grubenräumen kaum schwieriger als die vertikale Lattenaufstellung.

Auf Grund dieser Überlegungen wurde in der Werkstatt des Instituts für Markscheidewesen nach einigen Zwischenlösungen die in Bild 11 ersichtliche Reflex-Dimeßgrubenhängelatte entwickelt. Die Latte hat für Meßentfernungen bis 50 m eine Länge von 69 cm und ist für niedrige Abbauhöhen und Sichten unter 30 m durch Umklappen des unteren Teilstückes auf 49 cm zu verkürzen. Die Kippachse der Latte liegt in der Lage des Noniusnullstriches, wobei dessen Abstand von der Steckhülse mit der Kippachsenhöhe des Hängetheodolits Theo 6.1 übereinstimmt. Zur Rechtwinkligstellung der Distanzlatte dient ein nahe der Kippachse (≈ 3 cm Abstand) angebrachter Richtkollimator. Mit einem gut justierten Richtkollimator läßt sich ein maximaler Verschwenkungsfehler der Distanzlatte von $17'$ einhalten [75]. Kippachse und Diopter sind bei der Dimeßlatte so angeordnet, daß die Fehler infolge Verschwenkung und unsymmetrischer Lage zur Kippachse keinen größeren relativen Streckenmeßfehler als 1:10000 hervorrufen (Abschnitt 5.3.2.). Die Aufstellung der Reflex-Dimeßhängelatte geht sehr schnell und einfach vor sich. Nachdem die gleiche Aufsteckhülse wie beim Hängetheodolit am Pfriemen befestigt ist, muß der Tragrahmen für die Kippachse der

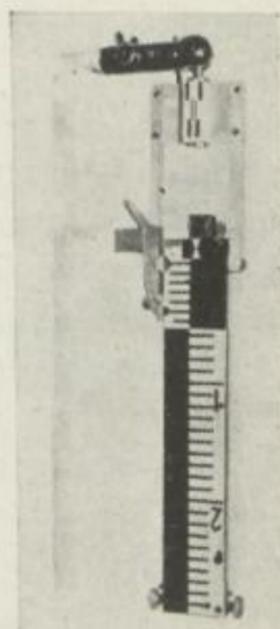


Bild 11

Reflexdimeß-Grubenhängelatte (50 cm lang, bei 20 cm umklappbar)

Latte durch Bewegungen in der Aufhängekugel mit Hilfe einer Dosenlibelle senkrecht gestellt werden. Im Gegensatz zur SCHMIDT'schen Glaslatte kann die Latte nach dem Festklemmen der Aufhängekugel um das mit ihr verbundene Zwischenstück in die gewünschte Zielrichtung gedreht werden. Bei geneigten Visuren ist die gekippte Latte mit einer Klemmschraube an der gradbogenförmigen Metallscheibe, die am Tragrahmen befestigt ist, festzustellen. Als Zielpunkt für die Höhenwinkelmessung dient der in der Kippachse liegende Noniusnullstrich, während für die Horizontalwinkelmessung eine besondere doppelkeilförmige Zielmarke oberhalb des Nonius angebracht wurde. Sollen die Polygonwinkel mit geringerer Genauigkeit gemessen werden, genügt es, an der Latte den Übergang zwischen schwarzer und weißer Teilfläche anzuzielen.

5. Betrachtungen zur entwickelten Distanzmeßausrüstung für unter Tage

5.1. Die Beleuchtungsausrüstung des Hängetheodolits

Bei den bisherigen Messungen mit Reflexlatten wurden diese durch eine am Instrument befestigte elektrische Stabhandleuchte angestrahlt. Diese Lampenanordnung ist höchstens für Grubennivellements geeignet [99]. Für Nachtragungszüge mit einem Hängetheodolit stellt sie nur eine Notlösung für Versuchsmessungen dar.

Die verschiedenen Typen der bekannten Grubenlampen strahlen in der Regel (ausgenommen der Grubenscheinwerfer) kein gebündeltes Licht aus. Diese Lampenausführungen sind auch meist zu groß, um am Theodolit befestigt werden zu können. Da jedoch die Untersuchungsergebnisse der Reflexfolien (Anlage 13) gezeigt haben, daß die Rückstrahlwerte der Reflexstoffe in Richtung des Zielstrahls mit steigendem seitlichem Abstand der Lichtquelle vom Meßinstrument sehr stark abfallen, ist es erforderlich, die Lichtquelle am Theodolit anzubringen. Um eine für den Hängetheodolit geeignete Beleuchtungseinrichtung zu erhalten, wurden zunächst alle im Handel angebotenen elektrischen Stabhandleuchten ausprobiert und die günstigste ausgewählt. Am besten bewährte sich eine chinesische Stableuchte mit zwei Monozellen und einer festen Reflektorhaube. Obgleich bei dieser Lampe das Fokussieren wegfällt, wird mit ihr durch die Verwendung einer geeigneten Glühbirne bei Entfernungen zwischen 2 und 50 m eine gute Lichtpunkteinstellung an der Latte erreicht. Die Helligkeitsverringering, die bei dieser Lampe mit zwei Monozellen (≈ 3 V) gegenüber der bei den Versuchsmessungen benutzten Stableuchte mit drei Monozellen ($\approx 4,5$ V) entsteht, wurde durch die Verwendung eines Akkumulators als Stromquelle fast völlig kompensiert, so daß die Reflexdistanzlatte bis zu Zielweiten von 45 m (Lattenbeleuchtungsstärke 0,22 lx) ausreichend beleuchtet war.

Die chinesische Stablampe wurde in der Werkstatt des Instituts für Markscheidewesen umgebaut und an dem linken Fernrohrträger in der Höhe der Kippachse des Hängetheodolits angebracht (Bild 12). Da eine direkte Kopplung der Scheinwerferlampe mit der Fernrohrkippachse nicht möglich war, ist es bei geneigten Visuren erforderlich, die Stellung der Lampe mit der Hand entsprechend der Fernrohrneigung zu verändern. Dieser Mangel erwies sich jedoch bei den anschließenden Probemessungen im Mansfelder Kupferschieferbergbau als sehr geringfügig.

Die Lampenanordnung am Fernrohrträger begünstigte das Anbringen einer zusätzlichen Lichtquelle zum Beleuchten der Teilkreisablesungen des Theodolits. An Stelle des am gleichen Fernrohrträger befindlichen Lichtauffangspiegels wurde eine Steckfassung für eine Glühbirne befestigt. Am Fernrohrträger unterhalb der Steckfassung liegt die Steckdose. Von dieser gehen zwei Stromleitungen ab. Die eine führt zur Licht-

quelle (2,2 V; 0,2 A) für die Teilkreisbeleuchtung, während die andere die Scheinwerferlampe zum Anstrahlen der Reflexdistanzlatte speist.

Der Strom wird durch das an einem Akkumulator befestigte Kabel zugeführt. Als Stromquelle dient ein normaler Akkumulator (2,4 V; 12 Ah) einer Grubenkopflampe. Da der durch das Kabel mit dem Instrument verbundene Akkumulator einen zügigen Messungsvorgang behindert, sollte er durch eine kleine und leichte Stromquelle mit hoher Leistung ersetzt werden.

Diese Forderung wird in weitem Maße von dem superaktivierten, gasdichten Nickel-Kadmium-Akkumulator der Grubenlampenwerke Zwickau erfüllt. Der hermetische Verschluß dieser Akkumulatoren läßt keinen Elektrolyt ausfließen und verhindert jedes Entgasen, so daß die Stromquelle am oder im Theodolit angebracht werden kann.

Die zur Zeit vorhandene Ausführungsform der Beleuchtungseinrichtung gewährleistet die Schlagwettersicherheit noch nicht. Von der Freiburger Versuchsstrecke wurde

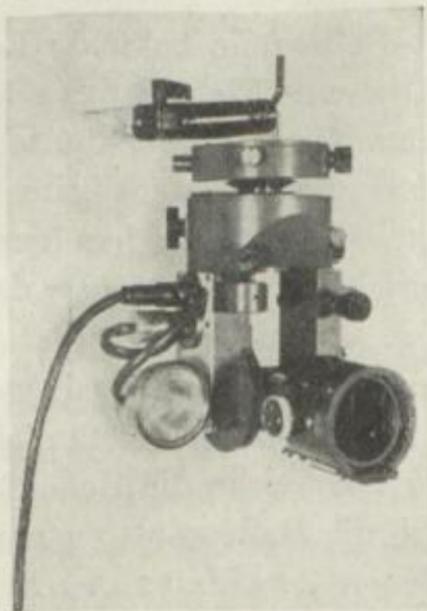


Bild 12. Hängetheodolit 6.1 mit Dimeßkeilvorsatz und Beleuchtungs-ausrüstung

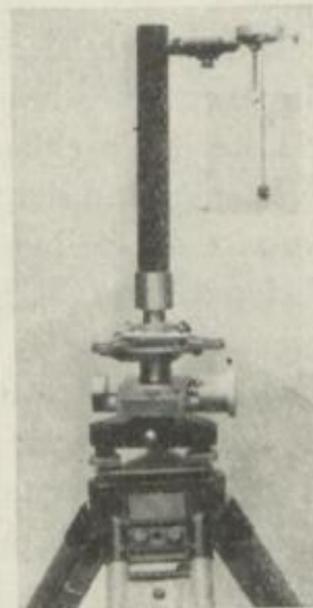


Bild 13. Reflexzielkettchen

die entwickelte Beleuchtungseinrichtung befürwortet. Es sind noch einige Verbesserungen vorzunehmen. So sind die von der Steckdose abgehenden zwei Stromkabel, um Beschädigungen zu vermeiden, hinter der Abschlußplatte des Theodolits entlangzuführen oder bei einer stärkeren Platte in eine besondere Nut einzubetten. Um die Lampe gegen herabfallendes Gestein zu schützen, ist das Gehäuse der Scheinwerferlampe etwas kräftiger zu bauen (ähnlich dem bei der Grubenkopflampe) und eine stärkere Glasscheibe mit höherer Fassungs-wulst zu verwenden. Bei einer Serienfabrikation würde die in der vorgeschlagenen Form verbesserte Beleuchtungseinrichtung für den Hängetheodolit das Zeichen für Schlagwettersicherheit von der Freiburger Versuchsstrecke erhalten.

5.2. Das Reflexzielkettchen

Bei den Probemessungen in den verschiedenen Bergbaubetrieben konnte mit der Distanzmeß-ausrüstung bereits eine mittlere relative Längenmeßgenauigkeit von 1:2000 bis 1:3000 erzielt werden, obgleich die Längen der Nachtragungszüge nur nach

einer Richtung durch ein bis zwei Doppelkoinzidenzen bestimmt wurden. Da die erreichten Streckenfehler weit über den geforderten Genauigkeiten für Nachtragungszüge liegen, ist es nicht nötig, die Längen in beiden Richtungen zu ermitteln, so daß nur eine Reflexdistanzlatte benötigt wird.

Um den Meßgehilfen zum Anleuchten des Zielkettchens einzusparen, wurde versucht, auch das Zielzeichen reflektierend zu gestalten. Da für den im Auge hervorgerufenen Helligkeitseindruck die Leuchtdichte der Reflexfolie maßgebend ist, ist bei Verwendung von Reflexstoffen nicht nur auf deren Aufbau, sondern auch auf die Größe der reflektierenden Fläche zu achten. Es ist also unzweckmäßig, nur das Kettchen und die Kugel des Zielzeichens mit einem Reflexstoff zu versehen. Der von der kleinen Fläche zurückgestrahlte Lichtstrom reicht nur aus, um das Zielkettchen bis zu Entfernungen von ≈ 25 m scharf anzuzielen. Wird dagegen eine größere Reflexfläche hinter dem Zielkettchen als Kontrastscheibe angebracht, so ersetzt die Reflexfolie die Grubenlampe.

Daher wurde hinter dem Zielkettchen eine mit Reflexfolie beklebte Leichtmetallplatte (13×10 cm) angebracht (Bild 13). Die reflektierende Platte ist durch einen Stab mit einer Halterung drehbar und gelenkig verbunden. Wird die Steckhülse so über den Pfriemen gesteckt, daß sich der Einrastknopf unten befindet, besteht keine Gefahr, daß die Reflexplatte die freihängende Zielkugel ablenkt. Durch die vorhandene Dreh- und Kippmöglichkeit kann die Reflexplatte für alle Zielrichtungen gut hinter das Kettchen gebracht werden.

Damit man das Zielkettchen auch bei größeren Entfernungen noch gut erkennen kann, muß die Reflexplatte mit einer hellen, stark reflektierenden Reflexfolie versehen werden. Nach den Untersuchungen im Abschnitt 4.2.3. weisen die Reflexfolienproben S_4 und S_2 die größten Rückstrahlwerte auf. Da sich die Reflexplatte genau senkrecht zum Zielstrahl ausrichten läßt, wurde zum Bekleben der Platte die Reflexfolie S_4 (Scotchlite-Spitzwinkelfolie Silber Nr. 244) verwendet. Die Reflexkraft dieser Folie liegt im Vergleich zur Probe S_2 (Weitwinkelfolie) bei Lichteinfallwinkeln bis zu 10° um ≈ 30 bis 40% höher.

Die Zielgenauigkeit nach dem Reflexzielzeichen wurde durch Einweisen und Einstellen des reflektierenden Zielkettchens auf das Strickkreuz des mit der entwickelten Beleuchtungseinrichtung versehenen Theo 6.1 bestimmt. Die Verschiebungen des Zielzeichens senkrecht zur Zielrichtung wurden mit einem im Institut für Markscheidewesen angefertigten Meßschlitten vorgenommen, wobei ein zweiter Beobachter die Verschiebungsbeträge an der Mikrometertrommel auf $0,01$ mm ablesen konnte. Es wurden mit dem Reflexzielzeichen und vergleichsweise mit dem normalen Zielkettchen (Beleuchtung mit einer elektrischen Kopflampe) auf 4 Standpunkten bei verschiedenen Entfernungen je 5 Reihen zu 10 Beobachtungen gemessen. Die aus den 5 Meßreihen pro Standpunkt berechneten mittleren Zielfehler (Mittelwerte) sind in Tabelle 4 zusammengestellt.

Wie aus dieser Zusammenstellung hervorgeht, unterscheiden sich die Zielfehler nach den beiden Zielkettchen kaum voneinander. Die Untersuchungen zeigen, daß das entwickelte Reflexzielzeichen selbst bei größeren Zielweiten hinsichtlich der mit ihm gewonnenen Genauigkeit (bis ≈ 45 m) dem bisher üblichen von einem Meßgehilfen mit einer elektrischen Lampe beleuchteten Zielkettchen gleichwertig ist.

Tabelle 4. Mittlerer Fehler einer Zielung mit dem Theo 6.1

	Entfernung in m			
	8	15	22	37
normales Zielkettchen	cc $\pm 7,2$	cc $\pm 3,7$	cc $\pm 3,1$	cc $\pm 3,9$
Reflexzielkettchen	$\pm 7,0$	$\pm 2,8$	$\pm 3,2$	$\pm 3,9$

5.3. Fehlereinflüsse

Der folgende Abschnitt enthält eine Beschreibung und Analyse der zu befürchtenden instrumentellen Fehler bei der optischen Streckenmessung mit der entwickelten Distanzmeßausrüstung. Die durch den Beobachter und durch Refraktionseinflüsse bedingten Distanzfehler sind gegenüber den instrumentellen Fehlern klein und können im allgemeinen für Nachtragungs- und Verbindungszüge vernachlässigt werden. Dagegen ist die Kenntnis der vom Instrument und von der Distanzlatte abhängigen, meist einseitig wirkenden Streckenfehler besonders wichtig.

5.3.1. Instrumentenkonstanten

Vor einer optischen Streckenmessung müssen die Instrumentenkonstanten bekannt sein. Treten Abweichungen der Instrumentenkonstanten vom Sollwert auf, so sind diese entweder vor der Messung zu beseitigen oder bei der Messungsauswertung zu berücksichtigen.

Auf die Unveränderlichkeit der Instrumentenkonstanten mußte besonders geachtet werden, um die zu verschiedener Zeit ausgeführten Messungen unmittelbar miteinander vergleichen zu können. Veränderungen der Instrumentenkonstanten können infolge von Temperatur- und Zeiteinflüssen entstehen oder auch vom Beobachter selbst hervorgerufen werden. Die Angaben über das Verhalten der Konstanten von Doppelbildinstrumenten in zahlreichen Veröffentlichungen sind nicht einheitlich. Offenbar lassen die Ergebnisse, die nur in wenigen Fällen aus größeren Messungen mit ausreichendem Zahlenmaterial abgeleitet werden, eindeutige Schlüsse noch nicht zu.

Die Additionskonstante setzt sich beim Dimeßkeil aus zwei Teilen zusammen: dem Abstand des Teilungsträgers der Latte von deren Aufstellungspunkt und der Länge von der Kippachse bis zum Vorsatzkeil. Diese Konstante wird von der Firma durch eine geringe Versetzung der Lattennonien und eine kleine Verschwenkung der Planplatte aus ihrer normalen Lage bei der Trommelstellung Null berücksichtigt. Da der Einfluß der Additionskonstante auf das Messungsergebnis konstant und bei guter Justierung der Planplatte klein ist, kann er meistens vernachlässigt werden. Eine Abweichung dieser Konstante vom Sollwert während der Messung ist nicht zu befürchten, da die vorhandene Justierung sich nicht selbsttätig verändern kann. Beim Distanzmeßkeil „Dimeß 002“ ist die Additionskonstante auf Zeiss-Tachymetertheodolite abgestimmt, so daß bei den Versuchsmessungen mit dem Theo 6.1 ein größerer Betrag ($c \approx -45$ mm) auftrat, der rechnerisch berücksichtigt wurde.

Den stärksten Einfluß auf das Meßergebnis eines Doppelbildtachymeters hat die Multiplikationskonstante, die durch die Größe des parallaktischen Winkels bestimmt

wird. Änderungen dessen können durch verschiedene Einflüsse auftreten und erzeugen einen proportional der Meßentfernung wirkenden Längenfehler. Über die Frage, ob die Multiplikationskonstante eines Doppelbildtachymeters konstant oder in bestimmten Grenzen variabel ist, herrscht noch keine einheitliche Meinung. Die meisten Untersuchungen darüber wurden mit dem Redta durchgeführt, wobei die erhaltenen Ergebnisse sehr unterschiedlich sind.

Zuerst wurde die Ansicht vertreten, daß die Multiplikationskonstante im Bereich der Meßgenauigkeit konstant sei [76] [156] [157] [113]. Die eingehenden Untersuchungen von CREMER [21], BERROTH [11], ULBRICH [174] und SMIRNOFF [159] zeigten jedoch, daß die Größe des parallaktischen Winkels stark temperaturabhängig ist. Auf Grund der überzeugenden Ergebnisse von ULBRICH, der bei 27 von 46 geprüften Redtainstrumenten verschiedenen Alters einen deutlichen Temperaturgang nachwies, untersuchte SCHNEIDER [148] den Temperatureinfluß. Er begründete theoretisch die Kompensation der Lattenausdehnung durch die Vergrößerung des parallaktischen Winkels. Da die bei einer Anzahl von Geräten mit gleicher Optik festgestellten Restfehler verschieden groß waren und durch Messung in beiden Fernrohrlagen (bei Redta sehr umständlich) herausfielen, suchte er die Ursache in mechanischen Unzulänglichkeiten. Einzelheiten darüber werden von SCHNEIDER nicht angegeben. Er behauptet aber, den Zeiss-Werken sei es durch rein mechanische Verbesserungen gelungen, den Temperaturgang zu beseitigen. Die 1944 von TYSOWSKYJ vorgenommenen Untersuchungen an einem Redta der damals neuesten Produktion ergaben jedoch wieder eine Temperaturabhängigkeit der Multiplikationskonstante. Auch in den letzten Jahren wurde in Veröffentlichungen von BÄRO [7], GROSSMANN [49] und BAHNERT [6] auf die Temperaturempfindlichkeit von Doppelbildreduktionstachymetern hingewiesen. Sehr eingehende Untersuchungen über das Verhalten der Multiplikationskonstante führte BAHNERT mit einem Redta 002 durch [6]. Er stellte bei einem Temperaturanstieg von $+10^{\text{grd}}$ und einer Zielweite von 100 m eine Verringerung der Distanzablesung um 1,4 cm fest. Zur Verhinderung des Fehlereinflusses infolge Konstantenänderung wurde teilweise ein sehr umfangreicher Aufwand getrieben. BÄRO [7] hält es für nötig, die Multiplikationskonstante bei Doppelbildtachymetern täglich und eventuell sogar vor und nach der Messung zu kontrollieren.

Über das Verhalten der Multiplikationskonstante bei den Keilvorsätzen sind nur wenige Veröffentlichungen bekannt. Anfang der dreißiger Jahre stellten LÜDEMANN [113] und BERROTH [11] bei Untersuchungen von verschiedenen Dimeßkeilen keinen Temperatureinfluß fest. Da bei den Streckenmessungen unter Tage beim Übergang von einer Frischwetter- zu einer Abwetterstrecke oft in kurzer Zeit starke Temperaturunterschiede zu überwinden sind, ist es nötig, über das Temperaturverhalten der Distanzmeßeinrichtung „Dimeß 002“ genau unterrichtet zu sein.

Bei einem kurzfristigen Wechsel von Temperaturunterschieden muß man neben dem Temperaturgang der Multiplikationskonstante auch das Verhalten des Distanzmessers bei Temperaturspannungen kennen. Im allgemeinen gilt die Faustregel, daß ein Theodolit so viele Minuten zur Temperaturanpassung benötigt, wie die Temperaturdifferenz in Graden beträgt, um unscharfe Bilder und falsche Ergebnisse zu vermeiden [71] [50]. BAHNERT [6] führte Temperaturspannungsuntersuchungen an einem Redta 002 durch. Er stellte überraschend fest, daß die Messungsergebnisse des untersuchten Gerätes durch starke Temperaturdifferenzen nicht beeinflußt wurden.

Die Untersuchungen über das Verhalten von Vorsatzkeilen bei plötzlichem Temperaturwechsel wurden an zwei Dimeßkeilen in Verbindung mit einem Theo 030 und einem Theo 6.1 vorgenommen. Die Anordnung und Durchführung der Messungen erfolgte ähnlich wie bei BAHNERT [6]. Bei einer plötzlichen Abkühlung der vorher erwärmten Instrumente um 33^{grd} bzw. 38^{grd} wurden die Ergebnisse der Distanzmessung nur während der ersten 10 Minuten merkbar beeinflusst. Die Untersuchungen zeigten, daß bei Distanzmessern mit Dimeßkeil der Einfluß der Temperaturspannungen geringer ist, als meistens angenommen wird.

Die Multiplikationskonstante eines Doppelbildtachymeters kann neben der Temperaturempfindlichkeit auch noch einen Zeitgang aufweisen. Unter dem Zeitgang der Multiplikationskonstante versteht man deren Veränderung bei gleichen Temperaturbedingungen durch instrumentell bedingte Ursachen (Abnützungserscheinungen oder Erschütterungen beim Messungseinsatz) oder durch eine Änderung der Koinzidenzauffassung des Beobachters (Abschnitt 7.1.). In der Literatur gehen über diese Frage die Meinungen ebenso auseinander wie über den Temperatureinfluß. Die meisten Autoren, wie BÄRO [7] und SIMMERDING [157], sind der Auffassung, daß man die Instrumentenkonstanten von Doppelbildtachymetern nicht für längere Zeit als fest annehmen kann. GROSSMANN [49] und vor allem BAHNERT [6] vertreten auf Grund der Ergebnisse ihrer zahlreichen Messungen die gegenteilige Ansicht. BAHNERT stellte fest, „daß die im Verlauf des Beobachtungsjahres aufgetretenen Abweichungen innerhalb sehr enger Grenzen liegen, die nur wenig größer als die normale Streuungsamplitude der Beobachtungswerte eines Beobachters sind“ [6, S. 52]. Er nimmt an, daß die von verschiedenen Autoren angeführte Veränderung der Redtakonstanten auf nicht erkannte Temperatureinflüsse oder auf eine mangelhafte Eichung des Gerätes zurückzuführen ist.

Die Untersuchungen über das Verhalten der Instrumentenkonstanten wurden an zwei verschiedenen Dimeßkeilen in Verbindung mit einem Theo 030 und einer Dimeßhandlatte (auf Stativ) auf der Eichstrecke über Tage vorgenommen. Zur Prüfung der beiden Dimeßkeile wurden ungefähr ein Jahr lang jeden Monat mindestens einmal ihre Konstanten bestimmt. Die Beobachtungen fanden bei den verschiedensten Witterungsbedingungen und bei Temperaturen zwischen -1°C und $+30^{\circ}\text{C}$ statt. Für jede Konstantenbestimmung eines Dimeßkeiles wurden auf 11 Standpunkten zwischen 5 und 60 m je 10 Koinzidenzen gemessen. Aus den Abweichungen der Mittelwerte jeder Messungsreihe von den Prüfbahnlängen wurden die mittleren Konstantenverbesserungen pro Messungstag und Dimeßkeil berechnet. Die für die Temperaturen von -1° , $+9^{\circ}$, $+20^{\circ}$ und $+30^{\circ}\text{C}$ pro Standpunkt festgestellten mittleren Konstantenverbesserungen wurden für den Dimeßkeil II/360 in Anlage 20 und für den Dimeßkeil II/342 in Anlage 21 aufgetragen. Die Ergebnisse der Konstantenuntersuchungen zeigen für beide Dimeßkeile keinen Temperaturgang der Multiplikationskonstante. Gleichzeitig wurde festgestellt, daß die im Verlauf der Beobachtungszeit von etwa einem Jahr auftretenden Abweichungen der mittleren Instrumentenkonstanten innerhalb der normalen Streuungsamplitude der Meßwerte des Beobachters liegen. Die geringsten Konstantenveränderungen weist der Dimeßkeil II/342 (Anlage 24) auf, während der Dimeßkeil II/360 vor allem bei kurzen Entfernungen etwas größere Abweichungen zeigt.

Auf Grund der Erkenntnisse der Konstantenuntersuchungen wurde für die entwickelte Distanzmeßausrüstung (Hängetheodolit mit Dimeßkeil und Reflexdimeßlatte) die Konstantenbestimmung auf den Prüfstrecken über und unter Tage je viermal an verschiedenen Tagen durchgeführt. Dabei wurden für jede Messung auf 9 bis 10 Standpunkten zwischen 5 und 45 m je 10 Koinzidenzen beobachtet. Die Abweichungen des Mittelwertes der Koinzidenzen von der Prüfbahnlänge wurden wegen eines Temperaturganges der Multiplikationskonstante für jede Konstantenbestimmung getrennt ausgewertet.

Da beim Versuchsmuster der Reflexdistanzlatte die Reflexfolie auf Vinidur aufgezogen ist, das einen etwa 6fach höheren Ausdehnungskoeffizienten als Stahlblech hat, wird bei dieser Latte die Ausdehnung nicht durch die Vergrößerung des parallaktischen Winkels kompensiert. Zur Vermeidung des Temperaturganges sollten bei einer späteren Serienherstellung die Reflexfolien auf Stahlblech aufgebracht werden. Da die Konstantenbestimmungen bei unterschiedlichen Temperaturen durchgeführt wurden, konnte der Temperatureinfluß der Distanzlatte genau erfaßt und bei den Probenmessungen berücksichtigt werden.

Nach Abschluß aller Messungen mit der entwickelten Distanzmeßausrüstung (nach ≈ 6 Monaten) wurden die Instrumentenkonstanten nochmals durch eine zweimalige Bestimmung überprüft. Dabei lagen die Abweichungen gegenüber dem zu Beginn festgestellten Mittelwert unter Berücksichtigung der Temperaturverbesserung innerhalb der normalen Streuung. Diese Feststellung bestätigt die bereits bei den Temperaturmessungen mit dem Theo 030 erhaltenen Ergebnisse, daß die für einen bestimmten Beobachter ermittelte Multiplikationskonstante des Dimeßkeilvorsatzes während eines größeren Zeitraumes unveränderlich ist.

5.3.2. Lattenfehler

Bei der optischen Streckenmessung wird die Entfernung als Produkt einer verhältnismäßig kleinen Basis mit der Multiplikationskonstante abgeleitet. Ein Fehler der Distanzlatte ruft einen Entfernungsfehler hervor, der ebenfalls gleich dem Produkt aus dem Lattenfehler und der Multiplikationskonstante ist. Die Latte darf daher nur sehr geringe Fehler aufweisen. Damit die vorhandene Genauigkeit eines Distanzmessers voll ausgenutzt werden kann, müssen die aus dem fehlerhaften Lattenabschnitt und der Aufstellung der Latte entspringenden Messungsfehler bedeutend kleiner sein als die durch das Meßinstrument entstehenden Fehler.

Die regelmäßigen Teilungsfehler der Dimeßplatten werden bei der Konstantenbestimmung erfaßt und gehen hier als Maßstabsfaktor ein. Die zufälligen Teilungsfehler wirken sich dagegen als Entfernungsfehler aus. Sie werden jedoch im allgemeinen von der Herstellungsfirma so klein gehalten (nach BOSSHARDT [16] $m = \pm 0,029$ mm bei einer Redtlatte), daß sie im Verhältnis zu den übrigen Messungsfehlern zu vernachlässigen sind. Die bisherigen Angaben über Lattenfehler betreffen jedoch nur die normalen 2-m-Distanzlatten. Bei den Dimeß- oder Redtalandlatten, die für Gebäudeeimmessungen gedacht sind, nimmt BRAUNE [18] einen inneren Lattenteilungsfehler bis zu 0,12 mm an. Da bei den Versuchsmessungen meist eine Dimeßhandlatte verwendet wurde, war es nötig, die Latte sorgfältig auf ihre zufälligen Teilungsfehler zu prüfen.

Die Komparierung der Handlatte erfolgte mit einem sowjetischen Prüfmeter (0,2 mm Unterteilung des gesamten 1 m langen vernickelten Messingstabes), wobei jeder Teilstrich der Teilung und des Nonius zweimal geprüft wurde. Als mittlerer innerer Teilungsfehler der Latte wurde $m_i = \pm 0,016$ mm festgestellt. Dieser Wert ist ungefähr nur halb so groß wie der für die 2-m-Latten.

Bei den Reflexdimeßblättern wurde an Stelle der Lackschicht auf das Stahlblech (Muster 1) bzw. Vinidur (Muster 2 und 3) Reflexfolie geklebt und diese mit der Teilung versehen. Da noch keine Angaben vorliegen, ob die Teilung auf eine Reflexfolie mit der gleichen Genauigkeit wie auf die Lackschicht aufgebracht werden kann, wurden auch die Teilungsgenauigkeiten dieser Latten mit dem Normalmeter überprüft. Die inneren Teilungsfehler dieser Latten liegen zwischen $m_i = \pm 0,020$ bis $\pm 0,024$ mm. Im Hinblick auf das Aufbringen der Lattenteilung ist also die Reflexfolie der Lackschicht gleichwertig.

An eine für die Messungen unter Tage geeignete Distanzlatte müssen besonders hohe Anforderungen in bezug auf Widerstandsfähigkeit gegen mechanische Beanspruchungen und atmosphärische Einflüsse gestellt werden. Bei den über ein Jahr lang durchgeführten Messungen mit Reflexlatten waren an diesen keine Veränderungen festzustellen. Untersuchungen an einer kleineren Reflexlattenprobe ergaben, daß die verarbeiteten Reflexfolien auch bei längerem Verbleiben in den chemisch aktiven Grubenwässern und bei starken Temperaturunterschieden in einem Klimaraum in ihren Rückstrahleigenschaften nicht beeinträchtigt wurden. Die Oberfläche der Folien wird von einer gegen atmosphärische Einflüsse äußerst widerstandsfähigen Lackschicht geschützt. Der Reflexstoff mit seiner Klebeschicht haftet nach deren Aktivierung und Trocknung sehr fest auf dem für Distanzlatten üblichen Stahlblech. Auch gegen starke äußere Beanspruchungen (Anschlagen gegen einen harten Gegenstand) ist die auf Stahlblech aufgeklebte Reflexfolie verhältnismäßig unempfindlich, während bei den normalen Doppelbilddistanzlatten die Lackschicht leicht abblättert. Untersuchungen in einem Kälteraum ergaben, daß bei einem Temperaturunterschied von $\approx 45^{\text{grd}}$ der Ausdehnungskoeffizient des Stahlbleches der Dimeßhandlatte durch den aufgetragenen Reflexbelag nicht verändert wird.

Bei Doppelbilddistanzlatten findet im allgemeinen Holz als Unterlage für die Stahlbänder Verwendung. Holz eignet sich wegen seiner Empfindlichkeit gegenüber Temperatur- und Feuchtigkeitseinflüssen als Tragmaterial für Grubenhängelatten weniger gut. Dagegen bewährte sich bei den Grubenmessungen der für die Dimeßhängelatte verwendete Leichtmetallrahmen sehr gut.

Die richtige Aufstellung der Reflexhängelatte für Nachtragungs- und Verbindungszüge ist mit weniger Schwierigkeiten verbunden als die Aufstellung der Doppelbilddistanzlatte für über Tage. Abweichungen des Rahmens für die Kippachse der Latte aus der Senkrechten ergeben eine Verschiebung des Aufhängepunktes der Distanzlatte aus der Lotrechten des Meßpunktes. Der in die Meßrichtung fallende Anteil der Verschiebung geht voll als Fehler in die Streckenmessung ein. Wird dieser Betrag durch eine fehlerhafte Justierung der am Tragrahmen befindlichen Dosenlibelle hervorgerufen, kann man ihn mit bei der Konstantenbestimmung erfassen und bei der Messung berücksichtigen. Eine seitliche Abweichung des Rahmens aus der Senkrechten führt

zu einer Schiefelage der Lattenkippachse um den Winkel σ . Sie läßt sich beim Dimeßkeil dadurch ausschalten, daß durch entsprechende Keildrehung ein Klaffen oder Überdecken der beiden Teilbilder beseitigt wird. Bei steilen Visuren entsteht trotzdem noch ein Fehler, der die Meßdistanz in der gleichen Größenordnung, jedoch mit anderem Vorzeichen, wie eine nicht senkrechte Einstellung der Dimeßreflexlatte zur Zielrichtung verfälscht. Nach sinngemäßer Umformung aus [66, S. 474] beträgt

$$\Delta s \approx -\frac{s}{2} \left(\frac{\sigma}{\varrho}\right)^2.$$

Da die anderen Lattenaufstellungsfehler in der Regel positiv sind, wirkt dieser Fehler jenen entgegen, und man kann bei ihm ohne weiteres eine etwas höhere Toleranz zulassen. Da es möglich ist, den Tragrahmen mit einer Dosenlibelle auf $\approx 3^c$ genau lotrecht zu hängen, darf dieser Fehlereinfluß vernachlässigt werden.

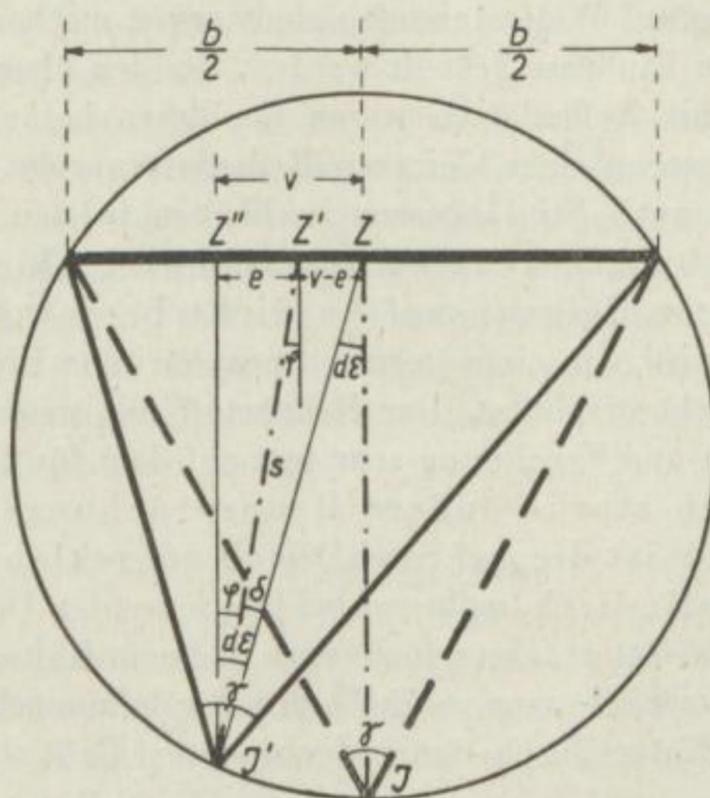


Bild 14. Aufstellungsfehler der Doppelbilddistanzlatte

- Z'' = Lotfußpunkt
- Z' = Zielpunkt
- Z = Halbierungspunkt

Ist die Hängelatte mit dem Richtkollimator nicht senkrecht zur Zielachse eingestellt und schließt mit dieser den vertikalen Verschwenkungswinkel φ ein, entsteht ein die Distanzablesung stets vergrößernder Fehler. Die Verschwenkung der Distanzlatte kann durch ein schlechtes Ausrichten der Latte oder durch einen Justierfehler des Richtkollimators hervorgerufen werden. Der die Entfernung um einen gleich großen und systematisch wirkenden Betrag verfälschende Justierfehler des Richtkollimators kann bei der Konstantenbestimmung oder durch Nachjustieren erfaßt und auf eine zu vernachlässigende Größe herabgedrückt werden. Der vertikale Verschwenkungsfehler der Latte wird in der Regel zusammen mit dem Fehler auftreten, der durch eine unsymme-

trische Lage des Lattenabschnittes zur Lattenkippachse (Lattenaufstellungspunkt) entsteht. Der zuletzt angeführte Fehlereinfluß läßt sich bei den Doppelbildlatten in der Regel (außer bei den Redta- und Dimeßhandlatten) durch eine entsprechende Verschiebung der Latte beseitigen oder sehr klein halten. Da infolge des festen Aufhängepunktes der Dimeßreflex-Hängelatte ein bestimmter Fehler durch die asymmetrische Lage des Lattenabschnittes nicht zu vermeiden ist, sollen die Fehlerauswirkungen näher betrachtet werden.

Die Fehlereinflüsse der Latte sollen in Anlehnung an BRAUNE [18] untersucht werden. In Bild 14 ist bei einer zu messenden Länge $s = J'Z'$ die Latte im Zielpunkt Z' um den Winkel $\varphi = \frac{e}{s} \cdot \varrho$ gegenüber der Senkrechtstellung verschwenkt. Außerdem liegt der Lattenabschnitt unsymmetrisch zum Lattenaufstellungspunkt Z' . Dieses ist gleichbedeutend mit einer Verschiebung des Lattenabschnittes um den Betrag $v^x = (v - e)$. Die beiden Fehler verändern gemeinsam die Meßdistanz um den Wert

$$ds = ds_v + ds_u.$$

Der erste Teil der Gleichung entspricht der Differenz $J'Z'' - J'Z'$ und ergibt nach der Näherungsformel für schlanke rechtwinklige Dreiecke [61]

$$ds_v = -\frac{e^2}{2s} = -\frac{s}{2} \left(\frac{\varphi}{\varrho}\right)^2.$$

Das zweite Glied stellt die Differenz $JZ - J'Z''$ dar und beträgt nach

$$ds_u = s \cdot \cot \varepsilon \frac{d\varepsilon}{\varrho}.$$

Mit hinreichender Genauigkeit ergibt

$$\cot \varepsilon = \cot (100^\sigma + d\varepsilon) \approx \frac{d\varepsilon}{\varrho},$$

und da

$$\frac{d\varepsilon}{\varrho} \approx \frac{v}{s},$$

wird

$$ds_u = s \left(\frac{d\varepsilon}{\varrho}\right)^2 = \frac{v^2}{s}.$$

Der gesamte Fehler $\Delta s = ds_e + ds_v$ beträgt also:

$$ds = \frac{v^2}{s} - \frac{e^2}{2s} = s \left(\frac{d\varepsilon}{\varrho}\right)^2 - \frac{s}{2} \left(\frac{\varphi}{\varrho}\right)^2. \quad (7)$$

Ist nur der Fehler durch Unsymmetrie der Lattenaufstellung vorhanden, so wird $\varphi = 0$ und $e = 0$, und es ist:

$$ds_u = ds_v + ds_u = \frac{v^2}{s} = s \left(\frac{d\varepsilon}{\varrho}\right)^2. \quad (8)$$

Im umgekehrten Fall bei reiner Verschwenkung wird $d\varepsilon = \varphi$ und $v = e$

$$ds_v = ds_v + ds_u = \frac{e^2}{s} - \frac{e^2}{2s} = \frac{e^2}{2s} = \frac{s}{2} \left(\frac{\varphi}{\varrho}\right)^2. \quad (9)$$

Die Fehlereinflüsse nach Gleichung (8) und (9) bewirken, getrennt betrachtet, eine stets zu groß gemessene Entfernung.

Die Dimeßhandlatte und die Reflexdimeß-Hängelatte können in der Halterung nicht verschoben werden, so daß stets (außer bei der Handlatte bei $s = 57$ m) ein Distanzfehler infolge Unsymmetrie entsteht. Bei der Handlatte wird dieser Fehler jedoch durch das exzentrisch ($e = 16$ cm) beim Teilungsintervall 12,5 cm angebrachte Spezialdioptr mit Kollimatorauge fast völlig aufgehoben. Infolge der beiden Lattenfehler wird nach Gleichung (7) die Distanz um den Betrag

$$ds = \frac{1}{s} \left[\left(\frac{s}{2} - 12,5 \right)^2 - \frac{16^2}{2} \right]$$

verfälscht. Da dieser Wert maximal nur die Größe von $+0,7$ mm erreicht, kann er vernachlässigt werden.

Bei der Reflexdimeß-Hängelatte führt die Kippachse durch den Noniusnullstrich, daher ist $e = 0$, und der Fehler infolge Unsymmetrie tritt nur allein auf. Die Größe der Verschiebung v^x des Lattenabschnitts l von der Kippachse beträgt bei allen Entfernungen s :

$$v^x = \frac{l}{2} = \frac{s}{200}.$$

Aus der Verschiebung resultiert nach Gleichung (8) ein relativer Streckenfehler von

$$\frac{ds}{s} = \left(\frac{1}{200} \right)^2 = \frac{1}{40000}.$$

Obgleich dieser Fehler einseitig wirkt, kann er gegenüber den anderen Meßfehlern für Nachtragungs- und Verbindungszüge unberücksichtigt bleiben. Durch die günstige Anordnung des Richtkollimators tritt bei der Reflexdimeß-Hängelatte kein regelmäßiger Verschwenkungsfehler auf, jedoch läßt sich ein unregelmäßiger Anteil durch Ungenauigkeit bei der Lattenausrichtung nicht vermeiden. Damit dieser Fehler zusammen mit dem durch die Lattenkonstruktion bedingten Einfluß der Unsymmetrie vernachlässigt werden kann, dürfen diese beiden Fehlereinflüsse keinen größeren relativen Längenmeßfehler als $\approx 1:6000$ für Nachtragungszüge und $\approx 1:11000$ für Verbindungszüge hervorrufen. Daraus ergibt sich ein maximaler Verschwenkungsfehler der Distanzlatte von $\varphi = 34'$ für Nachtragungszüge und $\varphi = 17'$ für Verbindungszüge. Diese Anforderungen können von einem gut justierten Richtkollimator ohne weiteres erfüllt werden [66, S. 472], da in der Grube die Einstellgenauigkeit nach dem Lattenscheinwerfer des Hängetheodolits nicht geringer als unter den Meßbedingungen über Tage ist.

Die durch Ausrichtungsungenauigkeiten auftretende vertikale Verschwenkung oder seitliche Verdrehung der Reflexdimeß-Hängelatte führt zu keiner merkbaren Verminderung der Lattenhelligkeit, aus der sich eine Erhöhung des Koinzidenzfehlers ergeben würde. Erst bei einer Lattenverdrehung über 30° (Anlage 12) nimmt die Reflexionskraft der Reflexfolie stärker ab.

6. Probemessungen mit der entwickelten Distanzmeßausrüstung für Nachtragungszüge

Erst der Einsatz der entwickelten Distanzmeßausrüstung in verschiedenen Bergbaubetrieben erlaubt eine richtige Beurteilung des Instrumentariums. Die Probemessungen erfolgten im Steinkohlenbergbau in Zwickau und im Kupferschieferbergbau in Eisleben. Vor dem Einsatz in der Praxis wurde die Distanzmeßausrüstung auf ihre Funktionsfähigkeit und ihre erreichbare Streckenmeßgenauigkeit zunächst auf der Prüfstrecke in der Lehrgrube überprüft.

An vier Tagen wurde jeweils auf 10 Standpunkten zwischen 5 und 45 m je eine Meßreihe mit 10 Koinzidenzen beobachtet. Die aus den vier Meßreihen pro Standpunkt erhaltenen inneren und äußeren Fehler wurden gemittelt und in Anlage 22 eingetragen. Die erreichte innere Genauigkeit einer Koinzidenz beträgt bei 25 m $m_i = \pm 5,4$ mm (1:4700) und bei 10 m $m_i = \pm 2,8$ mm (1:3600), während für den äußeren Fehler $m_e = \pm 6,8$ mm bei 25 m (1:3700) und $m_e = \pm 3,6$ mm bei 10 m (1:2800) erhalten wurden. Die erreichten äußeren Genauigkeiten liegen weit über dem geforderten Ziel von 1:1000.

Die Probemessungen mit der Distanzausrüstung in Zwickau wurden durch zwei normale Abbaue gelegt. Um die Wirtschaftlichkeit der neuen Distanzmeßausrüstung zu ermitteln, wurden auch die Längen nach der bisher üblichen Methode mit dem Meßband ermittelt und die benötigte Meßzeit festgehalten. Da bei der Meßbandmessung für Nachtragungszüge die Längen nur auf Zentimeter abgelesen werden und Zugspannung, Temperatur und Durchhang nicht berücksichtigt werden, war es für den Genauigkeitsvergleich nötig, die Längen zusätzlich mit einem komparierten Meßband unter Berücksichtigung aller Verbesserungen auf Millimeter zu ermitteln. Der für die Einmessung der Strebfront benötigte Zeit- und Arbeitsaufwand wurde in den Wirtschaftlichkeitsvergleich nicht mit einbezogen, da sich durch die optische Längenmessung keine Änderungen ergeben. Von den Polygonpunkten des Nachtragungszuges wird man weiterhin mit einem Zollstock die Entfernung zum Kohlenstoß ermitteln. Eine Einmessung der Strebfront zwischen zwei Polygonpunkten vom Meßband aus kommt sehr selten vor. Sollte diese Einmessung bei einem Nachtragungszug mit optischer Streckenmessung einmal nötig sein, so ist es am günstigsten, die Sicht zu verkürzen und einen Zwischenpunkt einzuschalten. Bei der optischen Distanzmessung zu den im Abbau seitlich anzuschließenden Hilfspunkten genügt es, die Reflexdistanz-Hängelatte an die betreffenden, durch einen eingeschlagenen Nagel gekennzeichneten Punkte zu halten, um die Strecke mit Zentimetergenauigkeit zu ermitteln.

Die entwickelte Distanzmeßeinrichtung bewährte sich bei der Messung der beiden Nachtragungszüge sehr gut. Die von der Scheinwerferlampe des Theodolits angestrahlte

Reflexdimeß-Hängelatte war bei allen Visuren genügend hell beleuchtet und konnte scharf koinzidiert werden. Selbst bei Sichten durch sehr staubhaltige Wetter, an den Übergabestellen von Schüttelrutschen, konnten noch einwandfreie Messungen durchgeführt werden.

Zur mechanischen Längenmessung von Nachtragungszügen werden außer dem Beobachter im allgemeinen noch drei Arbeitskräfte benötigt: zwei Anleuchter und ein Aufschreiber. Durch den Einsatz der entwickelten Distanzmeßeinrichtung können ein bis zwei Meßgehilfen bei gleicher Leistung eingespart werden. Ist es erforderlich, die Nachtragungsmessung schnell durch den Abbau zu ziehen, sollten zwei Hilfskräfte mitgenommen werden. Nachdem der eine Meßgehilfe die vordere Distanzlatte bzw. das Reflexzielkettchen eingehängt und ausgerichtet hat, kann er die nächsten Punkte vorrichten oder Mächtigmessungen am Stoß durchführen. Der zweite Meßgehilfe bringt die hintere Distanzlatte nach und dient gleichzeitig als Aufschreiber. Führt der Messende das Zugbuch selbst, genügt zum laufenden Nachführen und Ausrichten der Distanzlatte und des Reflexzielzeichens eine Hilfskraft.

Zur Probemessung stand noch kein Reflexzielkettchen und keine zweite Distanzlatte zur Verfügung, daher war ein Meßgehilfe mit dem Anleuchten eines normalen Zielkettchens ausgelastet. Der zweite Meßgehilfe benötigte zum Aufhängen und Ausrichten der Reflexdistanzlatte nur wenig Zeit und konnte mühelos noch die Zugbuchführung übernehmen.

Für die beiden Nachtragungszüge wurden folgende äußere relative Streckenmeßgenauigkeiten erzielt:

mechanische Längenmessung

optische Streckenmessung

1. Messung

$$m_e = \pm 10,3 \text{ mm}/25 \text{ m (1:2400)}$$

$$m_e = \pm 6,6 \text{ mm}/25 \text{ m (1:3800)}$$

2. Messung

$$m_e = \pm 14,2 \text{ mm}/25 \text{ m (1:1700)}$$

$$m_e = \pm 9,1 \text{ mm } 25 \text{ m (1:2700)}$$

Eine Gegenüberstellung der Wirtschaftlichkeit zeigt im Mittel nachstehende Ergebnisse:

bisherige Bandmessung

optische Streckenmessung

erreichte mittlere relative Genauigkeit für 25 m:

$$m_e = 1:2000$$

$$m_e = 1:3200$$

benötigte Meßzeit pro Länge:

$$t_p = 1,2 \text{ min}$$

$$t_p = 1,0 \text{ min}$$

Zeiteinsparung: 20%

benötigte Arbeitskräfte:

4 Mann

3 Mann

Arbeitskräfteeinsparung: 25%.

Die angeführten Meßzeiten berücksichtigen nicht den Aufwand für die Winkelmessung, denn bei dieser ändert sich nichts durch die optische Streckenermittlung. Bei der angegebenen Zeiteinsparung von 20% ist nicht die Meßzeitverkürzung enthalten, die bei der Verwendung einer zweiten Reflexdistanzlatte oder eines Reflexzielkettchens und durch den Einsatz des zweiten Meßgehilfen als Vorrichter entsteht.

Im Mansfelder Kupferschieferbergbau werden zur Zeit die Nachtragungszüge zum größten Teil mit dem Hängezeug gemessen. Im kleinen Bogenstreb ist die Nachtragungsmessung in ihrer Schnelligkeit durch keine andere Meßmethode zu übertreffen. Obgleich die Meßgenauigkeit mit dem Hängezeug weit geringer und die Gefahr, grobe Fehler zu begehen (Eiseneinfluß), bedeutend größer ist als mit einem modernen Hängetheodolit, werden die Kompaßzüge bei Einhaltung bestimmter Sicherungsmaßnahmen noch weiterhin Anwendung finden. In den letzten Jahren wurden zur Erhöhung der Arbeitsproduktivität große Bogenstrebe angelegt, in denen zur Abförderung des anfallenden Haufwerkes Plattenbänder oder Einschienenförderer eingebaut sind. Bei günstigen Lagerungsverhältnissen wurden außerdem Geradstrebe mit Schrapperförderung eingerichtet. Da man in diesen mechanisierten Streben infolge des starken Eiseneinflusses keine einwandfreien Messungen mit dem Kompaß mehr durchführen kann, muß das Hängezeug durch den Hängetheodolit ersetzt werden. Die Längen werden mit einem Meßband ermittelt. Die Aufnahme der Strebfront zwischen den beiden Meßpunkten erfolgt nach rechtwinkligen Koordinaten, wobei von dem lose auf die Sohle gelegten Meßband aus in Abständen von ungefähr drei Metern mit einem Zollstock die Entfernung zur Strebfront bestimmt wird.

Da der Einsatz der optischen Streckenmessung nur in den mechanisierten Streben gegenüber der mechanischen Längenmessung Vorteile verspricht, wurden die Probemessungen mit der verbesserten Distanzmeßausrüstung in einem Plattenband- und in einem Geradstreb durchgeführt. Die 50 cm lange Reflexdimeß-Hängelatte konnte auch an den engsten und niedrigsten Strebstellen aufgehängt werden.

Für die optische Streckenmessung ist eine Strebaufnahme nach rechtwinkligen Koordinaten sehr umständlich. Sie wurde bei den Probemessungen durch die Polarkoordinatenmethode ersetzt. Zur Messung benötigte der Beobachter nur einen Meßgehilfen, da neben der Reflexhängelatte (vorderes Ziel) auch das Reflexzielkettchen (hinteres Ziel) verwendet wurde. Nachdem der Brechungswinkel und die Entfernung zu dem vorderen Zielpunkt gemessen waren, nahm der Meßgehilfe die Distanzlatte vom Pfriemen herunter und hielt sie, indem er langsam zum Instrumentenstandpunkt zurückkam, in Abständen von ≈ 3 m an den Strebstoß. Obgleich die Distanzlatte nur freihändig gehalten wurde, konnte die jeweilige Entfernung schnell auf Zentimeter genau erfaßt werden. In der Zwischenzeit, während der sich der Meßgehilfe von einem Einmeßpunkt zum anderen begab, hatte der Beobachter genügend Zeit zum Ablesen und Aufschreiben des Richtungswinkels. Nachdem die Strebfront bis zum Instrumentenstandpunkt aufgenommen war, wurde der Aufstellungspunkt gewechselt. Während der Einrichtung des Hängetheodolits am nächsten Standpunkt richtete der Meßgehilfe am neuen hinteren Zielpunkt das Reflexzielkettchen und am vorderen Zielpunkt die Reflexhängelatte ein. Durch diese Meßmethode konnte der Beobachter mit einem Meßgehilfen die gleiche Leistung erreichen, die vorher bei der Meßbandmessung mit zwei Hilfskräften erzielt worden war.

Obgleich bei der optischen Streckenmessung die Entfernung nur in einer Richtung durch zwei Koinzidenzen ermittelt wurde, betrug die äußeren Streckenmeßgenauigkeiten bei den zwei Nachtragungszügen $m_e = \pm 17,5 \text{ mm}/25 \text{ m}$ (1:1400) und $m_e = \pm 10,1 \text{ mm}/25 \text{ m}$ (1:2500). Die folgende Aufstellung zeigt den Vergleich der Wirtschaftlichkeit zwischen der mechanischen und optischen Längenmessung:

mechanische Längenmessung	optische Längenmessung
erreichte mittlere relative Genauigkeit für 25 m:	
1:1800	1:1800
benötigte Meßzeit pro Zugseite mit Aufnahme der Strebfront:	
4 bis 5 min	4 bis 5 min
benötigte Arbeitskräfte:	
3 Mann	2 Mann
	Arbeitskräfteeinsparung: 33%

Die Probemessungen mit der entwickelten Distanzmeßeinrichtung zeigten, daß dieses Instrumentarium für die Längenbestimmung bei Nachtragungszügen auch unter schwierigen Verhältnissen sehr gut geeignet ist. Die geforderte relative Streckenmeßgenauigkeit von 1:1000 konnte bei allen Messungen eingehalten werden (sie betrug im Mittel $\approx 1:2600$), obwohl die Längen nur in einer Richtung durch ein bis zwei Doppelkoinzidenzen bestimmt wurden. Gleichzeitig konnten mit der Distanzmeßeinrichtung gegenüber der bisher unter Tage üblichen mechanischen Längenmessung die Meßzeit verkürzt und Arbeitskräfte eingespart werden. Die Beleuchtungseinrichtung am Fernrohrträger des Hängetheodolits bewährte sich sehr gut. Die Kopplung der Scheinwerfer- mit der Teilkreisbeleuchtung trug zur Erhöhung der Sicherheit und Schnelligkeit der Messung bei. Auf Grund der Genauigkeiten, die bei Untersuchungen und Probemessungen mit der entwickelten Distanzmeßeinrichtung erreicht wurden (im Mittel 1:2500 bis 1:3000), erkennt man, daß mit der Distanzmeßeinrichtung auch ein großer Teil der Verbindungszüge gemessen werden kann. Für Verbindungszüge ist es nötig, die Längen zwischen zwei Polygonpunkten nach beiden Richtungen mit je 2 bis 3 Doppelkoinzidenzen zu bestimmen. Da außerdem bei Verbindungszügen in der Regel größere Zugseiten als bei Nachtragungszügen vorkommen, dürfte mit der Distanzmeßeinrichtung eine relative Streckenmeßgenauigkeit von etwa 1:4000 zu erreichen sein. Diese Genauigkeit kann bedeutend erhöht werden, wenn nach Berücksichtigung der im folgenden dargelegten Vorschläge eine neue Grubendistanzlatte konstruiert und der Distanzmeßkeil in Verbindung mit einem Theo 030 angewendet wird.

7. Möglichkeiten zur Erhöhung der Genauigkeit von Doppelbilddistanzmessern

7.1. Fehlereinflüsse des Beobachters

Es ist bekannt, daß vor allem bei der Doppelbilddistanzmessung das Meßergebnis stark von den persönlichen Eigenschaften des Beobachters beeinflußt wird. Die durch den Beobachter hervorgerufenen Fehler kann man aufgliedern in:

1. grobe Fehler,
2. Augenfehler,
3. unregelmäßige Beobachtungsfehler (Koinzidenzfehler),
4. regelmäßige Einstellfehler.

1. Die groben Fehler entstehen infolge ungenügender Kenntnis des Instrumentariums, Unachtsamkeit und Übermüdung. Da diese Fehler bei genügender Sorgfalt zu vermeiden oder durch Kontrollen festzustellen sind, können sie bei den Genauigkeitsuntersuchungen der Doppelbilddistanzmessung unberücksichtigt bleiben.

2. Dem Augenfehler wird bei der Doppelbildmessung ein dominierender Einfluß zugeschrieben. Die Fehler, die durch Unsymmetrie im Bau des Auges hervorgerufen werden, lassen sich in ihrer Auswirkung durch instrumentelle Vorkehrungen stark einschränken. Es muß nur dafür gesorgt werden, daß sich die kreisförmigen Austrittspupillen der beiden Strahlengänge weitgehend überdecken [10]. Beim Dimeßkeil 002 von Zeiss verringert man den Augenlinsenfehler durch symmetrisches Ineinanderlegen der Strahlenbündel auf ein Minimum, so daß bei diesem Gerät so große Abweichungen wie bei den ersten Vorsatzkeilen (nach BOSSHARDT [16] bis 20 cm auf 100 m) ausgeschlossen sind.

Bisher wird in der Fachliteratur in der Regel die Meinung vertreten, daß der Augenfehler bei den einzelnen Beobachtern starke Unterschiede aufweist [50] [66] [16]. Deshalb versteht man auch unter dem persönlichen Fehler im engeren Sinn nur den Augenfehler. Nur wenige Autoren (WALTHER [176], TSCHEBOTAREFF [168] und BAHNERT [6]) stellten keine nennenswerten persönlichen Unterschiede in der Koinzidenzauffassung von mehreren Beobachtern fest.

Vielfach befürchtet man sogar, daß sich der Augenfehler auch für einen Beobachter in kürzeren Zeitabständen ändert [66] [67]. So wurde von IDLER [67] bei Polygonierungsarbeiten mit dem Redta angeordnet, daß zur Vermeidung von systematischen Streckenmeßfehlern jeder Beobachter seinen Augenfehler bei Temperatur- und Witterungsänderungen, spätestens aber alle sieben Tage, neu ermitteln solle.

Dieser große Aufwand zur Erfassung einer Veränderung des persönlichen Augenfehlers scheint jedoch nach den neuesten Untersuchungsergebnissen nicht nötig zu sein.

Bei den über ein Jahr lang sich erstreckenden Redtamessungen von BAHNERT [6] und den eigenen Untersuchungen über das Verhalten der Konstanten von zwei Dimeßkeilen (s. Abschnitt 5.3.1. und Anlagen 20 und 21) wurden keine spürbaren Veränderungen des persönlichen Augenfehlers festgestellt. Es ist also anzunehmen, daß dieser persönliche Fehler für eine längere Zeit konstant bleibt. Die bisher von vielen Beobachtern festgestellten Streuungen der Ergebnisse aus verschiedenen Konstantenbestimmungen sind auf eine ungenügende Ermittlung der Konstanten zurückzuführen. Zur Konstantenbestimmung wurde auf einigen Standpunkten mit unterschiedlichen Entfernungen je eine Messungsreihe mit einer Anzahl von Koinzidenzen (meist zehn) beobachtet, daraus wurden die Verbesserungen abgeleitet. Stellte man bei der nächsten Konstantenbestimmung gegenüber der ersten Differenzen fest, wurde auf eine Veränderung des persönlichen Fehlers geschlossen. Treten die Abweichungen jedoch unregelmäßig auf, ist als Ursache nicht eine Veränderung des persönlichen Augenfehlers, sondern der Koinzidenzfehler anzusehen. Würde sich der Augenfehler sprunghaft verändern, wäre seine Bestimmung zur Verbesserung der Messungsergebnisse zwecklos.

Eingehende Untersuchungen über die Größe des persönlichen Augenfehlers bei verschiedenen Beobachtern führte BAHNERT [6] mit 79 Studenten und Institutsangehörigen durch. Jeder Beobachter ermittelte durch Messung einer Reihe mit 10 Koinzidenzeinstellungen die Länge der Prüfstrecke.

Auf Grund dieser Ergebnisse schlußfolgert BAHNERT, daß der beim Redta vorkommende persönliche Augenfehler in seiner Größe und der Häufigkeit seines Auftretens überschätzt wird, da die Abweichungen von 4 bis 5 cm vom Durchschnittswert für eine Streckenlänge von 100 m nur zu 2% festgestellt wurden. Da BAHNERT die äußere Genauigkeit einer 100-m-Strecke von $m_e = \pm 4$ cm (1:2500) für „die meisten Zwecke der Vermessungspraxis für vollauf ausreichend“ hält [6, S. 51], nimmt er an, daß die für einen bestimmten Redta ermittelte Instrumentenkonstante von einem anderen Beobachter für viele Vermessungsaufgaben ohne weiteres übernommen werden kann.

Diese Schlußfolgerung ist nicht vollkommen richtig. Wenn ein Beobachter A für seine Messungen mit einem Doppelbilddistanzmesser die vom Beobachter B für dieses Instrument ermittelten Konstanten übernimmt, so interessieren die maximal möglichen Abweichungen, die zwischen zwei Beobachtern auftreten können. Nach den oben angeführten Untersuchungsergebnissen von BAHNERT können infolge der persönlichen Augenfehler zweier verschiedener Beobachter Abweichungen bis maximal 8 bis 10 cm vorkommen. Persönliche Augenfehler in dieser Größenordnung erfordern jedoch für alle Vermessungsaufgaben eine individuelle Konstantenbestimmung für jedes Instrument. Da im allgemeinen Durchschnittswerte von mehreren Beobachtern für die Konstanten eines Distanzmessers kaum vorliegen, ist die von BAHNERT gewählte Bezugsgrundlage für die Abweichungen wenig geeignet.

Im Rahmen der am Institut für Markscheidewesen durchgeführten Untersuchungen über das Verhältnis der inneren zur äußeren Streckenmeßgenauigkeit bei Doppelbilddistanzmessern mit Mischbild wurde an verschiedenen Lattenteilungen eine größere Anzahl von Messungsreihen von 12 Studenten und Institutsangehörigen beobachtet. Die erhaltenen Resultate geben ebenfalls Aufschluß über die Größe des persönlichen Augenfehlers der 12 Beobachter. Jeder Beobachter führte auf einer Prüfstrecke über Tage von ≈ 36 m mit einem Theo 030 mit Dimeßkeil an einer Dimeßhandlatte und dem

gezeichneten Muster einer Distanzlatte mit keilförmigen Teilstrichen (Anlage 27) je 10 Meßreihen mit 10 Koinzidenzeinstellungen (5 von rechts und 5 von links) durch. Die Ablesungen an den beiden Latten wurden im Wechsel vorgenommen, um durch den Zeitabstand zwischen den einzelnen Messungsreihen an jeder Latte eine unbeeinflusste Koinzidenzauffassung des Beobachters zu erreichen. Die folgende Tabelle zeigt für jeden Beobachter die Durchschnittswerte aus den 10 Mittelwerten jeder Messungsreihe. Gleichzeitig wurden die maximale Streuung der Mittelwerte jedes Beobachters und die größte Abweichung seines Durchschnittswertes von dem entsprechenden Ergebnis des Beobachters, zu dem die größte Differenz besteht, ermittelt.

Tabelle 5. Dimeß-Handlatte

Beobachter	Durchschnittliche Länge aus 10 Reihen	Maximale Streuung der Mittelwerte der Reihen	Maximale Abweichung der Durchschnittswerte
A	35,947 m	18 mm	6 mm
B	45 m	21 mm	8 mm
C	47 m	15 mm	6 mm
D	50 m	24 mm	8 mm
E	42 m	20 mm	11 mm
F	46 m	16 mm	7 mm
G	49 m	15 mm	7 mm
H	42 m	13 mm	11 mm
I	44 m	20 mm	9 mm
J	46 m	14 mm	7 mm
K	52 m	14 mm	10 mm
L	53 m	18 mm	11 mm
Gesamtdurchschnitt	35,947 m	17 mm	8 mm

Tabelle 6. Dimeßlatte mit keilförmigen Teilstrichen

Beobachter	Durchschnittliche Länge aus 10 Reihen	Maximale Streuung der Mittelwerte der Reihen	Maximale Abweichung der Durchschnittswerte
A	35,955 m	3 mm	5 mm
B	55 m	3 mm	5 mm
C	60 m	3 mm	5 mm
D	57 m	4 mm	3 mm
E	59 m	4 mm	4 mm
F	56 m	4 mm	4 mm
G	57 m	5 mm	3 mm
H	56 m	2 mm	4 mm
I	57 m	4 mm	3 mm
J	58 m	5 mm	3 mm
K	59 m	3 mm	4 mm
L	58 m	5 mm	3 mm
Gesamtdurchschnitt	35,957 m	4 mm	4 mm

Aus den Tabellen erkennt man, daß die Meßergebnisse der Beobachter (durchschnittliche Längen) untereinander nur geringe Abweichungen aufweisen. Die größten Abweichungen infolge des persönlichen Augenfehlers treten bei der Dimeßhandlatte mit Strichteilung auf. Sie liegen für die 12 Beobachter im Maximum bei 11 mm, im Durchschnitt bei 8 mm. Für die Latte mit keilförmigen Teilstrichen betragen die Abweichungen sogar nur maximal 5 mm und durchschnittlich 4 mm.

Dagegen streuen bei der Dimeßhandlatte die von einem Beobachter aus den einzelnen Messungsreihen erhaltenen Mittelwerte sehr stark, obgleich während der Beobachtungszeit die Meßbedingungen nicht verändert wurden. Die mit der Dimeßlatte mit keilförmigen Teilstrichen erzielten Ergebnisse zeigen jedoch kaum einen Unterschied zwischen der maximalen Streuung der Mittelwerte um den Durchschnittswert eines Beobachters und dem persönlichen Augenfehler. Die Größe und das bei den beiden Lattenteilungen unterschiedliche Auftreten der Schwankungen der Mittelwerte aus einer größeren Anzahl von Koinzidenzeinstellungen (meist 10) bei einem Beobachter innerhalb kurzer Zeit, im folgenden als Koinzidenzstreuung bezeichnet, werden unten erörtert.

Die Untersuchungsergebnisse zeigen, daß die bisher bei Doppelbilddistanzmessungen zwischen zwei Beobachtern gefürchteten Abweichungen nur zum geringen Teil an dem unterschiedlichen persönlichen Augenfehler liegen. Die dem persönlichen Augenfehler zugeschriebenen großen Abweichungen sind zum überwiegenden Teil auf die Koinzidenzstreuung zurückzuführen.

Die Koinzidenzstreuung wird auch durch Mängel des Auges hervorgerufen, ist jedoch nicht personengebunden. An der Dimeßlatte mit Strichteilung beträgt der Koinzidenzfehler im ungünstigsten Fall 24 mm (Beobachter D) und liegt im Durchschnitt für alle Beobachter bei ≈ 17 mm, während der persönliche Augenfehler zu 11 mm im Maximum und 8 mm im Durchschnitt ermittelt wurde. Dagegen beträgt bei der Dimeßlatte mit keilförmigen Teilstrichen die Koinzidenzstreuung nur im Maximum 5 mm und im Durchschnitt 4 mm. Diese Werte unterscheiden sich in der Größe kaum von den entsprechenden Werten des persönlichen Augenfehlers.

Die angeführten Untersuchungen von BAHNERT [6] über den persönlichen Fehler wurden aus einer Messungsreihe je Versuchsperson abgeleitet. Dadurch wirkt sich in den festgestellten Abweichungen neben dem persönlichen Augenfehler auch die Koinzidenzstreuung aus. Die gemeinsame Auswirkung dieser zwei Fehler bei den eigenen Untersuchungen (Tabellen 5 und 6) ergeben eine maximale Abweichung von 4 bis 6 cm für eine Entfernung von 50 m. Dieser Betrag entspricht fast dem von BAHNERT ermittelten Resultat.

Auf Grund des unterschiedlichen Verhaltens der Koinzidenzstreuung und des persönlichen Augenfehlers ergeben sich für die Konstantenbestimmung von Doppelbilddistanzmessern folgende Schlußfolgerungen:

Zur Vermeidung von einseitigen Fehlern durch die Koinzidenzstreuung sind die Messungen mit den normalen Dimeßplatten auf den Vergleichsstrecken mehrfach (3- bis 4fach) durchzuführen. Für die Berechnung der Konstantenverbesserungen ist der Durchschnittswert aus den verschiedenen Ergebnissen zu berücksichtigen. Vorteilhaft ist es, die Messungen an verschiedenen Tagen vorzunehmen. Es besteht dann die Möglichkeit, jede Messungsreihe mit unabhängiger Koinzidenzauffassung zu beobachten.

Bei Messungen mit einer Distanzlatte mit keilförmigen Teilstrichen für Symmetrieeinstellung genügt es dagegen, eine Meßreihe je Vergleichsstrecke zu beobachten.

Die aus einer gründlichen Konstantenbestimmung erhaltenen Verbesserungen bleiben für das Instrument längere Zeit gültig und können für viele Vermessungsaufgaben von mehreren Beobachtern mit normalen Augen verwendet werden. Da oft dem Beobachter nicht bekannt ist, ob seine Augen für die Doppelbilddistanzmessung eine Abweichung vom Normalfall aufweisen, sollte er zur Sicherheit seinen persönlichen Augenfehler durch eine eigene Konstantenbestimmung überprüfen.

3. Der unregelmäßige Beobachtungsfehler (Koinzidenzfehler) wird bei Doppelbilddistanzmessungen von folgenden Faktoren beeinflusst: Fernrohrleistung des Distanzmessers, Beleuchtung und Ausführung der Lattenteilung sowie Sehleistung und Grad der Übung des Beobachters.

Der Verringerung des Koinzidenzfehlers und damit der Erhöhung der Meßgenauigkeit setzt die Struktur des menschlichen Auges eine feste Grenze. Diese Grenze wird von vielen Faktoren beeinflusst, da beim Auge die Wahrnehmung und Erfassung von Gegenständen und ihre Trennung von physikalischen, physiologischen und psychologischen Gegebenheiten abhängt. SCHÖBER [153] faßt die wichtigsten Einflüsse wie folgt zusammen: „In physikalischer Hinsicht sind vor allem die Abbildungsgüte und der Einfluß der geometrisch-optischen Aberration und der Lichtbeugung auf das Netzhautbild bedeutsam. Physiologisch spielen die Anordnung des Zapfen- und Stäbchenmosaiks, der Adaptionszustand (einschließlich Lokaladaptation), die Unterschiedsempfindlichkeit und die Irradiation eine Rolle. In psychologischer Hinsicht ist vor allem der Einfluß des Kontrastes, des Formensinns und der Aufmerksamkeit wichtig.“ Da die das Auge beeinflussenden Faktoren kaum konstant sind, ist zu verstehen, daß man mit einem Distanzmesser unter gleichen äußeren Meßbedingungen in der Größe sehr unterschiedliche Ergebnisse erhält. Auch das Auftreten der Koinzidenzstreuung ist teilweise mit dadurch zu erklären.

Beim Koinzidenzfehler der Doppelbilddistanzmesser spielt die Noniussehstärke oder die Größe der Breitenwahrnehmung die wichtigste Rolle. Diese gibt an, welcher Verschiebungsbetrag zwischen zwei Strichen noch zu erkennen ist. Für die Noniussehstärke ist außer dem Abstand der Teilstriche ihre Länge und Dicke maßgebend. Während zwei Lichtpunkte nur dann noch getrennt wahrgenommen werden können, wenn sie unter einem Winkel von $40''$ bis $60''$ erscheinen, erhält man für die Wahrnehmung einer Strichteilung einen viel niedrigeren Grenzwert. Bei der Noniussehstärke ist es nicht erforderlich, daß ein ungereiztes Sehelement zwischen zwei gereizten liegen muß, sondern infolge der mosaikartigen Struktur der Netzhaut (nach HERING [153]) genügt es, wenn von ihr nur zwei oder drei benachbarte Zapfenreihen gereizt werden. Im allgemeinen nimmt man als Grenze für die mittlere Schärfe der Breitenwahrnehmung mit freiem Auge etwa $5''$ an. Die Angaben über die Größe der Breitenwahrnehmung schwanken mehr oder weniger um diesen Betrag, wobei die niedrigsten Werte u. a. von NOETZLI mit $2''$ [129], von HOFE mit $3,5''$ und von EGGERT mit $3,3''$ [16] festgestellt wurden, während die größeren Werte nach HERING und SCHULZ bei $10''$ [16] und nach DOHRMANN bei $25''$ [29] liegen. Nimmt man für die angulare Breitenwahrnehmung für einen geübten Beobachter einen durchschnittlichen Wert von $5''$ an, so

läßt sich der durch die Einstellgenauigkeit bedingte Fehler für die Streckenmessung mit dem Theo 030 mit Dimeßkeil (Vergrößerung $V = 25$ fach, Multiplikationskonstante $K = 100$) nach der folgenden Formel bestimmen:

$$\Delta s = \frac{\varphi \cdot s \cdot K}{\rho \cdot V} \quad (10)$$

Die Zielung bei der Doppelbilddistanzmessung geschieht ohne Fernrohrfäden, deshalb kann nach den Untersuchungen NOETZLIS [129] angenommen werden, daß die Wahrnehmbarkeit umgekehrt proportional der Fernrohrvergrößerung V ist. Aus der Formel (10) ergibt sich für die Entfernung $s = 50$ m eine Einstellgenauigkeit $\Delta s = 4,8$ mm ($\approx 1:10000$). Unter günstigen Meßbedingungen wird eine Breitenwahrnehmung von $\varphi = 3,5''$ zu erreichen sein, so daß sich der Koinzidenzfehler für $s = 50$ m auf $\Delta s = 3,4$ mm ($\approx 1:15000$) erhöht. Bei den eigenen Messungen mit dem Theo 030 mit Dimeßkeil wurde ein Koinzidenzfehler $m_i = 6,9$ mm/50 m ($\hat{=} \varphi = 7,1''$) für über Tage und $m_i = 11,2$ mm/50 m ($\hat{=} \varphi = 11,6''$) für unter Tage bei einer Beleuchtungsstärke von ≈ 1000 lx erreicht. Die durch das Breitenwahrnehmungsvermögen festgestellte Schwelle stellt die obere mit dem Theo 030 mit Dimeßkeilvorsatz zu erreichende Genauigkeitsgrenze dar. Die Genauigkeitsgrenze der Doppelbilddistanzmessung wird durch Wahl einer stärkeren Vergrößerung des Meßinstrumentes kaum zu erhöhen sein, da sich mit der Vergrößerung die Kontrastwirkung und damit die Noniussehstärke wieder verringert.

Zur Erhöhung der Noniussehstärke wurden Versuche mit Farbfiltern durchgeführt. ACKERL [2] stellte fest, daß durch Vorschalten geeigneter Okularfilter die Koinzidenzeinstellungen schärfer auszuführen sind. SCHMIDT [145] wies nach, daß die Noniussehstärke von der Beleuchtungsfarbe abhängt. Sie betrug nach seinen Feststellungen mit unbewaffnetem Auge bei Beleuchtung der Testtafel im weißen Licht $3,6''$, im gelben Licht $2,9''$, im Rotfilterlicht 1 $2,8''$ und $4,4''$ im Rotfilterlicht 2 . Versuchsmessungen mit dem Redta DK-RT von Kern ergaben, daß der Einfluß der Beleuchtungsart auf die innere Genauigkeit sehr gering ist, während die äußere Genauigkeit bei Beleuchtung mit Rotfilterlicht 1 um 28% gesteigert werden konnte. Da diese Ergebnisse nur aus einer geringen Anzahl von Beobachtungen mit einem Instrument (auf 10 Standpunkten je Beleuchtungsart 2 Meßreihen) abgeleitet wurden, ist es fraglich, ob sie sich auch auf die Messungen mit anderen Doppelbilddistanzmessern übertragen lassen.

Die Meßbedingungen unter Tage werden trotz Verwendung monochromatischen Lichts infolge der durch das Breitenwahrnehmungsvermögen des Auges bedingten Schwelle kaum eine viel höhere relative Koinzidenzgenauigkeit als $1:10000$ für eine Entfernung von 50 m zulassen. Da für das untertägige Streckennetz mindestens eine äußere relative Längenmeßgenauigkeit von $1:10000$ erforderlich ist, muß die erreichbare Koinzidenzgenauigkeit (innere Distanzmeßgenauigkeit) bedeutend höher liegen. Es wurde daher untersucht, ob eine andere Art der Koinzidenzeinstellung oder überhaupt der Bestimmung des Lattenabschnittes für Grubenmessungen sich als günstiger erweisen würde.

Auch von anderer Seite wurde bereits darauf hingewiesen, daß eine Genauigkeitssteigerung der Doppelbilddistanzmessung weniger durch eine Verbesserung des Distanzmessers (größere Helligkeit und Vergrößerung des Fernrohres) als durch eine Verringerung der Fehlerquellen bei der Bestimmung des Lattenabschnitts zu erreichen ist.

BOSSHARDT berichtete 1956 [17, S. 70]: „Um noch höhere Genauigkeiten zu erzielen, müßte vor allem danach getrachtet werden, die vorgenannten Fehlerquellen zu verstopfen, d. h. den Hebel dort ansetzen, wo diese herkommen, nämlich auf der Latten-seite.“ PERZ [134] äußerte sich ähnlich, als er feststellte, daß zur Verfeinerung der Doppelbilddistanzmessung der Erfolg in einer Abänderung der Bestimmung des Lattenabschnittes gesucht werden muß.

Es ist bekannt, daß die Sehschärfe unter bestimmten Verhältnissen selbst über die Genauigkeit der Breitenwahrnehmung steigen kann. Nach Angaben verschiedener Autoren liegt die Genauigkeit der Symmetrieeinstellung noch über der der Koinzidenzeinstellung. Dies trifft vor allem bei der Lichtspalteinstellung zu, wo neben der geometrischen Symmetrieeinstellung auch ein photometrischer Vergleich der Intervallhälften stattfindet. Nach GRÖDEL [47] können unter günstigen Meßverhältnissen bei der Lichtspalteinstellung mit Lichtsaumbreiten unter 1% der etwa 8' betragenden Gesamtbreite der Zielfläche Genauigkeiten von weniger als 0,1" durch das unbewaffnete Auge erreicht werden. LEHMANN [93] gibt an, daß durch die Symmetrieeinstellung die Zielgenauigkeit um das Dreifache gegenüber der Koinzidenzeinstellung gesteigert werden kann. Aus Versuchsmessungen mit einem Präzisionsnivellier und verschiedenen Lattenteilungen stellte GUGGENBERGER [51] ebenfalls fest, daß die Einstellmethode, die den Lichthaareffekt ausnutzt, die günstigsten Ergebnisse liefert. Auch nach LEINWEBER [96] ermöglicht der Symmetrieabgleich die geringsten Fehler, sofern Dicke und Abstand der Markenstriche zweckmäßig gewählt sind.

Auf Grund dieser von verschiedenen Autoren festgestellten Ergebnisse wurden Untersuchungen mit 5 verschiedenen Mustern (Anlage 23) von Doppelbilddistanzlatten mit Symmetrieeinstellung vorgenommen.

Die bisher konstruierten Latten für die Distanzmessung mit Vorsatzkeilen und Mischbildern sind auf der einen Hälfte mit der Längenteilung und auf der anderen mit dem Nonius versehen. Für Mischbilder besteht aber kaum ein Grund, den Nonius und die Teilungsstriche nicht ineinanderzulegen, sobald ein geeignetes Teilungsbild geschaffen wird. Bei einem Entwurf von Teilungen für eine unmittelbare Vermischung von Lattenbildern ist auf die bekannte Erscheinung der Doppelbilddistanzmessung mit Mischbildern zu achten, daß beim Aufeinandertreffen von schwarzen Feldern des einen Bildes auf weiße des anderen ein grauer Ton entsteht. Da nach SCHÖBER der Kontrast an den Rändern zwischen Schwarz und Grau schärfer erfaßbar ist als der zwischen Weiß und Grau, muß bei den Lattenbildern von Distanzlatten die zweite Kombination vermieden werden.

Die Lattenmuster 1 und 2 (Anlage 23) wurden nach einem Vorschlag von SIMMERDING [157] gezeichnet, während das Lattenmuster 3 in Anlehnung an das Teilungsbild der Lotalatte entstand. Um die hohe Sehschärfe bei der Lichtspalteinstellung auszunutzen zu können, wurde das Lattenmuster 4 entworfen. Das Lattenmuster 5 hat das gleiche Teilungsbild wie Muster 4. Der Nonius und die Teilung dieses Musters wurden jedoch mit den Anaglyphenfarben Rot und Grün angelegt, um im Doppelbild einen guten Kontrast des schwarzen Keiles oder Spaltes gegen den grünen (erscheint heller als rot) Spalt bzw. Keil zu erhalten. Damit die mit den gezeichneten fünf Lattenmustern erzielten Meßergebnisse mit dem Koinzidenzfehler bei einer normalen Dimeßlatte verglichen werden konnten, wurde auch von dieser Latte eine Probe (Muster 6) auf

Zusammenstellung der untersuchten Lattenmuster

	Ausbildung der Latten- teilung	Ausbildung des Nonius	Art der Ein- stellungen	Vor- bzw. Nachteile	Einstell- genauigkeit, bezogen auf 25 m Meßdistanz
Muster 1	Strichteilung über die gesamte Lattenbreite	kurze Striche	Symmetrie durch Über- deckung von Nonius- mit Teilungs- strichen	genaue Überdek- kung ist schwer zu erfassen	1:2500
Muster 2	schwarze keilförmige Marken	lange Striche	Symmetrie durch Ein- stellung der Striche in die Mitte der Keilmarken	Abschätzung der ge- nauen Mittenein- stellung wirkt sich kaum vorteilhafter als normale Koinzi- denzeinstellung aus	1:5000
Muster 3	schwarze kreisförmige Marken	weiße keil- förmige Mar- ken im dunk- len Umfeld	Symmetrie durch Ein- stellung der Keile in die Mitte der runden Marke	wie Muster 2	1:4700
Muster 4	weiße keilförmige Marken	schwarze keilförmige Marken	Symmetrie durch Einstellung auf schwarze Lichtspalte	Abschätzung gleicher Lichtspalt- breiten ist bei einem dünnen schwarzen Spalt sehr schnell und sicher vorzunehmen	1:6200
Muster 5	grüne keilförmige Marken	rote keilförmige Marken	Symmetrie durch Einstellung auf grüne Lichtspalte	Der durch subtrak- tive Farbmischung entstehende Keil ist nicht schwarz ge- nug, um guten Kon- trast gegen grünen Spalt abzugeben.	1:3100
Muster 6	normale DimeBlatte	normale DimeBlatte	Koinzidenz- einstellung		1:4600

Zeichenkarton dargestellt. Zur besseren Übersicht wurden die 6 Lattenmuster in einer Tabelle zusammengestellt, in der auch die Ergebnisse der Untersuchungen mitgeteilt werden.

Um das günstigste Lattenbild von den 6 auf Zeichenkarton dargestellten Lattenmustern ermitteln zu können, wurden mit einem Theo 030 mit Dimeßkeil an jeder Lattenprobe auf 4 Standpunkten bei Entfernungen zwischen 4 und 20 m zwei Meßreihen zu 10 Einstellungen beobachtet. Die aus den zwei Meßreihen pro Standpunkt berechneten mittleren Fehler einer Einstellung wurden gemittelt, in Anlage 24 eingetragen und für jedes Lattenmuster durch eine ausgleichende Gerade verbunden.

Die besten Messungsergebnisse wurden mit Lattenmuster 4 erzielt. Mit diesem Lattenmuster wurden nicht nur die geringsten Einstellfehler, sondern auch die kleinste Koinzidenzstreuung erreicht. Für die Ablesung wird ein schwarzer Noniuskeil mit der Planplatte des Dimeßvorsatzes so in die Lattenteilung eingestellt, daß sich die beiden Schenkel des Noniuskeilstriches um einen geringen Betrag mit den Keilen der Teilung überdecken. Die Einstellung eines schwarzen Spaltes gegenüber den im Doppelbild grau erscheinenden Keilen ergab im Vergleich zum weißen Lichtspalt eine größere Einstellgenauigkeit. Die schärfste Einstellung wird bei möglichst dünnen Lichthaaren erzielt. Die gewünschten Lichtspaltbreiten, die mit wachsender Meßentfernung etwas vergrößert werden müssen, sind durch geringe Verdrehung des Dimeßkeiles oder durch allmähliche Verringerung des Keilwinkels der Teilung bzw. bei umgekehrtem Lattenbild (weiße Noniuskeile und schwarze Keile der Lattenteilung) durch Verlängerung der Keilstriche der Teilung zu erreichen.

Um beurteilen zu können, ob die Lattenteilung mit Lichtspalteinstellung auch für die Messung unter Tage mit Reflexdistanzlatten gut geeignet ist, wurde das Teilungsbild des Lattenmusters 4 (Keilstriche) auf die für Doppelbilddistanzlatten ausgewählte Reflexfolie gezeichnet. Mit diesem Lattenmuster wurden auf 6 Standpunkten zwischen 5 und 23 m je 4 Meßreihen zu 10 Symmetrieeinstellungen beobachtet. Die Messungen zeigten im verstärkten Maße, daß eine Symmetrieeinstellung mit einem hellen Lichthaar zwischen dem Noniuskeilstrich und den Keilen der Hauptteilung zu höheren (2- bis 3fachen) Einstellfehlern führt als die Einstellung auf einen schwarzen Spalt gegen grauen Untergrund. Die aus den vier Meßreihen pro Standpunkt erhaltenen Fehler einer Einstellung wurden gemittelt und in Anlage 24 eingetragen. Die ausgleichende Gerade dieser Werte liegt sogar noch unter der Fehlerkurve des Lattenmusters 4. Der Genauigkeitsunterschied zwischen diesen beiden Lattenmustern ist auf den größeren Kontrast des schwarzen Lichtspaltes gegen das graue Teilbild bei der Reflexfolie zurückzuführen. Das bei der Normallatte schwach grau erscheinende Doppelbild leuchtet bei den Distanzlatten mit Reflexfolien sehr hell auf.

Die Untersuchungen über den Latteneinstellfehler zeigen, daß durch die Beschränkung des Breitenwahrnehmungsvermögens der Doppelbilddistanzmessung eine Genauigkeitsgrenze gesetzt ist, die durch physiologisch-optische Faktoren (monochromatisches Licht durch Farbfilter) und instrumentelle Mittel (Fernrohrvergrößerung, andere Lattenteilungen) nur noch um einen geringen Betrag höher zu verschieben ist. Die durch das Breitenwahrnehmungsvermögen festgelegte Grenze für die Doppelbilddistanzmessung liegt nach den unter Laboratoriumsbedingungen ermittelten Untersuchungsergebnissen von NOETZLI [129] für ein Instrument mit 25facher Fernrohrvergrößerung

bei 2,0 mm auf 50 m Entfernung (1:25000). Trotz dieser hohen Genauigkeitsgrenze für den Latteneinstellfehler konnte bisher mit den Doppelbilddistanzmessern für eine Strecke von 50 m im allgemeinen nur eine äußere Genauigkeit von 1:5000 bis 1:6000 erreicht werden. Neben dem Koinzidenzfehler wirken sich auf die äußere Genauigkeit noch die Fehlereinflüsse des Instrumentes, der Latte und der Refraktion aus. Der Einfluß dieser Fehler (Abschnitte 7.2. und 7.3.) ist klein genug, um eine äußere Genauigkeit von 1:10000 einhalten zu können. Zur Klärung dieses scheinbaren Widerspruchs wurden Untersuchungen über das Verhältnis zwischen innerer und äußerer Genauigkeit durchgeführt.

Bei den verschiedenen Versuchsmessungen mit dem Theo 030 und dem Theo 6.1 mit Dimeßkeilvorsatz in Verbindung mit einer Dimeßhandlatte wurden größere Schwankungen des Durchschnittswertes einer Meßreihe aus 10 Koinzidenzeinstellungen festgestellt, die wesentlich über der inneren Genauigkeit liegen. Die innere Genauigkeit des Durchschnittswertes einer Meßreihe läßt sich durch eine Anzahl von Koinzidenzeinstellungen erhöhen, da sich der mittlere Fehler des Mittelwertes mit der Quadratwurzel aus der Anzahl der Einzelbeobachtungen verringert. Der im Ergebnis recht sicher erscheinende Mittelwert kann aber ein Augenblickswert sein, der sich bei der kurz darauffolgenden Messung unter den gleichen Bedingungen nicht mehr ergibt. Liegt zwischen den beiden Messungen ein längerer Zeitraum, so deutete man bisher die Veränderungen des Meßergebnisses als Zeitgang der Instrumentenkonstanten oder des persönlichen Fehlers.

Auch wurde als Ursache für diese Schwankungen ein unregelmäßiger Lattenteilungsfehler oder ein Keilfehler der Planplatte des Doppelbildtachymeters angesehen [18]. Treten jedoch bei mehrmaliger Bestimmung einer Prüfstrecke Schwankungen des Durchschnittswertes einer Meßreihe in kurzer Zeit auf, die als Koinzidenzstreuung bezeichnet werden, so lassen sie sich nicht mehr durch irgendeinen Gang oder durch Instrumentenfehler erklären, denn diese Einflüsse können sich bei gleichen Meßbedingungen nicht plötzlich verändern.

Das Auftreten der Koinzidenzstreuung bei Reihenbeobachtungen auf einer Vergleichsstrecke wurde bereits von SIMMERDING [157] und BAHNERT [6] bemerkt. So stellte SIMMERDING bei Redtamessungen auf einer ≈ 60 m langen Prüfstrecke nicht zu erklärende Differenzen zwischen zwei Durchschnittswerten einer Meßreihe bis zu 24 mm fest, während die maximalen Differenzen bei BAHNERT im Durchschnitt von 3 Beobachtern für eine Bezugslänge von 100 m 17 mm betragen. Die Differenzen der Meßergebnisse (Koinzidenzstreuung) streuten im Durchschnitt für die drei Beobachter um das Tagesmittel ($m_{KD} = \pm 0,8$ cm) mehr als doppelt so viel, als nach dem mittleren Fehler des Mittels aus 10 Koinzidenzen ($M_D = \pm 0,3$ cm) zu erwarten war.

Außerdem beobachtete BAHNERT ohne Unterbrechung 80 Koinzidenzen und trennte das Zahlenmaterial in 8 Reihen zu 10 Koinzidenzen. Die errechneten 8 Zwischenwerte streuten nur wenig untereinander und hatten die gleiche Größe wie der mittlere Fehler des Mittels. Das Ergebnis zeigt, daß infolge der ununterbrochenen Messung die Koinzidenzauffassung des Beobachters unverändert bleibt.

Um das Verhalten und die Auswirkungen der Koinzidenzstreuung näher klären zu können, wurde eine größere Anzahl von Untersuchungen über und unter Tage durchgeführt. Auf der Prüfstrecke in der Lehrgrube wurden mit dem Theo 030 mit Dimeßkeil

an der Dimeßhandlatte und an der Latte mit den keilförmigen Teilstrichen auf 6 Standpunkten bei Entfernungen zwischen 10 und 60 m je 11 Meßreihen mit jeweils 10 Koinzidenzeinstellungen beobachtet. Die Ablesungen an den beiden Latten wurden im Wechsel vorgenommen, damit zwischen den Messungen an derselben Latte eine genügende Zeitdifferenz lag, um die Einstellungen für jede neue Reihe mit veränderter Koinzidenzauffassung vornehmen zu können. Für eine ausreichende Lattenbeleuchtung (≈ 3000 lx) sorgten 2 elektrische Scheinwerferlampen. Um die Einwirkung von systematischen Fehlereinflüssen, die dem Temperament und den Gewohnheiten des Beobachters zugeschrieben werden, klein zu halten, wurden ebensoviel Latteneinstellungen von rechts wie von links durchgeführt und auf die gleiche Lage der Koinzidenzstelle der Latte zum Fadenkreuz geachtet. Die Streuung der Durchschnittswerte aus den 10 Koinzidenzen (Koinzidenzstreuung) für beide Latten und bei vier verschiedenen Entfernungen zeigt Anlage 25. Aus dem Kurvenverlauf der 4 Diagramme ist zu ersehen, daß die Koinzidenzstreuung vor allem bei der Dimeßlatte mit Strichteilung und Koinzidenzeinstellung (Meßpunkte durch offene Kreise dargestellt) auftritt, während sie bei der Latte mit Keilstrichen kaum festzustellen ist. Ein systematischer Einfluß der Koinzidenzstreuung ist nicht zu bemerken.

Aus den je Standpunkt für jede Latte festgestellten Abweichungen der Durchschnittswerte der Meßreihe wurde die mittlere Koinzidenzstreuung für eine Reihe mit 10 Koinzidenzen berechnet und für die verschiedenen Entfernungen in Anlage 26 eingetragen. Gleichzeitig wurde für jeden Standpunkt der Durchschnittswert aus den 11 mittleren Fehlern des Mittels, die für jede Reihe aus 10 Koinzidenzen berechnet wurden, mit eingetragen.

Aus der Anlage 26 ist ein lineares Ansteigen der Koinzidenzstreuung mit der Entfernung ersichtlich. Während bei der normalen Dimeßlatte die Koinzidenzstreuung über dreimal ($\approx 3,5$ mal) größer ist ($m_K = \pm 5,5$ mm/25 m $\approx 1:4500$), als nach dem durchschnittlichen mittleren Fehler des Mittels von 10 Koinzidenzen (\bar{M}_i) zu erwarten wäre, zeigen die Meßergebnisse für die Dimeßlatte mit Keilstrichen einen abweichenden Kurvenverlauf. Bei dieser Latte liegt der durchschnittliche mittlere Fehler des Mittels von 10 Koinzidenzen über den Werten der mittleren Koinzidenzstreuung.

Vergleicht man die Ergebnisse der beiden Latten miteinander, so ist festzustellen, daß sich die inneren Genauigkeiten (mittlerer Fehler des Mittels) nur wenig unterscheiden. Die Symmetrieeinstellung mit der Keildimeßlatte ist $\approx 1,2$ mal genauer als die Koinzidenzeinstellung mit der Dimeßstrichlatte. Dagegen bestehen größere Differenzen zwischen der mit beiden Latten erreichbaren äußeren Genauigkeit, die durch die Größe der Koinzidenzstreuung begrenzt wird. Die mittlere Koinzidenzstreuung bei der Keildimeßlatte beträgt bei 25 m $m_K = \pm 0,9$ mm und bei 50 m $m_K = \pm 1,8$ mm (1:28000). Sie ist also ungefähr sechsmal geringer als bei der Dimeßstrichlatte.

Da die in den Anlagen 25 und 26 dargestellten Ergebnisse nur von einem Beobachter erzielt wurden, können sie als Ausnahmefall angesehen werden und besitzen daher nur wenig Aussagekraft. Zur Erhärtung dieser Resultate wurden auf einer Prüfstrecke über Tage von 12 Studenten und Angehörigen des Institutes die bereits bei den Untersuchungen über den persönlichen Augenfehler angeführten Messungsreihen mit einem Theo 030 mit Dimeßkeil und den beiden Distanzlatten beobachtet. Die Tabellen 7 und 8 zeigen für jeden Beobachter die aus seinen 10 Meßreihen berechnete mittlere

und maximale Koinzidenzstreuung sowie die Durchschnittswerte für den mittleren Fehler einer Messung \bar{m}_i und den mittleren Fehler des Mittels \bar{M}_i aus 10 Koinzidenzen.

Die in der Tabelle angegebenen Meßwerte der 12 Beobachter bestätigen die Ergebnisse des Verfassers. An der Dimeßlatte mit Strichteilung ist im Durchschnitt die mittlere Koinzidenzstreuung mehr als doppelt so groß wie der durchschnittliche mittlere Fehler des Mittels von 10 Koinzidenzen. Die maximale Koinzidenzstreuung übertrifft den Fehler \bar{M}_i um das 6- bis 7fache. Der mittlere Fehler des Mittels aus 10 Be-

Tabelle 7. Dimeßhandlatte

Beobachter	mittlere Koinzidenz- streuung m_K	maximale Koinzidenz- streuung	mittlerer Fehler	
			\bar{m}_i	\bar{M}_i
A	$\pm 6,6$ mm	18 mm	$\pm 6,7$ mm	$\pm 2,1$ mm
B	4,2 mm	21 mm	6,5 mm	2,1 mm
C	5,3 mm	15 mm	5,9 mm	1,8 mm
D	6,0 mm	24 mm	6,5 mm	2,1 mm
E	6,4 mm	20 mm	8,4 mm	2,7 mm
F	6,5 mm	16 mm	10,1 mm	3,2 mm
G	5,7 mm	15 mm	8,8 mm	2,8 mm
H	4,8 mm	13 mm	4,8 mm	1,5 mm
I	5,2 mm	20 mm	6,1 mm	1,9 mm
J	6,0 mm	14 mm	6,9 mm	2,2 mm
K	5,8 mm	14 mm	5,6 mm	1,8 mm
L	7,8 mm	18 mm	15,6 mm	4,9 mm
Mittel:	5,9 mm	17 mm	8,1 mm	2,6 mm
	=1:6100			

Tabelle 8. Keildimeßlatte

Beobachter	mittlere Koinzidenz- streuung m_K	maximale Koinzidenz- streuung	mittlerer Fehler	
			\bar{m}_i	\bar{M}_i
A	$\pm 1,1$ mm	3 mm	$\pm 6,4$ mm	$\pm 2,0$ mm
B	1,1 mm	3 mm	3,8 mm	1,2 mm
C	1,1 mm	3 mm	3,4 mm	1,1 mm
D	1,6 mm	4 mm	5,1 mm	1,6 mm
E	1,5 mm	4 mm	4,4 mm	1,4 mm
F	1,3 mm	4 mm	5,8 mm	1,8 mm
G	1,8 mm	5 mm	6,2 mm	2,0 mm
H	0,7 mm	2 mm	5,4 mm	1,7 mm
I	1,8 mm	4 mm	5,3 mm	1,7 mm
J	2,0 mm	5 mm	6,2 mm	2,0 mm
K	1,3 mm	3 mm	5,3 mm	1,7 mm
L	2,1 mm	5 mm	9,1 mm	2,9 mm
Mittel:	1,5 mm	4 mm	5,7 mm	1,8 mm
	= 1:23 800			

obachtungen ist somit bei der Doppelbilddistanzmessung mit Koinzidenzeinstellung eine theoretische Rechengröße, die über die äußere Genauigkeit des Messungsergebnisses wenig aussagt. Ein Vergleich der mittleren Fehler einer Koinzidenzeinstellung mit der mittleren Koinzidenzstreuung zeigt, daß nur durch zwei Koinzidenzen die äußere Genauigkeit erhöht wird. Bei normalen Luft- und Beleuchtungsverhältnissen sind demnach nur zwei bis vier Koinzidenzeinstellungen als voneinander unabhängige Beobachtungen anzunehmen. Bei einer größeren Anzahl von Koinzidenzen ist der Beobachter nicht mehr unbeeinflusst. Das Auge scheint sich die anfangs gefundene Koinzidenzeinstellung zwischen Lattenteilungs- und Noniusstrich leicht und fest einzuprägen, so daß der Beobachter selbst bei großer Konzentration nicht mehr beurteilen kann, ob seine Lattenablesungen systematische Abweichungen aufweisen. Diese einseitige Beeinflussung beim Koinzidieren kann man oft bei einer Unterbrechung während der Beobachtung einer Messungsreihe bemerken. Die nach der Unterbrechung abgelesenen Werte unterscheiden sich im allgemeinen deutlich von den vorher ermittelten.

Die Untersuchungsmessungen mit der Dimeßlatte mit Keilstrichen ergaben dagegen im Durchschnitt nur den vierten Teil der mittleren und maximalen Koinzidenzstreuung der normalen Dimeßlatte. Die mittlere Koinzidenzstreuung liegt bei der „Keil“-Dimeßlatte im Durchschnitt noch unter dem mittleren Fehler des Mittels von 10 Koinzidenzen, so daß in diesem Fall der Fehler M_i noch ein Maß für die äußere Genauigkeit darstellt. Aus dem Verhältnis des mittleren Fehlers einer Koinzidenz \bar{m}_i zur mittleren Koinzidenzstreuung erkennt man, daß bei dieser Latte eine Erhöhung der äußeren Genauigkeit noch bei 10 bis 14 Symmetrieeinstellungen zu erwarten ist. Vergleicht man die mittleren Fehler \bar{m}_i und \bar{M}_i der beiden Latten miteinander, so ist eine 1,4fache Erhöhung des inneren Distanzfehlers der normalen Dimeßlatte gegenüber der „Keil“-Dimeßlatte festzustellen. Die Verwendung einer Dimeßlatte mit keilförmigen Teilstrichen und Symmetrieeinstellung hat also weniger Bedeutung zur Verbesserung der inneren Meßgenauigkeit als zur Verringerung des äußeren Distanzfehlers.

Wegen der geringen Koinzidenzstreuung bei der „Keil“-Dimeßlatte (1,5 mm/36 m) besteht bei ihrem Einsatz die Möglichkeit, den Fehlereinfluß des Beobachters auf die äußere Längenmeßgenauigkeit durch 10 Symmetrieeinstellungen auf 1:20000 zu verringern. Diese hohe mit der „Keil“-Dimeßlatte erzielte Meßgenauigkeit darf nicht mit der erreichbaren äußeren Genauigkeit gleichgesetzt werden. Aus der Größe der Koinzidenzstreuung ist nur zu erkennen, welche Grenze der Fehlereinfluß des Beobachters einer Steigerung der äußeren Genauigkeit setzt. Die Koinzidenzstreuung setzt sich aus dem unregelmäßigen Koinzidenzfehler und einem Teil des systematischen Einstellfehlers zusammen. In die Koinzidenzstreuung gehen von den Fehlereinflüssen des Beobachters nicht ein: der persönliche Augenfehler, dessen Einfluß bei einer richtigen Konstantenbestimmung sehr klein gehalten werden kann, und der andere Teil des systematischen Einstellfehlers (Temperamentsfehler) sowie der Refraktionsfehler.

Die Überlegenheit der Symmetrie- gegenüber der Koinzidenzeinstellung für eine Doppelbilddistanzlatte mit Mischbild wird durch die mit einem Theodolit 030 mit Lotakeil und einem Versuchsmuster der Lotagrubenlatte erzielten Messungsergebnisse

bestätigt (Abschnitt 3.2.3.). Aus den Abweichungen der Durchschnittswerte der Meßreihen (auf 9 Standpunkten je 4 bis 5 Meßreihen mit 10 Einstellungen) wurde nach der Näherungsformel $\lg(1+x) \approx 0,43429 x$ eine mittlere Koinzidenzstreuung

$$m_K = \frac{6,1 \cdot 10^{-5} \cdot s}{0,4343}$$

in Meter berechnet, während sich als Durchschnittswert für den mittleren Fehler des Mittels

$$M = \frac{6,3 \cdot 10^{-5} \cdot s}{0,4343}$$

in Meter ergibt. Auch bei den Messungen von LERBS [97] mit der großen Lota-Ausrüstung liegt die mittlere Koinzidenzstreuung noch unter dem mittleren Fehler des Mittels aus 10 Einstellungen.

Abschließend ist zu den Fehlereinflüssen des Beobachters festzustellen, daß ihre Auswirkungen auf die Distanzmeßgenauigkeit für eine Bezugslänge von 50 m $\leq 1:20000$ sind, wenn durch die Wahl einer geeigneten Distanzlatte mit Symmetrieeinstellung die Koinzidenzstreuung sehr klein gehalten und der persönliche Augenfehler durch eine gründliche Konstantenbestimmung erfaßt wird. Diese hohe relative Längenmeßgenauigkeit ist jedoch infolge des unregelmäßigen Beobachtungsfehlers nur durch einen größeren Messungsaufwand (10 Latteneinstellungen) zu erreichen. Da aber für einen Teil der Hauptzüge unter Tage eine relative äußere Längenmeßgenauigkeit von 1:10000 ausreichend ist, würde es bei Verwendung einer „Keil“-Dimeßlatte genügen, 4 Symmetrieeinstellungen auszuführen.

4. Die persönlichen systematischen Fehler treten gemeinsam mit den zufälligen Fehlern auf und sind von diesen nur teilweise zu trennen. SCHWIDEFSKY [50] bezeichnet diesen Fehler auch als Temperamentsfehler, da je nach Temperament des Beobachters die Einstellung beim Koinzidieren entweder stets zu früh oder stets zu spät beendet wird. Der Temperamentsfehler eines Messenden läßt sich durch geeignete Beobachtungsverfahren (gleich viele Einstellungen von rechts wie auch von links drehend) weitgehend herabsetzen. Neben dem Temperamentsfehler wirkt sich in einer Messungsreihe jedoch auch die Koinzidenzstreuung als systematischer Fehler aus. Wie die obigen Untersuchungen zeigen, läßt sich die Koinzidenzstreuung beim Messen mit Doppelbildstrichlatten durch ebensoviel Einstellungen von rechts wie von links nicht ausschalten. Sie läßt sich etwas verringern, wenn neben den beiden übereinanderliegenden Strichen auch noch die Symmetrielage der rechts und links liegenden Teilungsstriche als Koinzidenzkriterium benutzt wird. Eine weitgehende Verminderung des systematischen Fehlers tritt nur ein, wenn durch Benutzung einer Doppelbilddistanzlatte mit Keilstrichen die Koinzidenz- durch die Symmetrieeinstellung ersetzt wird.

7.2. Fehlereinflüsse des Instrumentes

Da die Fehlereinflüsse des Beobachters die relative äußere Längenmeßgenauigkeit auf etwa 1:20000 begrenzen, soll abschließend untersucht werden, ob die Fehlereinflüsse des Instrumentariums und der Refraktion den für viele Hauptzüge ausreichenden relativen Streckenmeßfehler von 1:10000 zulassen.

Die Fehlereinflüsse des Instruments setzen sich aus den möglichen Fehlern der Latte und ihrer Aufstellung und den durch den Distanzmesser bedingten Fehlern zusammen. Die Auswirkungen der Lattenfehler für Nachtragungs- und Verbindungszüge wurden bereits im Abschnitt 5.3.2. besprochen. Der sich auf die Distanzmeßgenauigkeit auswirkende unregelmäßige Teilungsfehler der Latte beträgt für die Dimeßhandlatte $m_t = \pm 0,016$ mm. Bei Längen von mehr als 30 m ist sein Einfluß $\leq 1:20000$, so daß er für Hauptzüge bei Vermeidung von Sichten unter 20 m vernachlässigt werden kann.

Die Untersuchungen über eine Temperaturabhängigkeit der Multiplikationskonstante von Dimeßkeilen (Abschnitt 5.3.1.) zeigten, daß die Längenänderungen der Dimeßlatte infolge Temperatureinfluß durch entsprechende Änderung der Brechkraft des Glaskeiles gut kompensiert werden.

Besonders zu beachten bei der Lattenaufstellung sind die meist gemeinsam auftretenden Fehler infolge unsymmetrischer Lage des Lattenabschnittes zum Zielpunkt (v) und ungenügender Rechtwinkligstellung der Latte zur Hauptziellinie (e). Der Fehler durch unsymmetrische Lage des Lattenabschnittes beträgt

$$v \leq \frac{l}{2} \leq \frac{s}{200},$$

wenn der benutzte Lattenabschnitt nicht außerhalb des Lattenaufstellungspunktes liegt. Als Verschwenkungsfehler der Distanzlatte bei Ausrichtung mit einem gut justierten Richtkollimator gibt HÜTHER [66] $\varphi = 17' \approx \frac{1}{200}$ an. Diese beiden Einflüsse rufen nach (7) einen relativen Streckenmeßfehler von

$$\frac{\Delta s}{s} = \left(\frac{2}{200}\right)^2 - \frac{1}{2 \cdot 200^2} \approx \frac{1}{11000}$$

hervor. Dieser Streckenmeßfehler ist für Hauptzüge unter Tage zu groß. Zu seiner Verringerung ist es nötig, eine in der Halterung verschiebbare Distanzlatte zu verwenden. Sorgt der Meßgehilfe durch Verschieben der Latte dafür, daß $v \leq \frac{l}{4}$ wird, so beträgt der gemeinsame Fehlereinfluß nur noch

$$\frac{\Delta s}{s} \approx \frac{1}{23000}$$

und kann auch für Hauptzüge vernachlässigt werden.

Die Fehlereinflüsse infolge ungenauer Bestimmung der Additions- und Multiplikationskonstante lassen sich durch eine gründliche Konstantenbestimmung (Abschnitt 5.3.1.) so stark verringern, daß sie die Distanzmeßgenauigkeit von Hauptzügen nicht merkbar beeinflussen.

Die Ergebnisse der Distanzmessungen mit einem Keilvorsatz können auch durch einen Keilfehler der Planplatte beeinflußt werden. Kleine Fehler in der Parallelität der beiden Flächen lenken durch die Veränderung des parallaktischen Winkels den Zielstrahl ab. Die Ablenkung setzt sich aus einem konstanten Wert und dem mit der Planplattenneigung wachsenden zusammen. Der bei der Planplattenneigung von 0° auftretende konstante Teil wirkt sich bei der Messung als systematischer Fehler aus und kann durch die Konstantenbestimmung mit beseitigt werden. TYSOWSKYJ [169] stellte

1943 bei Redta-Untersuchungen einen größeren Planplattenfehler des Meßinstrumentes fest. Er ermittelte für eine Länge von 50 m zwischen der Trommelstellung 0 und 20 einen Unterschied in der Längenmessung von 38 mm (\triangleq einer Veränderung des parallaktischen Winkels $\Delta\gamma \approx 1,5''$ und einem Längenfehler von $\approx 1:13000$). Bei Messungen mit einem Redta 002 [18] wurde ein Planplattenfehler von 40% des von TYSOWSKYJ gefundenen Wertes nachgewiesen.

Um beurteilen zu können, ob ein Keilfehler der Planplatte die Längenbestimmung mit Vorsatzkeilen verfälscht, wurden auf der Prüfbahn über Tage mit einem Theo 030 und zwei Dimeßkeilen bei Entfernungen von 23 und 35 m mehrere Reihenmessungen durchgeführt. Der Theodolit wurde hierzu auf einem Meßschlitten befestigt. Durch Verschiebung des Schlittens in Zielrichtung um jeweils 2 cm konnte für jeden zweiten Teilstrich der Ablesetrommel eine Reihe mit 10 Koinzidenzen gemessen werden. Nach Möglichkeit wurden bei jeder Theodolitstellung zwei Dezimeterstriche mit dem entsprechenden Noniusstrich zur Koinzidenz gebracht. Die Durchschnittswerte jeder Messungsreihe in Abhängigkeit von der Trommelstellung der Planplatte gibt getrennt für die beiden Dimeßkeile und Standpunkte Anlage 27 wieder. Die Streuung der Durchschnittswerte bei den einzelnen Trommelstellungen zeigt einen unregelmäßigen Verlauf (bedingt durch die Koinzidenzstreuung), so daß bei beiden Dimeßkeilen kein meßbarer Keilfehler vorliegen kann.

Entsprechende Untersuchungen über den Keilfehler der Planplatte wurden auch mit einem Redta 002 durchgeführt. Die in Anlage 27 eingetragenen Ergebnisse lassen ebenfalls keinen Keilfehler erkennen.

Nach Mitteilung der Freiburger Präzisionsmechanik beträgt der größte Keilfehler von planparallelen Platten $4''$, der aber für bestimmte Zwecke auf $0,1''$ herabgesetzt werden kann. Nimmt man einen Keilfehler $\alpha = 4''$ und eine Brechzahl des Glases $n = 1,5$ an, so ergibt sich nach der Formel

$$\gamma_0 \approx (n - 1) \alpha \quad [50, \text{S. 26}]$$

die konstante Zielstrahlableitung der Planplatte $\gamma_0 \approx 2''$. Da die planparallele Platte des Dimeßkeiles gegen die Nullstellung (Trommelstellung 10) nur etwa 15° verändert werden kann, liegt die größte Abweichung unter $\pm 0,1''$ [34, S. 526]. Dieser Betrag erzeugt bei einer Entfernung von 50 m einen mittleren Entfernungsfehler von $\approx \pm 2,5$ mm (1:20000). Das Ergebnis zeigt, daß auch der Keilfehler der Planplatte keinen Einfluß auf die Längenmessung von Hauptzügen mit einer relativen Genauigkeit von 1:10000 hat.

Die Auswirkungen der Fehlereinflüsse des Instruments auf die Doppelbilddistanzmessung können bei sorgfältiger Lattenaufstellung und Konstantenbestimmung so klein gehalten werden, daß die untere Genauigkeitsgrenze für die Längenmessung von Hauptzügen (1:10000) jederzeit einzuhalten ist.

7.3. Einflüsse der Refraktion

Eine der größten Fehlerquellen bei der Doppelbilddistanzmessung über Tage ist die atmosphärische Refraktion. In der Grube weist die Strahlenbrechung bei günstigem Streckenverlauf nicht so große Schwankungen wie im Gelände auf [42] [162]. Bei der

optischen Distanzmessung unter Tage treten die größten Refraktionsfehler dann auf, wenn der Zielstrahl durch Zonen unterschiedlicher Wassertemperatur und -geschwindigkeit geht [45]. Dagegen wurde keine merkbare Zielstrahlableitung durch Staubgehalt, Luftfeuchtigkeit und Kohlensäuregehalt der Grubenwetter festgestellt [13].

Nähere Untersuchungen über die Verteilung der verschiedenen Temperaturen (Temperaturgradient) und Wettergeschwindigkeiten in Strecken mit einem gleichmäßigen Profil und einem einheitlichen Wetterstrom wurden von GREJM [45] und PETRÁS [136] durchgeführt. Sie ermittelten, daß der Wassertemperaturgradient im Streckenquerschnitt in vertikaler Richtung größere Beständigkeit aufweist als in horizontaler Richtung. Der mittlere Temperaturgradient beträgt von der Sohle nach der Firste $+0,2^\circ$ auf 1 m Höhe, während er in horizontaler Richtung nahezu Null ist. Die Linien gleicher Wettergeschwindigkeit bilden konzentrische, geschlossene Kurven, ungefähr parallel zur Begrenzung des Streckenprofils. Die Kurven der gleichen Geschwindigkeit sind im allgemeinen gleichlaufend mit der Längsachse der Strecken, wobei die höchsten Geschwindigkeiten annähernd in der Mitte liegen. In den Streckenkurven, -kreuzen und an Stellen, an denen sich der Querschnitt ändert, treten die größten Geschwindigkeits- und Temperaturunterschiede auf.

Aus den angeführten Erkenntnissen kann man zur Vermeidung größerer Distanzfehler infolge von Refraktionseinflüssen nachstehende Schlußfolgerungen ziehen: Die günstigen Verhältnisse für die Aufstellung der horizontalen und der vertikalen Latte liegen in Streckenmitte, wenn die Ziellinie in Streckenachse verläuft. Häufig sind die Messungen wegen eines kurvenreichen Streckenverlaufes nicht unter günstigsten Refraktionsverhältnissen durchzuführen. Um große Seitenlängen zu erreichen und die Förderung nicht zu stören, ist man oft gezwungen, das Instrument in Nähe des Streckenstoßes aufzustellen. Hierbei durchkreuzen die Zielstrahlen nach den beiden Enden der horizontalen Latte verschiedene isothermische Luftschichten und werden verschieden stark gebrochen. Deshalb sollte man die vertikal bzw. bei geneigten Visuren senkrecht zur Ziellinie aufgestellte Distanzlatte vorziehen. Diese Latte steht bei nicht zu dichter Aufstellung am Stoß ungefähr in Zonen gleicher Wettergeschwindigkeit. Es ist nur darauf zu achten, daß die Visur etwa parallel zur Streckenachse verläuft.

Bei Hauptpolygonzügen sollten zur Vermeidung von höheren Refraktionsfehlern größere Streckenverengungen oder -verbreiterungen sowie Streckenkreuze, an denen Wetterströme mit stärkeren Geschwindigkeitsunterschieden zusammentreffen, soweit es möglich ist, gemieden oder durch kürzere Seitenlängen überbrückt werden. Da bei der Doppelbilddistanzmessung an diesen ungünstigen Stellen nach Untersuchungen von TYSOWSKYJ [169], GREJM [45] und PETRÁS [136] größere Refraktionsfehler nicht auszuschalten sind, sollten zur Klärung der einzelnen Fragen besondere Untersuchungen durchgeführt werden.

Aus den Ausführungen über die Refraktionseinflüsse unter Tage ist zu entnehmen, daß man bei Anwendung entsprechender Vorsicht und Beachtung der gegebenen Hinweise in den meisten Fällen einer schädlichen Auswirkung des Refraktionseinflusses auf die Doppelbilddistanzmessung mit einer relativen äußeren Genauigkeit von 1:10 000 für Hauptpolygonzüge wirksam begegnen kann.

8. Zusammenfassung

Zur Ermittlung eines günstigen optischen Streckenmeßverfahrens für Nachtragungszüge wurden die in der Geodäsie bekannten optischen Distanzmesser, deren Anwendung in abgewandelter Form in Verbindung mit einem modernen Hängetheodolit erfolgversprechend schien, durch eingehende Genauigkeitsuntersuchungen auf ihre Eignung für den Einsatz unter Tage überprüft. Da die Nachtragungszüge nicht nur zur betriebstechnisch und grubensicherheitlich notwendigen Ermittlung des Abbaustandes, sondern auch zur Abbauleistungskontrolle durchgeführt werden, beträgt die von einem optischen Distanzmesser zu fordernde relative äußere Streckenmeßgenauigkeit 1:1000 bei Zugseitenlängen von 3 bis 50 m.

Die Untersuchungen der Fadendistanzmesser zeigten, daß weder bei Verwendung von Präzisionsdistanzlatten (DIEPERINK, SCHMIDT, HECKMANN) noch durch optische oder mechanische Veränderung des Fadenabstandes die erforderliche äußere Streckenmeßgenauigkeit zu erreichen ist. Wegen der nicht genügend starren Theodolitaufhängung und der zu Zeit- und Genauigkeitsverlusten führenden zwei Zielungen sowie der nicht möglichen (Unruhe) Bestimmung von Zwischenpunkten durch freihändiges Anhalten der Distanzlatte sind Präzisionsfadendistanzmessungen in Verbindung mit einem Hängetheodolit nicht zu empfehlen.

Die Messungen mit Doppelbilddistanzmessern ergaben, daß für die Streckenmessung mit dem Hängetheodolit die Vorsatzkeile mit konstantem parallaktischem Winkel (Lota, Dimeß) und veränderlicher Zielbasis am besten geeignet sind. Die logarithmische Tachymetrie erwies sich allerdings bei kurzen Entfernungen als zu ungenau. Die Ursache für den geringen Genauigkeitsgrad liegt an der Multiplikationskonstante $K = 200$ und der auch bei guter Lattenbeleuchtung zu geringen scheinbaren Größe der Teilungspunkte der Lotagrabenlatte. Die günstigsten Ergebnisse wurden mit dem Hängetheodolit mit Dimeßkeil und Planlatte erzielt. Die auf den Prüfstrecken unter Tage erreichte relative äußere Längenmeßgenauigkeit betrug 1:2400 bei einer Bezugslänge von 25 m und einer Beleuchtungsstärke der Dimeßlatte von 1000 lx.

Die Untersuchungen zeigten, daß für die Doppelbilddistanzmessung mit einem Hängetheodolit eine handliche, robuste, höchstens 50 cm lange und sehr gut beleuchtete Distanzlatte erforderlich ist.

Zur Ermittlung der optimalen Beleuchtungsstärke für Doppelbilddistanzlatten wurde eine größere Anzahl von lichttechnischen Messungen bei systematischer Veränderung der gleichmäßigen (20 bis 10000 lx) und der unterschiedlichen Beleuchtungsstärke von Nonius und Lattenteilung durchgeführt. Als Ergebnis der Messungen bei gleichmäßiger Lattenbeleuchtung wurde ein funktioneller Zusammenhang der Koinzidenzgenauigkeit (m_i) in Abhängigkeit von der Lattenbeleuchtungsstärke (E) und der

Entfernung (s) zu

$$m_i = \frac{s + 6}{\sqrt[3]{\frac{E}{10}}}$$

gefunden. Der Koinzidenzfehler nimmt mit wachsender Beleuchtungsstärke bis zu etwa 5000 lx ab und erhöht sich wieder bei stärkerer Beleuchtung infolge Blendung. Besonders bei Beleuchtungsstärken unter 100 lx steigt der Koinzidenzfehler stark an. Die Untersuchungen über den Einfluß einer ungleichmäßigen Beleuchtung der Distanzlatte auf die Größe des Koinzidenzfehlers ergaben, daß eine unterschiedliche Beleuchtungsstärke der Latte zwischen Nonius und Teilung den Distanzfehler sehr vergrößert, vor allem, wenn die vorhandene Grundhelligkeit an der Latte gering ist.

Da mit den in der Grube vorhandenen Lampen die Distanzlatten nicht ausreichend beleuchtet werden können und eine stärkere Beleuchtungsquelle zu einer bedeutenden Gewichtserhöhung der Meßausrüstung führt, wurde eine reflektierende Distanzlatte entwickelt. Die 50 cm lange und bei 30 cm umklappbare Reflex-Distanzhängelatte muß für die Bestimmung von flachen Längen mit einem Diopter oder Zielfernrohr senkrecht zum Zielstrahl gestellt werden. Die für den Hängetheodolit entwickelte Beleuchtungs-ausrüstung sieht außer der Scheinwerferlampe zum Anstrahlen der Reflexlatte auch eine Lichtquelle zur Teilkreisbeleuchtung vor. Bei den lichttechnischen Messungen zur Auswahl der günstigsten Reflexfolie für Doppelbilddistanzlatten mit Mischbild wurde der unterschiedliche Einfluß einer Veränderung des Lichteinfall- und Beobachtungswinkels auf die Größe des Rückstrahlwertes untersucht. Die Helligkeitsmessungen mit Reflexdistanzlatten zeigten, daß die geringsten Koinzidenzfehler bei Beleuchtungsstärken zwischen 30 und 100 lx erreicht werden. Bei Verringerung der Lattenbeleuchtungsstärke unter 30 lx wächst der Koinzidenzfehler nur langsam bis zu der ermittelten Lattenhelligkeitsgrenze von 0,2 bis 0,3 lx. Wird diese Helligkeitsgrenze unterschritten, so steigt der Ablesefehler sprunghaft an.

Die entwickelte Distanzmeßausrüstung bewährte sich bei Probemessungen in den verschiedenen Bergbaubetrieben sehr gut. Die erreichte äußere relative Genauigkeit bei einmaliger Längenbestimmung durch zwei Koinzidenzen betrug etwa 1:2500/25 m. Gleichzeitig wurde gegenüber der mechanischen Längenmessung die Meßzeit um 10 bis 20% verkürzt, und es wurden 25 bis 30% der Arbeitskräfte eingespart.

Die Untersuchungen über Möglichkeiten zur Erhöhung der Genauigkeit von Doppelbilddistanzmessern ergaben, daß in der Grube die Fehlereinflüsse des Instrumentariums und der Refraktion sich so einschränken lassen, daß bei sorgfältiger Messung eine für viele Hauptzüge ausreichende äußere relative Längenmeßgenauigkeit (1:10000) zu erreichen ist. Dagegen betragen die durch den Beobachter bedingten Distanzfehler 1:6000. Diese Genauigkeitsgrenze wird nicht durch den persönlichen Augenfehler, dessen Einfluß bei richtiger Konstantenbestimmung sehr klein gehalten werden kann, hervorgerufen, sondern vielmehr durch die von dem Beobachter unabhängige proportional der Entfernung ansteigende Koinzidenzstreuung. Infolge der Koinzidenzstreuung kann der mit einem kleinen inneren Fehler behaftete Mittelwert einer Meßreihe ein Augenblickswert sein, der sich bei der kurz darauffolgenden Messung unter den gleichen Bedingungen nicht mehr ergibt. Die Koinzidenzstreuung deutete man bisher

oft als Zeitgang der Instrumentenkonstante oder als persönlichen Augenfehler. Auch wurden als Ursache für die Schwankungen der Mittelwerte ein unregelmäßiger Lattenteilungsfehler und ein Keilfehler der Planplatte angesehen. Zur Verringerung der Koinzidenzstreuung wurden verschiedene Lattenteilungen untersucht. Als günstigste Lattenteilung erwiesen sich keilförmige Teil- und Noniusstriche mit Symmetrieeinstellung. Bei dieser Lattenteilung liegt im Unterschied zu der Dimeßlatte mit Strichteilung und Koinzidenzeinstellung der durchschnittliche mittlere Fehler des Mittels bei 10 Einstellungen noch unter der mittleren Koinzidenzstreuung, so daß auch durch eine größere Anzahl von Koinzidenzen (mehr als 4) die äußere Längenmeßgenauigkeit erhöht werden kann. Durch die Verwendung der Distanzlatte mit Keilstrichen ist somit der Einsatz der Doppelbilddistanzmessung für Hauptzüge möglich.

LITERATUR

- [1] ACKERL, F.: Versuchsmessungen mit dem selbstreduzierenden Distanzmesser von Boßhardt-Zeiss. *Z. Instr.-Kde.* **49** (1929) 2, S. 64—78.
- [2] ACKERL, F.: Über die Verwendung von Farbenfiltern bei geodätischen Messungen. *Z. Instr.-Kde.* **52** (1932) 3, S. 138—140.
- [3] ACKERL, F.: Untersuchung eines Universaltheodolits II von Zeiss. *Z. Instr.-Kde.* **54** (1934), S. 293—301.
- [4] ACKERL, F.: *Geodäsie und Photogrammetrie. 1. Teil: Instrumente und Verfahren der Vermessung und graphisch-mechanischen Auswertung.* Wien, Fromme 1950.
- [5] BAESCHLIN, F.: Über Fadendistanzmesser mit Zwischenlinse. *Z. Instr.-Kde.* **33** (1913) 6, S. 192—198.
- [6] BAHNERT, F.: Untersuchungen des Einflusses des Beobachters, der Temperatur und des Zustandes der Atmosphäre auf die optische Präzisionsdistanzmessung. Dresden: Techn. Hochsch., Geodät. Inst. 1959 (Veröff. Geodät. Inst. TH Dresden, H. 3).
- [7] BÄRO, W.: Die Bestimmung der Additions- und Multiplikationskonstanten des Doppelkreisreduktionstachymeters DK-RT der Firma Kern während der Feldmessung. *Z. Vermess.-Wes.* **78** (1953) 9, S. 303—308.
- [8] BENCIC, D.: Problem vidljivosti hod geodetskih mjerenja (Das Problem der Sichtbarkeit bei den geodätischen Messungen). *Geod. List.* **11** (1957) 9/12, S. 227—236.
- [9] BERCHTOLD, E.: Der Doppelbildreduktionsdistanzmesser Barot-Wild für senkrechte Latte. *Schweiz. Z. Vermess.* (1935), S. 71 ff.
- [10] BERCHTOLD, W.: Die Bildertrennung in den Doppelbild-Tachymetern. *Vermess.-techn. Rdsch.* **16** (1954) 4, S. 155—158.
- [11] BERROTH, A.: Der Temperatureinfluß bei einigen Doppelbild-Entfernungsmessern aus verschiedenen Werkstätten. *Allg. Vermess.-Nachr.* **45** (1933) 17, S. 257—264.
- [12] BERROTH, A.: Geodätische Entfernungsmessungen mit dem Berroth-Fennelschen Keilmikrometer. *Z. Vermess.-Wes.* (1938), S. 170.
- [13] BEYER, C.: Der Einfluß der Grubenwetter auf den Verlauf des Zielstrahles. *Freib. Forsch.-H. A* **57** (1957), S. 25—39.
- [14] BIBRA, F.: SULZMANN, H., Stundenhängen mittels Reflexmarken. *Vermess.-techn. Rdsch.* **17** (1955) 9, S. 347—352.
- [15] BIESHEUVEL, H.: The double image telemeter (Der Doppelbildentfernungsmesser). *Empf. Surv. Rev.* **13** (1955) 98, S. 160—164.
- [16] BOSSHARDT, R.: *Optische Distanzmessung und Polarkoordinatenmethode.* Stuttgart, Wittner 1930.
- [17] BOSSHARDT, R.: Über die Entstehungsgeschichte des Reduktionstachymeters Boßhardt-Zeiss. *Z. Vermess.-Wes.* **81** (1956) 2, S. 66—70.
- [18] BRAUNE, G.: Unveröffentlichte markscheiderische Diplomarbeit. Freiberg 1958.
- [19] BREITHAUPT, F. W.: Ein Fadendistanzmesser hoher Genauigkeit. *Allg. Vermess.-Nachr.* **43** (1931) 47, S. 743—747.
- [20] CANDIDO, L.: Vereinfachung der Arbeit bei der Fadentachymetrie und Steigerung der Genauigkeit der optischen Längenmessung bei Anwendung altartiger Universal-Nivellier-Instrumente. *Z. Österr. Ing.-Architekt.-Ver.* **91** (1946) 7, S. 47—52; 8, S. 65—70.
- [21] CREMER, P.: *Beitrag zur geodätischen Entfernungsmessung mittels ablenkender Keile.* May, Köln 1934.

- [22] CZERSKI, Z.: Zagadnienie dalmierzy geodezyjnych z lata pionona (Das Problem der geodätischen Entfernungsmessung mit senkrechter Latte). Warszawa: Panstw. Przesieb. Fotogr. i. Katogr. 1951.
- [23] DĚKÁNY, S.: Bemerkungen über die visuelle Leistung der Fernrohre beim Dämmerungssehen. Actatechn. Acad. Sci. Hung. **20** (1958) 3/4, S. 317—336.
- [24] DEUMLICH, F.: Der Entfernungsmesser DN-6 von GREIM und TSCHURILOWSKI. Vermess.-Techn. **7** (1959) 9, S. 259—260.
- [25] DEUMLICH, F.: Der Entfernungsmesser von GUSEV. Vermess.-Techn. **7** (1959) 10, S. 292.
- [26] DEUMLICH, F.: SEYFERT, M., Instrumentenkunde der Vermessungstechnik. Verl. Technik Berlin 1957.
- [27] DIEPERINK, J. W.: Eine neue Skalateilung. Z. Instr.-Kde. **44** (1924) 9, S. 381—409.
- [28] DIEPERINK, J. W.: Die Feldermillimeterteilung im praktischen Gebrauch bei mittelbaren Entfernungsmessungen. Allg. Vermess.-Nachr. **40** (1928) 28, S. 441—452.
- [29] DOHRMANN, M.: Einwirkung der Refraktion bei der Präzisionsdistanzmessung. Allg. Vermess.-Nachr. **45** (1933) 8, S. 118—121; 9, S. 129—133; 10, S. 145—148; 11, S. 161—165; 12, S. 177—182; 13, S. 193—196; 14, S. 209—213; 15, S. 225—230, 16, S. 241—251.
- [30] DRODOFSKY, M.: SLEVOGT, H., Zur Theorie des anallaktischen Punktes. Optik **7** (1950) 1, S. 23—26.
- [31] DRODOFSKY, M.: Die praktische Bedeutung des anallaktischen Punktes. Z. Vermess.-Wes. **77** (1952) 9, S. 275—278.
- [32] DUBIEL, L.: Zur Frage der Genauigkeit mittelbarer Längenmessung mit Reichenbachschen Distanzfäden in Grubenpolygonzügen. Noske, Borna 1931.
- [33] EDER, R.: Genauigkeitssteigerung bei Fadendistanzmessern. Allg. Vermess.-Nachr. **66** (1954) 6, S. 152—154.
- [34] EVERSMAAN, TH.: Längenmessung mit Doppelbildtachymetern in der Grube. Z. Instr.-Kde. **52** (1932) S. 53—65.
- [35] EVERSMAAN, TH.: Bemerkung zur mittelbaren Längenmessung mit Distanzfäden nach Reichenbach. Z. Instr.-Kde. **52** (1932) 12, S. 525—528.
- [36] EVERSMAAN, TH.: Längenmessung mit optischen Hilfsmitteln unter Tage. Z. Instr.-Kde. **54** (1934) 9, S. 350—360.
- [37] FERRARI: Eine neue Distanzlatte der Firma F. W. Breithaupt und Sohn, Kassel. Mitt. Marscheidewes. **39** (1928) 2, S. 150—154.
- [38] FIALOVŠKY, L.: HODAM, F., Konstruktion des fadendistanzmessenden Fernrohres mit Innenfokussierung. Feingerätetechn. **6** (1957) 11, S. 503—512.
- [39] FLISTER, E.: Beitrag zur Kenntnis der Reflexstoffe für Verkehrssignale. Straße und Autobahn **1** (1950) 8, S. 24—27.
- [40] FÖRSTNER, G.: Die Genauigkeit der Noniusablesung. Optik **2** (1947) 1, S. 32—43.
- [41] FÖRSTNER, G.: Genauigkeit der optischen Streckenmessung mit Theodolit und Basislatte. München: Bayer. Akad. d. Wiss. 1955, (Veröff. Geodät. Kommiss., Reihe B, H. 20).
- [42] FRECKMANN, W.: Untersuchung über die Strahlenbrechung unter Tage. Frommhold u. Wendler, Leipzig 1932.
- [43] GALKIN, N. I.: Über die optische Entfernungsmessung. Bergakad. **4** (1952) 6, S. 232 bis 236.
- [44] VAN GIJSEN, J. C. O.: Fehler der Doppelbildentfernungsmessung, die von den optischen Bauelementen herrühren. Vermess.-techn. Rdsch. **18** (1956) 5, S. 166—171.
- [45] GREJM, I. A.: Markšejdersko-geodezičeskie dal nomery (Entfernungsmesser für markscheiderische Arbeiten). Moskva: Ugletechizdat 1956.
- [46] GREJM, I. A.: NIKIFOROW, G. G., und KORNEJEW, B. N., Der Differentialentfernungsmesser DD-2. Vermess.-Techn. **5** (1957) 12, S. 290—291.
- [47] GRÖDEL, E.: Grundlagen und Hilfsmittel der optischen Polygonierung. Zeiss-Nachr. **7** (1956) 5/8, S. 264—285.
- [48] GROSSMANN, W.: Grundzüge der Ausgleichsrechnung. Berlin, Springer 1953.
- [49] GROSSMANN, W.: Der Einsatz optischer Präzisionsdistanzmesser bei Polygonierungen und Polaraufnahmen. Allg. Vermess.-Nachr. (1957) 4, S. 91—102; 5, S. 130—137.

- [50] GRUBER, O. VON, u. a.: Optische Streckenmessung und Polygonierung. Wichmann Berlin, 2. Aufl. 1955.
- [51] GUGGENBERGER, K.: Vorschläge zur Verbesserung der Teilung der Präzisions-Invar-Nivellierlatten. Vermess.-Technik **2** (1954) 5, S. 86—88.
- [52] GÜNTHER, N.: Fernoptische Beobachtungs- und Meßinstrumente. Wiss. Verl.-Ges., Stuttgart 1959.
- [53] GUSEV, N. A.: Novye markšejdersko-geodezičeskie instrumenty (Neue markscheiderische Vermessungsinstrumente). Z. Gorny. (1956) 9, S. 51—58.
- [54] GUSEV, N. A.: Markšejdersko-geodezičeskie pribory i instrumentovedenie (Markscheiderische Vermessungsinstrumente und ihre Handhabung). Moskva: Ugletechizdat 1958.
- [55] HAARMAN: Reflektierende Lote. Bergvermess.-techn. Bl. **5** (1956) 2, S. 37—39.
- [56] HAERPFER, A.: Genauigkeitsversuche mit Heckmann-Breithaupts Entfernungsmesser. Z. Vermess.-Wes. **65** (1936) 4, S. 124—133.
- [57] HECKMANN, H.: Eine neue Teilstrichstellvorrichtung an Feinnivellieren. Z. Instr.-Kde. **49** (1929) 4, S. 204—207.
- [58] HECKMANN, H.: Die Genauigkeit des Entfernungsmessers Heckmann-Breithaupt. Allg. Vermess.-Nachr. **51** (1939) 16, S. 377—385.
- [59] HECKMANN, H.: Erfahrungen mit dem Breithaupt-Heckmann-Präzisionsfadenentfernungsmesser. Vermess.-techn. Rdsh. **16** (1954) 4, S. 150—154.
- [60] HERDA, J.: Chyby z nekolmé polohy a průhybu latě dvojobrazového dálkomeru (Fehler der Doppelbildentfernungsmessung infolge Lattenschiefe und Lattendurchbiegung). Geodet. kartogr. Obz. **47** (1959) 1, S. 14—20; 2, S. 37—39.
- [61] HILBIG: Näherungsformel als Hilfsmittel bei Streckenmessungen. Bergvermess.-techn. Bl. **5** (1956) 4, S. 89—103.
- [62] HOFE, CH. VON: Fernoptik. Barth, Leipzig 1941.
- [63] HOFMANN, O.: Beitrag zur Theorie des anallaktischen Punktes entfernungsmessender Fernrohre mit negativer Zwischenlinse. Jenaer Jb. (1955) I, S. 15—27.
- [64] HOHENNER, H.: Der Hohennersche Präzisionsdistanzmesser und seine Verbindung mit einem Theodolit (Abhandlungen und Vorträge aus dem Gebiet der Mathematik, Naturwissenschaft und Technik, 4). Teubner Leipzig 1919.
- [65] HUNGER, F.: Die Genauigkeit der optischen Längenmessung und Höhenübertragung bei Polygonzügen. Allg. Vermess.-Nachr. **67** (1955) 5, S. 115—131; 6, S. 157—163.
- [66] HÜTHER, F.: Fehlereinflüsse bei der optischen Distanzmessung, ihre Auswirkung und Eliminierung. Zeiss-Nachr. **7** (1956) 5/8, S. 462—486.
- [67] IDLER, R.: Polygonometrische Bestimmung von Aufnahmenetzen. Z. Vermess.-Wes. **69** (1940) 13, S. 298—318; 14, S. 327—335.
- [68] JAINSKI, P.: Erhöhung der Wirksamkeit von Verkehrszeichen durch Verwendung besonderer lichttechnischer Baustoffe. Signal und Draht **42** (1950) 3, S. 33—36.
- [69] JAINSKI, P.: Prüfverfahren für die Eignung von Reflexstoffen für Verkehrszeichen. Straße und Autobahn **2** (1951) 1, S. 9—12; 2, S. 54.
- [70] JÄNICH, E.: Der neue logarithmische Tachymeterkeil (Lotakeil). Vermess.-Techn. **3** (1955) 8, S. 141—145.
- [71] JÄNICH, E.: Verfahren der Streckenmessung mit den Doppelbilddistanzmessern Redta 002 und Dimeß 002. Zeiss-Nachr. **7** (1956) 5/8, S. 285—297.
- [72] JÄNICH, E.: Zur Theorie der Keildistanzmesser unter besonderer Berücksichtigung eines neuen Distanzmeßkeiles des VEB Carl Zeiss Jena. Jenaer Jb. (1956), S. 140—215.
- [73] JANSKA, K.: Eine Polygonisierung mit Zeiss-Theodolit III, Distanzmeßeinrichtung „Dimeß“ und Präzisionspolygoneinrichtung. Allg. Vermess.-Nachr. **49** (1937) 7, S. 110—119.
- [74] JORDAN, W., EGGERT, O., und BERBOTH, A.: Handbuch der Vermessungskunde, Bd. II: Feld- und Landmessung. Metzler, Stuttgart, 10. Aufl. 1950.
- [75] JORDAN, W., EGGERT, O., und KNEISSL, M.: Handbuch der Vermessungskunde, Bd. III: Höhenmessung, Tachymetrie. Metzler, Stuttgart, 10. Aufl. 1956.
- [76] JÜTTNER, G.: Über die bei optischen Distanzmessungen mittels Boßhardt-Zeiss auftretenden Fehler unter besonderer Berücksichtigung der Refraktion. Lindner, Ratibor 1928.

- [77] KIRCHNER, S.: Sicherheit im Straßenverkehr durch den Einsatz lichtreflektierenden Materials. *Straßentechn.* **6** (1958) 6, S. 67—70; 7, S. 80—83.
- [78] KLEMPAU, F.: Über die Beziehungen zwischen Winkel-, Nonien- und Zielgenauigkeit. *Allg. Vermess.-Nachr.* **35** (1923) 16, S. 306—319.
- [79] KLINGATSCH, A.: Über Fadendistanzmesser mit Zwischenlinse. *Z. Instr.-Kde.* **32** (1912) 3, S. 84—93.
- [80] KOENTGES, O.: Einstellen des Horizontalfadens auf die Mitte eines Lattenintervalles. Diss. Universität Bonn 1932.
- [81] KÖGLER, A.: Taschenbuch für Berg- und Hüttenleute. Springer, Berlin 1924.
- [82] KÖHLER, H.: Grundsätzliches zum Fernrohrsehen. *Dt. opt. Schr.* **66** (1949) 6, S. 41—43; 7, S. 53—55; 8, S. 60.
- [83] KÖHLER, H.: Eine Erweiterung der Theorie entfernungsmessender Fernrohre mit negativer Zwischenlinse und deren Auswirkung auf die praktische Distanzmessung. *Z. Vermess.-Wes.* **76** (1951) 3, S. 65—73.
- [84] KOHLRAUSCH: Tagessehen, Dämmerungssehen, Adaption. In: *Handbuch d. norm. und pathol. Physiologie*, Bd. 12, Teil 1. Springer, Berlin 1931.
- [85] KOLOMAZNIK, V.: Svislá dálkomerná Lat' vz. Va-Ko. (Die lotrechte Streckenmeßplatte Va-Ko). *Geodet. kartogr. Obz.* **46** (1958) 3, S. 51—57.
- [86] KÖNIG, A.: Physiologische Optik (Handbuch der Experimentalphysik, Bd. 20). Akad. Verl.-Ges., Leipzig 1929.
- [87] KÖNIG, A.: Die Fernrohre und Entfernungsmesser. Springer, Berlin, 2. Aufl. 1937.
- [88] KRATZSCH, H.: Neuerungen auf dem Gebiet der Punktvermarkung, der Meßausrüstung und Polygonierung unter Tage. *Mitt. Markscheidewes.* **66** (1959) 1, S. 1—18.
- [89] KRÜSS, H.: Die Messung der Helligkeit von Prismenfernrohren. *Z. Instr.-Kde.* **23** (1903) 1, S. 8—19.
- [90] KUCERA: Briefliche Mitteilung an das Institut für Markscheidewesen der Bergakademie Freiberg.
- [91] KÜHL, A.: Die visuelle Leistung von Fernrohren. *Z. Instr.-Kde.* **47** (1927) 2, S. 75—85.
- [92] KUMMER: Mitteilung von Beobachtungsergebnissen über die Schätzungs- und Kartierungsgenauigkeit an Maßstäben und Kartierungsinstrumenten. *Z. Vermess.-Wes.* **36** (1907) 22, S. 531—541; 23, S. 561—579; 24, S. 593—607.
- [93] LEHMANN, R.: Strich und Strichteilung. *Feingerätetechnik* **5** (1956) 9, S. 413—419.
- [94] LEHMANN, W.: BIBRA, F., Rückstrahlfarben im Bergbau. *Glückauf* **91** (1955) 51/52, S. 1407—1408.
- [95] LEHMANN, W.: Reflex-Markierungen zur Richtungs- und Höhenangabe. *Bergvermess.-techn. Bl.* **5** (1956) 1, S. 5—9.
- [96] LEINWEBER, P.: Taschenbuch für Längenmeßtechnik. Springer, Berlin 1954.
- [97] LERBS, L.: Unveröffentlichte markscheiderische Diplomarbeit. Freiberg 1959.
- [98] LÖHLE, F.: Über die Abhängigkeit der Dämmerungsschärfe von den Beleuchtungs- und Sichtverhältnissen. *Optik* **2** (1947) 1, S. 19—31.
- [99] LÖSCHNER, F.: Nivellier Ni 2 im Ingenieurbauwesen. *Zeiss-Werk-Z.*, Oberkochen, **4** (1956) 20, S. 47—50.
- [100] LÜDEMANN, K.: Die Längenänderung hölzerner Meß- und Nivellierlatten. *Z. Vermess.-Wes.* **41** (1912) 16, S. 409—418; 17, S. 433—447; 18, S. 463—474.
- [101] LÜDEMANN, K.: Die Längenänderung hölzerner Meß- und Nivellierlatten. *Z. Vermess.-Wes.* **43** (1914) 7, S. 161—170.
- [102] LÜDEMANN, K.: Die mittelbare Messung von Entfernungen bei Nachtragungsarbeiten. *Mitt. Markscheidewes.* (1922) 2, S. 1—37.
- [103] LÜDEMANN, K.: Über die mit dem Ausdruck „Dezimalgleichung“ bezeichnete Art von regelmäßigen Fehlern bei der Zehntelschätzung im Zentimeterfelde. *Z. Instr.-Kde.* **43** (1923) 2, S. 33—50; 4, S. 113—120.
- [104] LÜDEMANN, K.: Grundlagen für den Voranschlag der Genauigkeitsleistung von einigen Theodoliten bei der Kleindreiecksmessung und bei feinen Zugmessungen. *Z. Instr.-Kde.* **44** (1924) 12, S. 555—563.

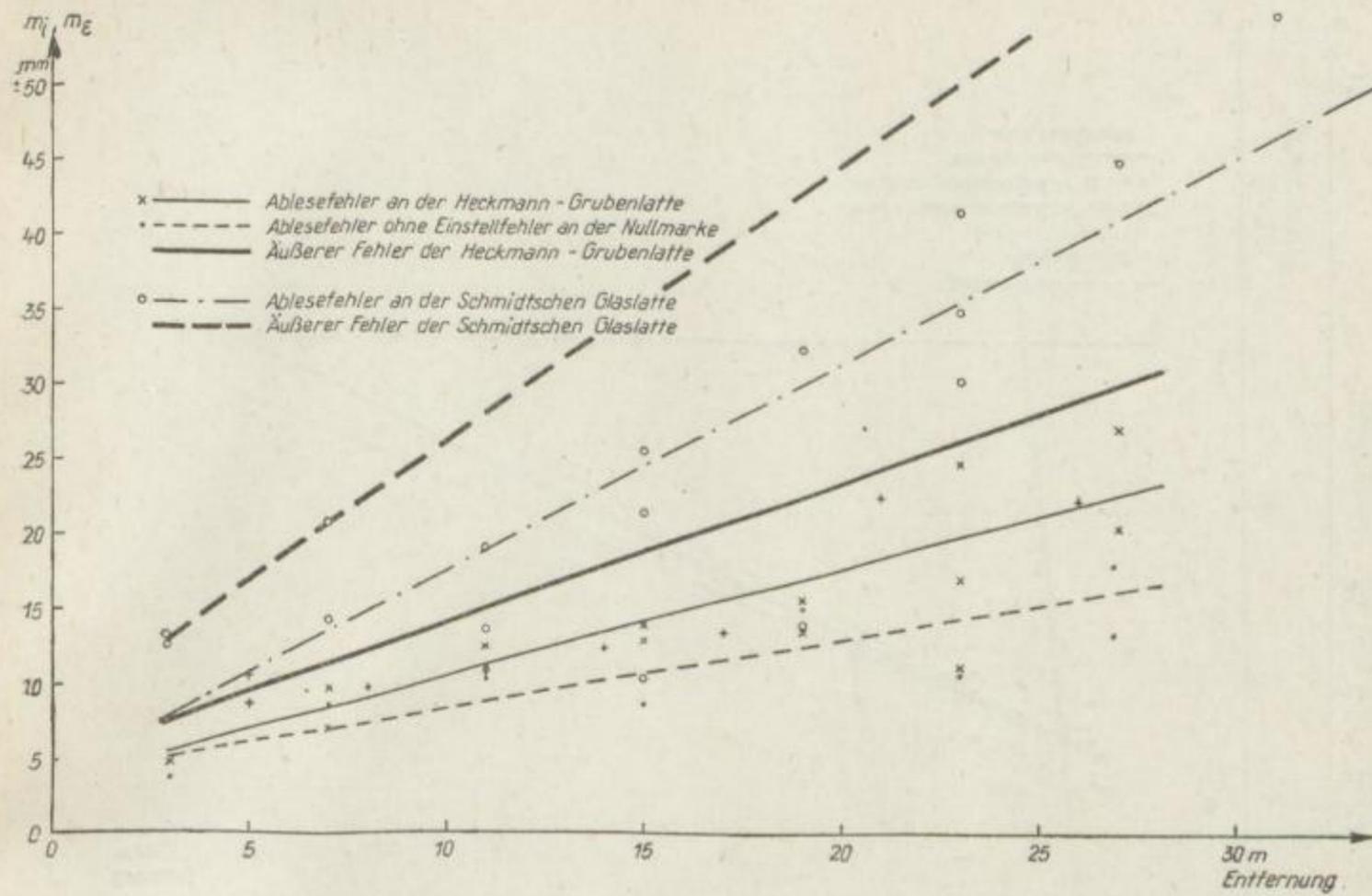
- [105] LÜDEMANN, K.: Die Dieperink-Teilung von Nivellier- und Distanzlatten. Allg. Vermess.-Nachr. **37** (1925) 18, S. 281—286.
- [106] LÜDEMANN, K.: Die Verwendung der Dieperink-Latte im Markscheidewesen. Mitt. Markscheidewes. **37** (1926), S. 50—55.
- [107] LÜDEMANN, K.: Über die Genauigkeit der Längenmessung mit Entfernungsmessfäden bei einem mittleren Theodolit. Z. Instr.-Kde. **47** (1927) 1, S. 33—44.
- [108] LÜDEMANN, K.: Die Katastermessung nach der Polarkoordinaten-Methode und das neue Doppelbildtachymeter. Allg. Vermess.-Nachr. **40** (1928) 11, S. 169—176.
- [109] LÜDEMANN, K.: Wirtschaftliche Ausführung untertägiger Nachtragungsmessungen. Mitt. Markscheidewes. **42/43** (1931/32) S. 45—53.
- [110] LÜDEMANN, K.: Untersuchungen über die Längenänderung von Nivellierlatten aus Sperrholz. Allg. Vermess. Nachr. **44** (1932) 1, S. 1—7.
- [111] LÜDEMANN, K.: Genauigkeit der Streckenmessung im untertägigen Hauptzugnetz mit einem Doppelbildtachymeter von Hildebrand. Mitt. Markscheidewes. **44** (1933), S. 18 bis 26.
- [112] LÜDEMANN, K.: Zur markscheiderischen Messung kurzer Strecken mit Reichenbachschen Entfernungsmessfäden. Allg. Vermess. Nachr. **45** (1933) 35, S. 549—554.
- [113] LÜDEMANN, K.: Über den Einfluß von Temperaturänderungen auf die Multiplikationskonstante eines Doppelbildentfernungsmessers. Z. Vermess.-Wes. **63** (1934) 13, S. 289 bis 293.
- [114] LÜDEMANN, K.: Genauigkeit der optischen Streckenmessung im Hauptzugnetz unter Tage. Bergb. u. Energiewirtsch. **3** (1950) 10, S. 334—337.
- [115] MAJOR, B. P.: Iz opyta primenenija kipregelja KB-1 i dal'nomera DD-2 pri gorodskich s-emkach v masstabe 1:500. (Aus Erfahrungen bei der Anwendung der Kippregel KB-1 und des Entfernungsmessers DD-2 zu Stadtaufnahmen im Maßstab 1:500). Geodez. i. Kartogr. (1957) 12, S. 55—58.
- [116] MERKLE, L.: Reflektierende Verkehrszeichen. Straßen- u. Tiefbau (1954) 8, S. 418.
- [117] MICHALCAK, S.: Die Herstellung geodätischer Instrumente in der Tschechoslowakei. Vermess.-Techn. **8** (1960) 1, S. 13—15.
- [118] MÖCKEL, W.: Vereinfachte Bestimmung der Entfernungsverbesserungen ΔE bei optischen Entfernungsmessungen mittels innerer Einstelllinse. Vermess.-Techn. **2** (1954) 2, S. 27—28.
- [119] MÜLLER, G.: Ein Beitrag zur markscheiderischen Erfassung großer Hohlräume unter Tage. Freib. Forsch.-H. A 97 (1958) S. 1—80.
- [120] NÄBAUER, N.: Grundzüge der Geodäsie. Leipzig 1915.
- [121] NÄBAUER, M.: Vermessungskunde. Springer, Berlin 1949.
- [122] NAGEL, M.: KLUGHARDT, A., Zur Dämmerungsleistung von Fernrohren. Z. Instr.-Kde. **56** (1936) S. 221—234.
- [123] NAGEL, M.: KLUGHARDT, A., Über die Leistung von Fernrohren bei verschiedenen Objektivhelligkeiten. Z. Instr.-Kde. **56** (1936) 12, S. 495—502.
- [124] NEUBERT, K.: Das Vermessungswesen im Bergbau. Freib. Forsch.-H. A 2 (1951) S. 3—13.
- [125] NEUBERT, K.: SCHLICHE, L., und EHRHARDT, F., Markscheiderisch-geodätische Geräte und Instrumente. 1. Lehrbrief. Freiberg: Bergakademie, Fernstudium 1956.
- [126] NEUBERT, K.: WILTSCHKA, W., Spezielle Markscheidekunde (Interne Manuskripte). Freiberg: Bergakademie, Fernstudium 1956.
- [127] NEUBERT, K.: Rationelles Messen von Längen geringer mittlerer, hoher und höchster Genauigkeit. Vermess.-Techn. **7** (1959) 5, S. 107—112.
- [128] NIEMCZYK, O.: Genaues und rationelles Messen im Bergbau. Mitt. Markscheidewes. **57** (1950), S. 1—23.
- [129] NOETZLI, A.: Untersuchungen über die Genauigkeit des Zielens mit Fernrohren. Z. Instr.-Kde. **35** (1915) 4, S. 65—73; 5, S. 89—96.
- [130] OGUCHE: Experimentelle Studien über die Abhängigkeit der Sehschärfe von der Beleuchtungsstärke. Graefes Arch. **66** (1907) S. 461.

- [131] OSTWALD, D.: Markierungsmittel auf der nächtlichen Landstraße. Umschau (1951) 10, S. 295.
- [132] PALMQUIST, P. V.: CROSS, B. S., und NETHERLY, G. P., Flächenförmiger Rückstrahler. DBP 852 969.
- [133] PELZER, A.: Über den Einfluß der Lichtstärke von Theodolit- und Nivellierfernrohren auf den mittleren Zielfehler. Z. Instr.-Kde. **46** (1926) 7, S. 354—376.
- [134] PERZ, F.: Zur Frage der Doppelbildmessung unter Tage. Berg- und hüttenmänn. Mh. **86** (1938) 10, S. 249—252.
- [135] PESCHEL, H.: Untersuchung der mittelbaren Streckenmessung mit Anwendung von Theodoliten und Tangensschraubeninstrumenten zur mikrometrischen Winkelmessung. Dittert, Dresden 1936.
- [136] PETRÁS, R.: K otázce optického a paralaktického merení délek v podzemí (Zur Frage der optischen und paralaktischen Streckenmessung unter Tage). Geodet. kartogr. Obz. **45** (1957) 3, S. 48—51.
- [137] PREYSS, C. R.: Neuer Weg zur optischen Distanzmessung. Vermess.-techn. Rdsch. **17** (1955) 12, S. 441—448.
- [138] REINHARTZ, C.: Schätzungsgenauigkeit an Nivellierskalen. Z. Vermess.-Wes. **26** (1897) 4, S. 111—119.
- [139] RIEMANN, W.: Über die Lage des anallaktischen Punktes distanzmessender achromatischer Glaskeile. Diss. Techn. Hochsch. Aachen 1939.
- [140] ROELOFS, R.: Fadendistanzmesser mit Innenfokussierung. Z. Instr.-Kde. **61** (1941) 5, S. 137—147.
- [141] ROMPF, W.: Streckenmessungen mit dem Reduktionstachymeter Boßhardt-Zeiss. Allg. Vermess.-Nachr. **45** (1933) 17, S. 264—267.
- [142] RÜGER, W.: Die Verwendung von Tripelspiegeln als Zielzeichen für markscheiderische Messungen. Freib. Forsch.-H. A 86 (1958) S. 101—112.
- [143] SAMEL, P.: Die Theorie der Ziellinie und Fadendistanzmessung. Allg. Vermess.-Nachr. **42** (1930) S. 385—398.
- [144] SCHERMERHORN: Genauigkeitsbestimmung von Präzisionsnivellierlatten der Firma Carl-Zeiss-Jena. Z. Vermess.-Wes. **53** (1924) 13/14, S. 251—254.
- [145] SCHMIDT, C.: Genauigkeitsuntersuchungen der optischen Doppelbildentfernungsmessung mittels DK-RT von Kern/Aarau unter besonderer Berücksichtigung der Beleuchtung mit monochromatischem Licht. Aachen: Technische Hochschule, Diss. 1957.
- [146] SCHMIDT, H.: Eine neue, für den Nachtragehängetheodolit geeignete Entfernungsmessplatte mit elektrischer Beleuchtungseinrichtung (DRP). Mitt. Markscheidewes. **44** (1933) S. 25—33.
- [147] SCHNEIDER: Genauigkeitsergebnisse eines Vergleiches optischer Distanzmessungen entsprechend der Württembergischen technischen Anweisung für Katastervermessung. Z. Instr.-Kde. **49** (1929) 11, S. 541—550.
- [148] SCHNEIDER, W.: Der Temperatureinfluß beim Boßhardt-Zeiss-Reduktionstachymeter (Redta). Z. Instr.-Kde. **56** (1936) 2, S. 57—60.
- [149] SCHNEIDER, W.: Optische Distanzmessung im Dienst des Katasters. Allg. Vermess.-Nachr. **51** (1939) S. 105—118.
- [150] SCHNEIDER, W.: Mehr Licht von geodätischen Zielen. Zeiss-Werk-Z., Oberkochen, **5** (1957) 23, S. 17—19.
- [151] SCHOBER, H.: Neuere Untersuchungen über Sehschärfe, Auflösungsvermögen der optischen Instrumente und besonders des menschlichen Auges. Z. techn. Physik **11** (1938) S. 343—344.
- [152] SCHOBER, H.: Das Sehen. Bd. 1. Fachbuchverlag, Leipzig, 2. Aufl. 1957.
- [153] SCHOBER, H.: Das Sehen. Bd. 2. Fachbuchverlag, Leipzig, 2. Aufl. 1958.
- [154] SCHULZ, H.: Physiologische Fehler. In: BERNDT, G., Grundlagen und Geräte technischer Längenmessungen. Springer, Berlin 1929, S. 340—344.
- [155] SIEDENTOPF, H.: MEYER, E. j., und WEMPE, J., Neue Sehschärfenmessungen. Z. Instr.-Kde. **61** (1941) 11, S. 372—380.

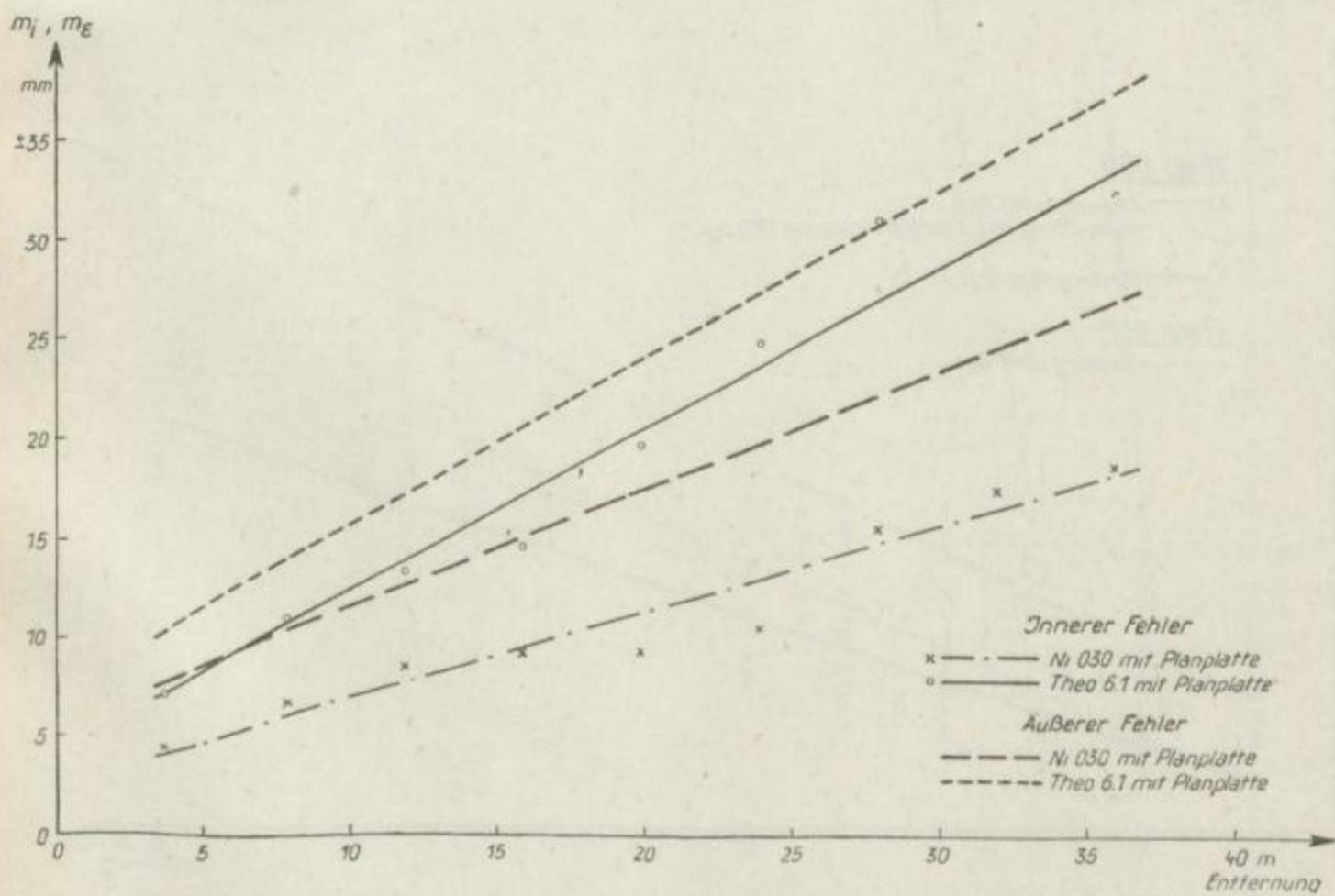
- [156] SINN, W.: SCHMIDT, E., Verkehrsschilder — Verkehrssicherheit. Straße u. Autobahn **1** (1950) 9, S. 24—27.
- [157] SIMMERDING: Möglichkeiten und Grenzen der optischen Distanzmessung. Diss. Techn. Hochsch. München 1951.
- [158] SMIRNOFF, K. N.: Forschungen und Feldarbeiten mit dem Reduktionstachymeter Boßhardt-Zeiss in Rußland. Z. Vermess.-Wes. **60** (1931) 24, S. 727—739.
- [159] SMIRNOFF, K. N.: Der Doppelbildtachymeter Kern auf Feldarbeiten in der UdSSR. Schweiz. Z. Vermess. **31** (1933) 4, S. 98—100.
- [160] STEINSCHLÄGER: Untersuchungen eines 8-cm-Schraubenmikroskop-Theodolits. Allg. Vermess.-Nachr. **37** (1925) 28, S. 445—450.
- [161] STIEPEL, E.: Messungsergebnisse mit der Schmidtschen Entfernungsmeßplatte in Verbindung mit einem Brandenburg-Hildebrandschen Hängetheodoliten. Mitt. Markscheidewes. **44** (1933) S. 33—43.
- [162] STIPA, V.: SCHMIDT, C., Steigerung der Meßgenauigkeit bei Doppelbildentfernungsmessung durch gefiltertes Licht. Mitt. Markscheidewes. **64** (1957) 3, S. 77—97.
- [163] STIPA, V.: Optik der geodätischen Instrumente. Aachen: Techn. Hochsch. 1957 (Manusk.).
- [164] SULZMANN: Anwendung fluoreszierender Farben in der Vermessungstechnik. Vermess.-techn. Rdsch. **15** (1953) 11, S. 339—341.
- [165] TOMASEGOVIĆ: Über die Möglichkeit direkter Bestimmung von Koordinatenunterschieden in Polygonzügen. Schweiz. Z. Vermess. **48** (1950) 8, S. 200—205; 9, S. 217 bis 227.
- [166] TOMASEGOVIĆ: Bussolen-Theodolit Wild TO als Distanzmesser. Z. Vermess.-Wes. **76** (1951) 7, S. 200—205.
- [167] TRENDELENBURG, W.: Der Gesichtssinn (Grundzüge der physiologischen Optik). Springer, Berlin 1943.
- [168] TSCHEBOTAROFF: Untersuchungen der Doppelbilddistanzmesser. Z. Vermess.-Wes. **65** (1936) 3, S. 103—112.
- [169] TYSOWSKYJ, S.: Optische Feinlängenmessung unter Tage. Berlin: Techn. Hochsch., Diss. 1944.
- [170] UHINK, W.: Betrachtungen über Fernrohre mit Entfernungsmeßfäden. Z. Instr.-Kde. **52** (1932) 10, S. 435—442.
- [171] UHINK, W.: Über die optische Distanzmessung mit Fernrohren von unveränderlicher Länge. Mitt. Markscheidewes. **37** (1926) S. 42—50.
- [172] UHINK, W.: Ein neues Doppelbildtachymeter. Mitt. Markscheidewes. **39** (1928) 2, S. 119—122.
- [173] ULBRICH, K.: Optische Polaraufnahme mit Reduktionstachymeter Boßhardt-Zeiss im Vergleich mit der Orthogonalmethode. Allg. Vermess.-Nachr. **49** (1937) 6, S. 93 bis 104.
- [174] ULBRICH, K.: Der Temperatureinfluß beim Boßhardt-Zeiss-Reduktionstachymeter. Z. Vermess.-Wes. **67** (1938) 12, S. 353—347.
- [175] VOGLEB, A.: Lehrbuch der praktischen Geometrie. Teil 2: Höhenmessung. F. Vieweg, Braunschweig 1884.
- [176] WALTHER: Prüfungsmessungen mit dem Boßhardt-Zeiss. Allg. Vermess.-Nachr. **41** (1929) 39, S. 613—619.
- [177] WALTHER: Untersuchungen über den Einfluß von Temperatur und Luftfeuchtigkeit bei Messungen mit dem Boßhardt-Zeiss'schen Reduktions-Tachymeter. Allg. Vermess.-Nachr. **44** (1932) 4, S. 37—49.
- [178] WATSON, L. H.: SHADBOLT, C. H., The subtense bar applied to mine surveying (Anwendung der Basislatte im Markscheidewesen). Coll. Guard. **196** (1958) 5075, S. 691 bis 695.
- [179] WEHNER, B.: Erfahrung mit Leiteinrichtungen und reflektierenden Verkehrszeichen. Straße u. Autobahn **2** (1951) 11, S. 357—362.

- [180] WERKMEISTER, P.: Genauigkeit der Zentrierung eines auf einem Stativ aufgestellten Theodolits. Z. Instr.-Kde. **56** (1936) 6, S. 244 ff.
- [181] WERKMEISTER, P.: Erhöhung der Genauigkeit bei der Streckenmessung mit dem Okularfadendistanzmesser. Z. Instr.-Kde. **56** (1936) 2, S. 60—63.
- [182] WILSKI, P.: Lehrbuch der Markscheidekunde. Springer, Berlin 1929 (I. Teil) u. 1932 (II. Teil).
- [183] ZAGRJADSKI, I. J.: Polvye issledovanija dal'nomera DD-2 (Feldmäßige Erprobung des Entfernungsmessers DD-2). Geodez. i. Kartogr. (1956) 9, S. 28—32.
- [184] . . . Cudit — die neue flüssige Reflexmasse für vertikale Signalisation (Minnesota Mining and Manufacturing Company, Düsseldorf). Straße und Autobahn **8** (1957) 4, S. 141—142.

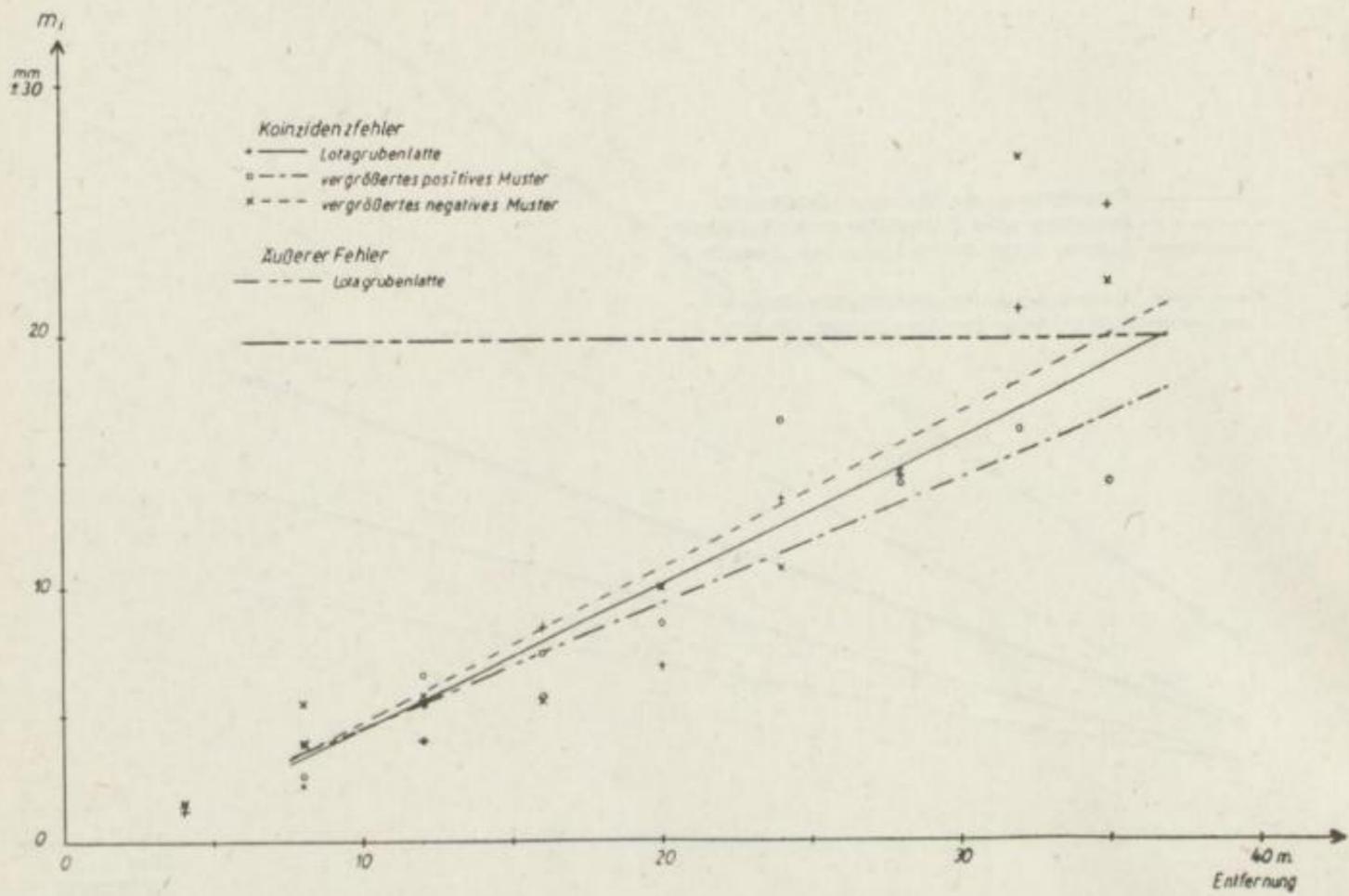
Anlagen



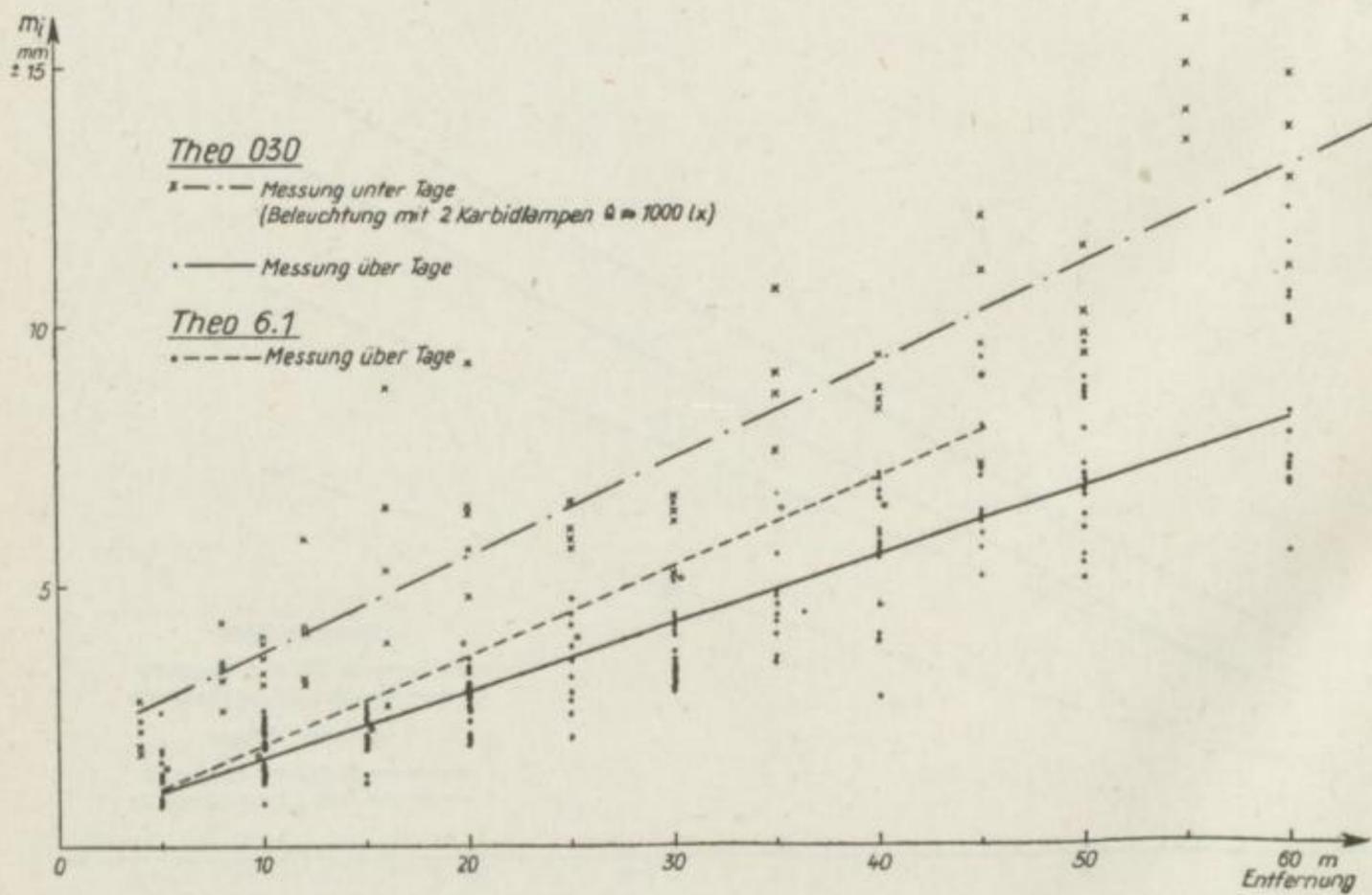
Anlage 1. Innerer und äußerer Fehler bei der Fadendistanzmessung



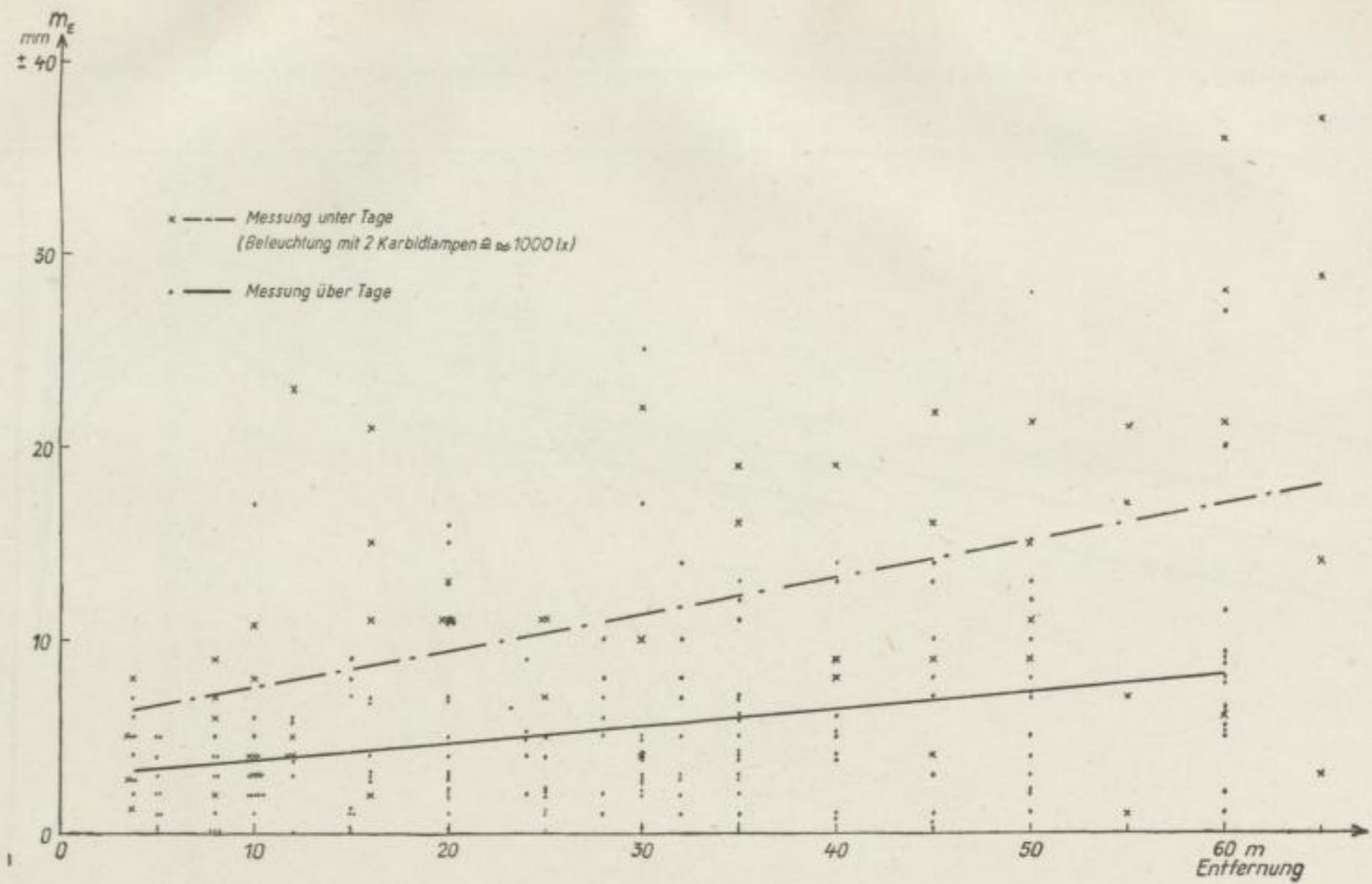
Anlage 2. Innerer und äußerer Fehler bei der Fadendistanzmessung mit Planplatte



Anlage 3. Innerer und äußerer Fehler der logarithmischen Distanzmessung mit dem Theo 030

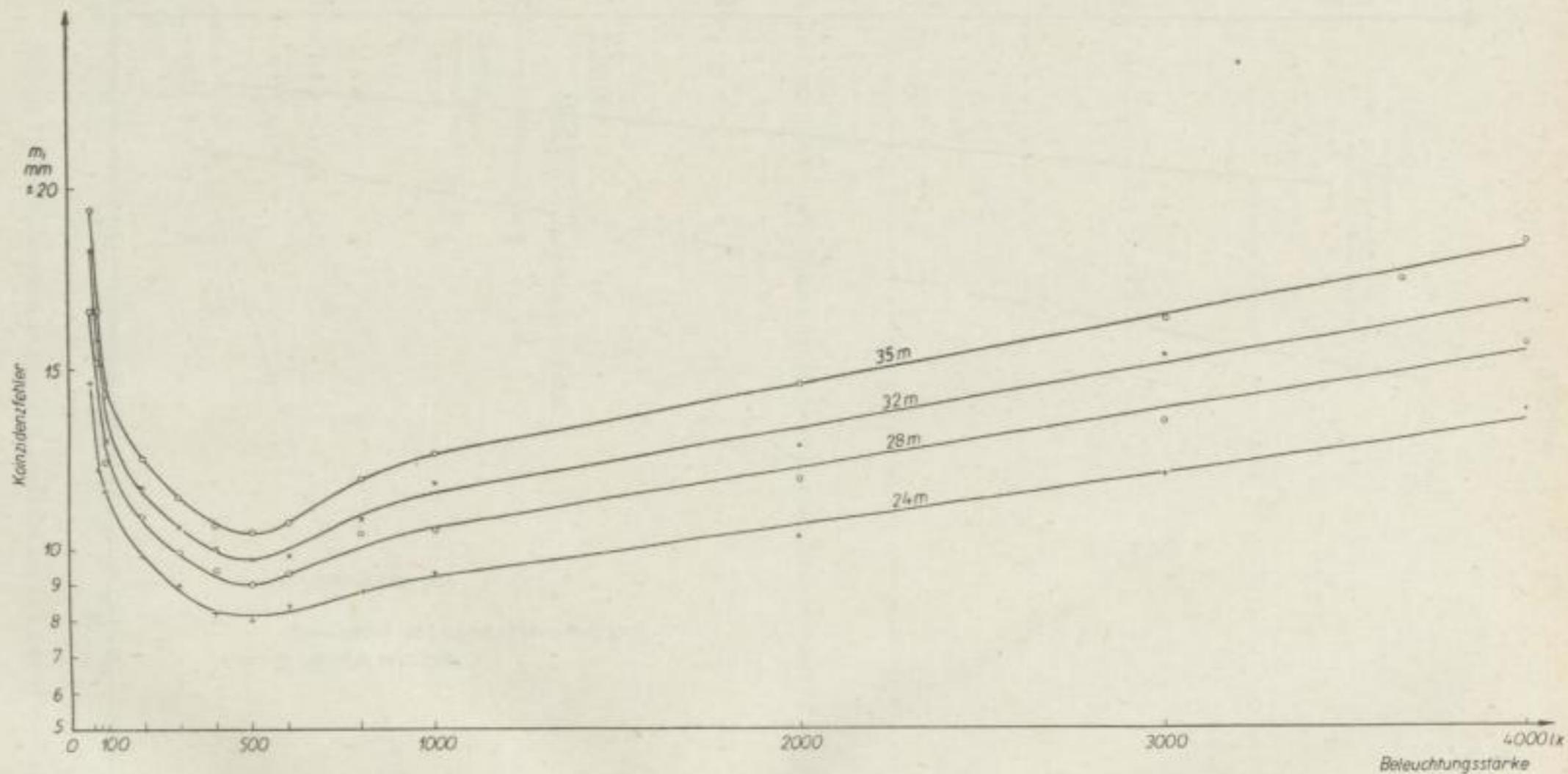


Anlage 4. Koinzidenzgenauigkeit des Dimeßkeiles mit Dimeßhandlatte

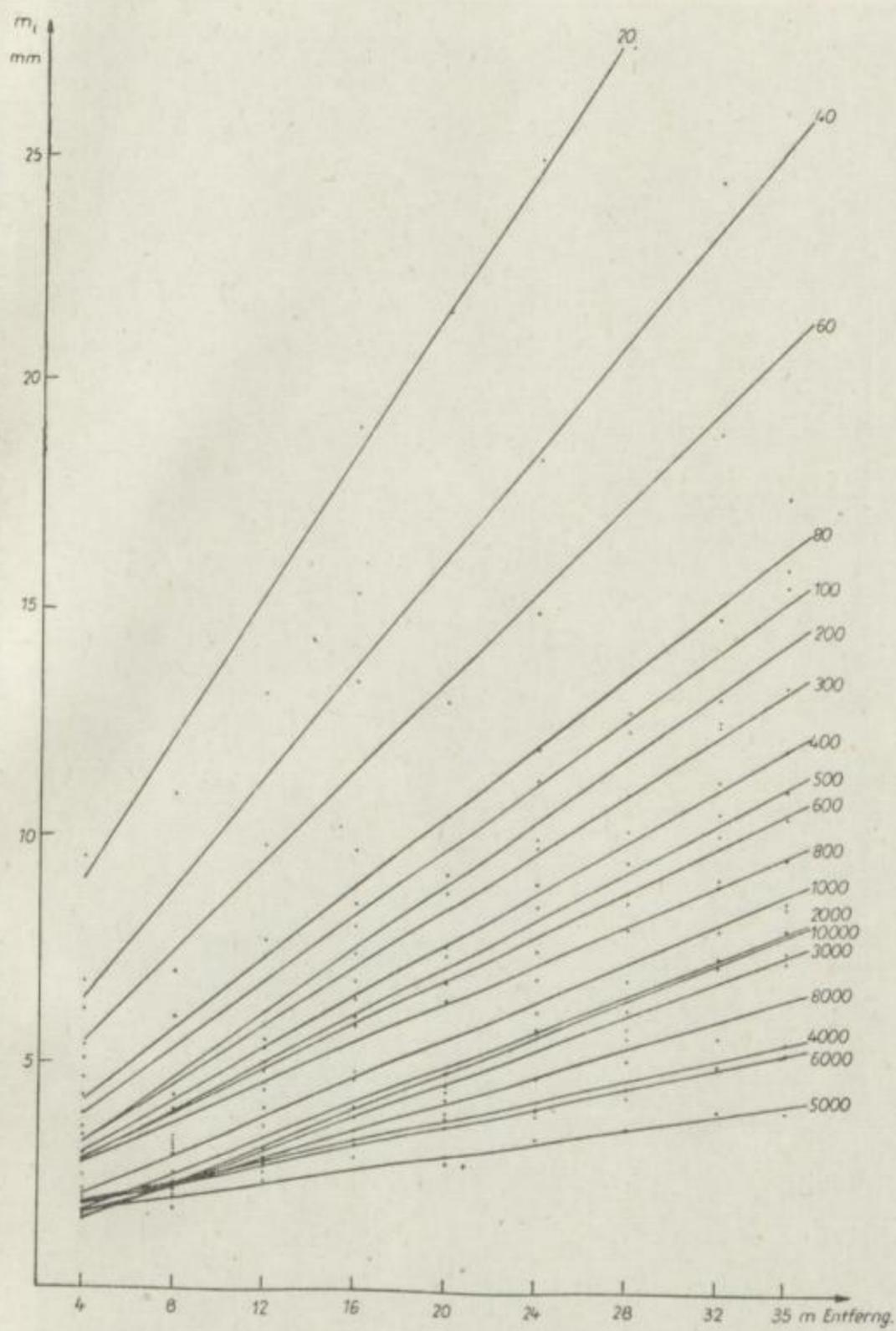


Anlagen

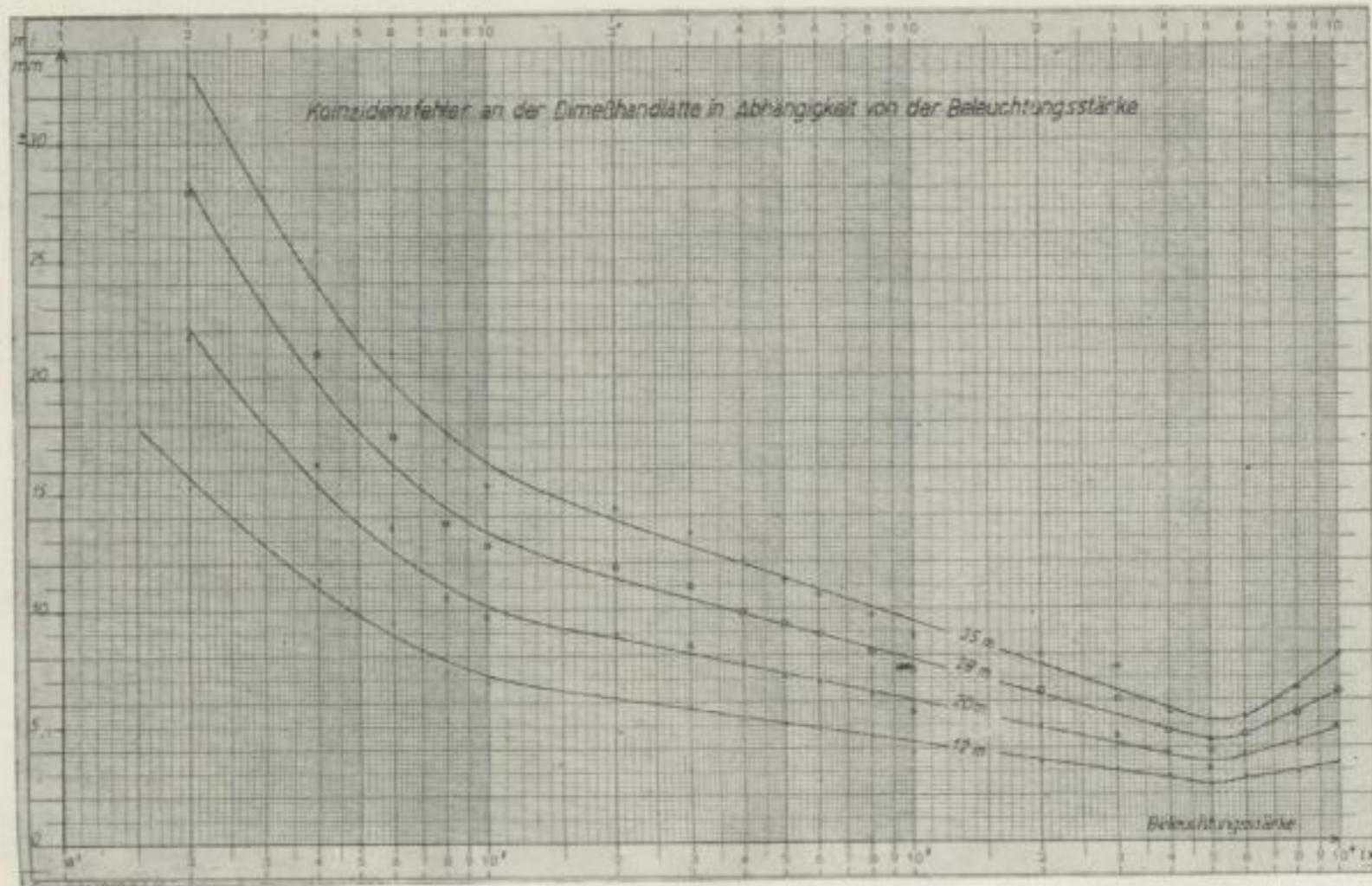
Anlage 5. Äußerer Fehler der Distanzmessung mit dem Theo 030 mit Dimeßkeil



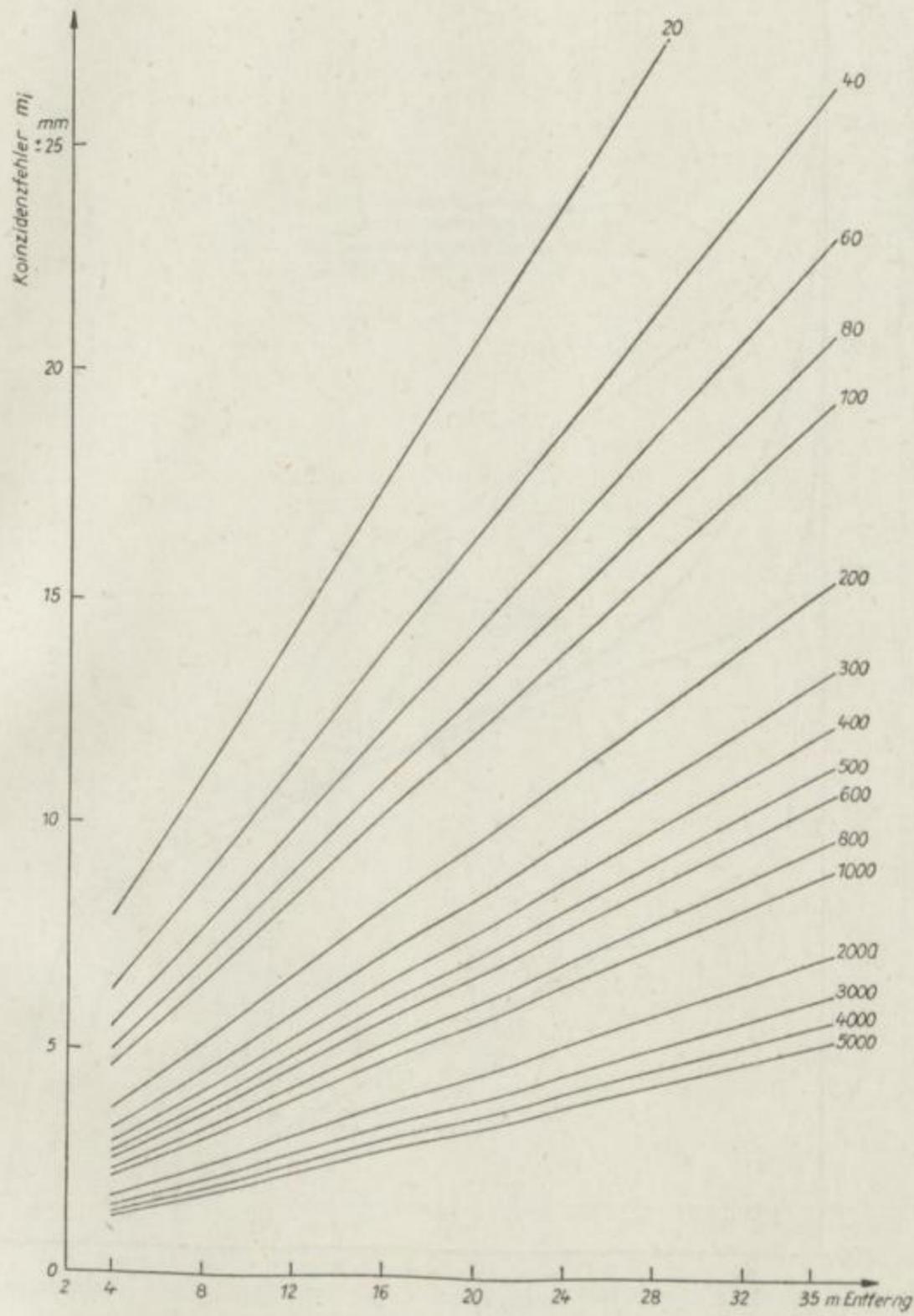
Anlage 6. Der Einfluß der unterschiedlichen Beleuchtungsstärke zwischen Nonius und Lattenwert auf den Koinzidenzfehler



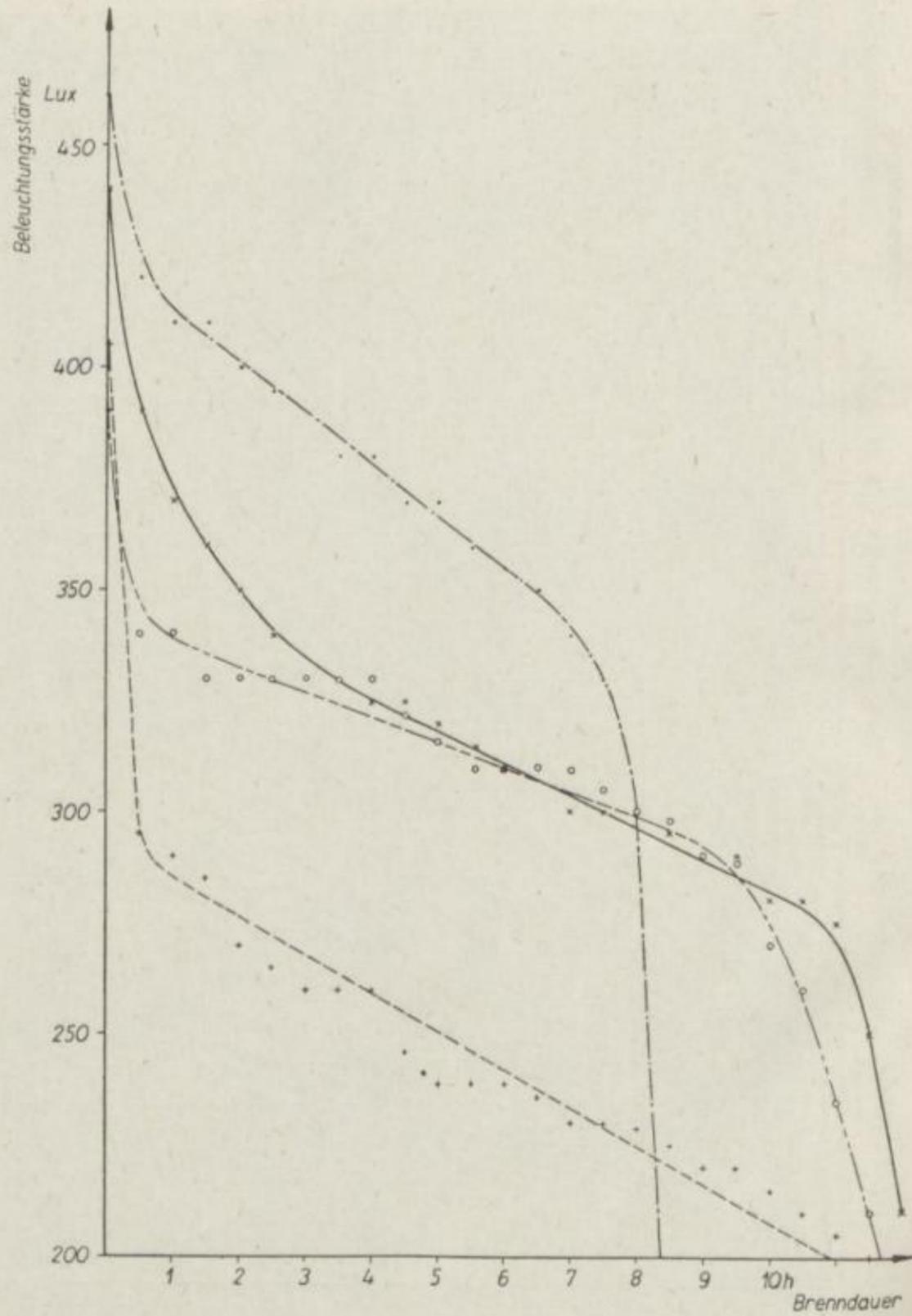
Anlage 7. Koinzidenzfehler in Abhängigkeit von der Entfernung bei verschiedenen Beleuchtungsstärken der Dimeßhandlatte (ausgegliche Meßwerte)



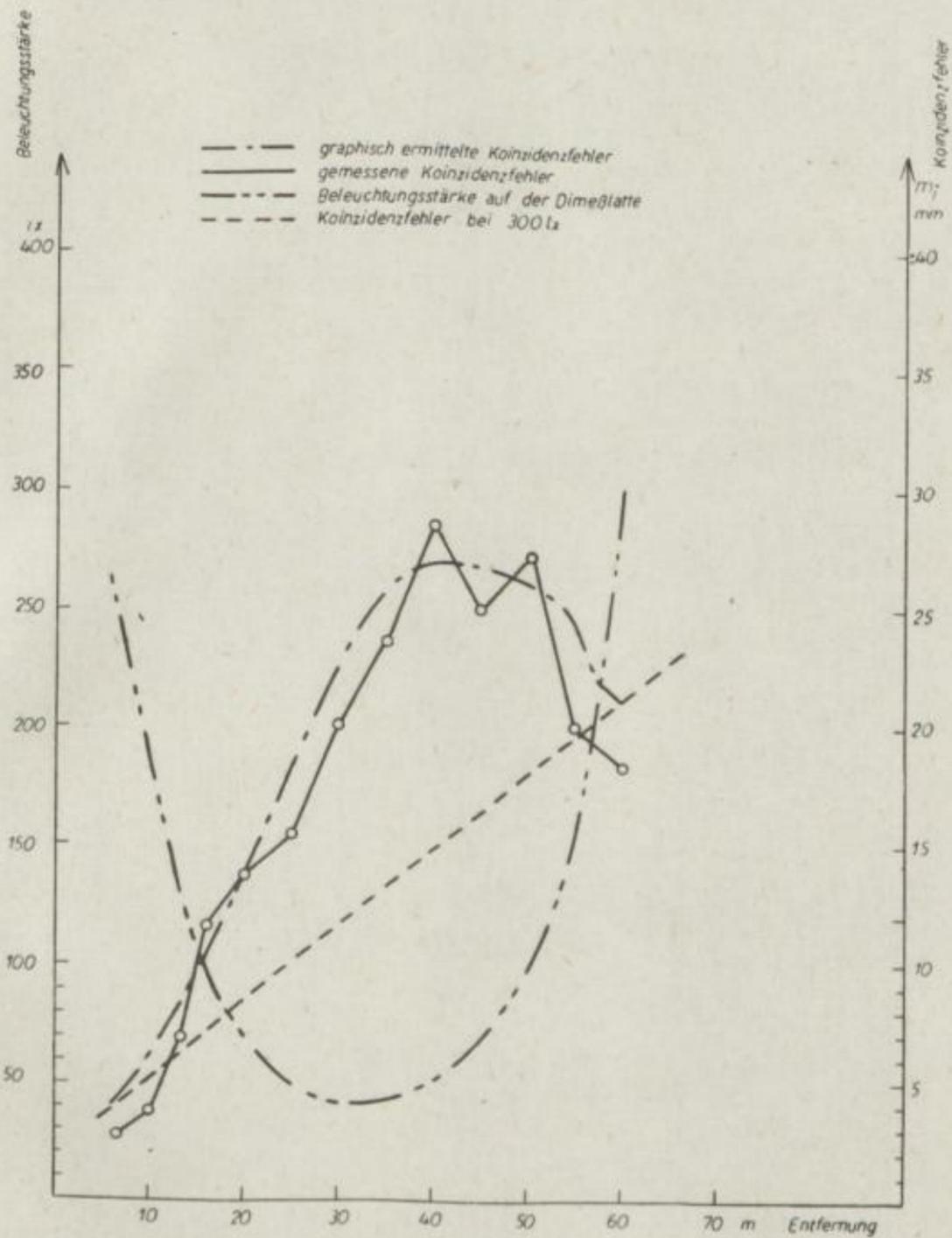
Anlage 8. Koinzidenzfehler in Abhängigkeit von der Beleuchtungsstärke der Dimeßhandlatte bei verschiedenen Entfernungen (ausgeglichene Meßwerte)



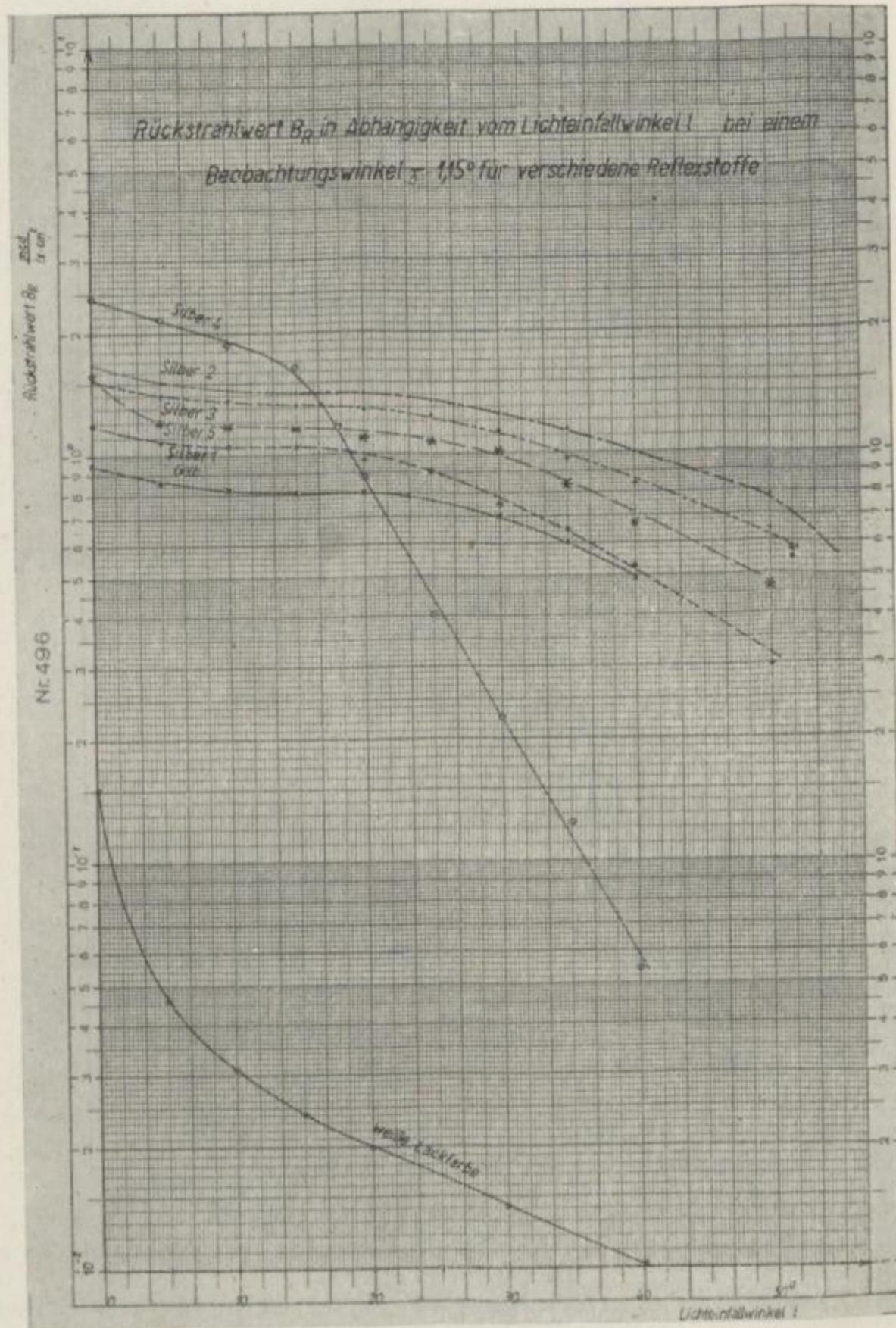
Anlage 9. Koinzidenzfehler in Abhängigkeit von der Entfernung bei verschiedenen Beleuchtungsstärken der Dimeßhandlatte (Geradenbündel nach der Fehlerfunktion)



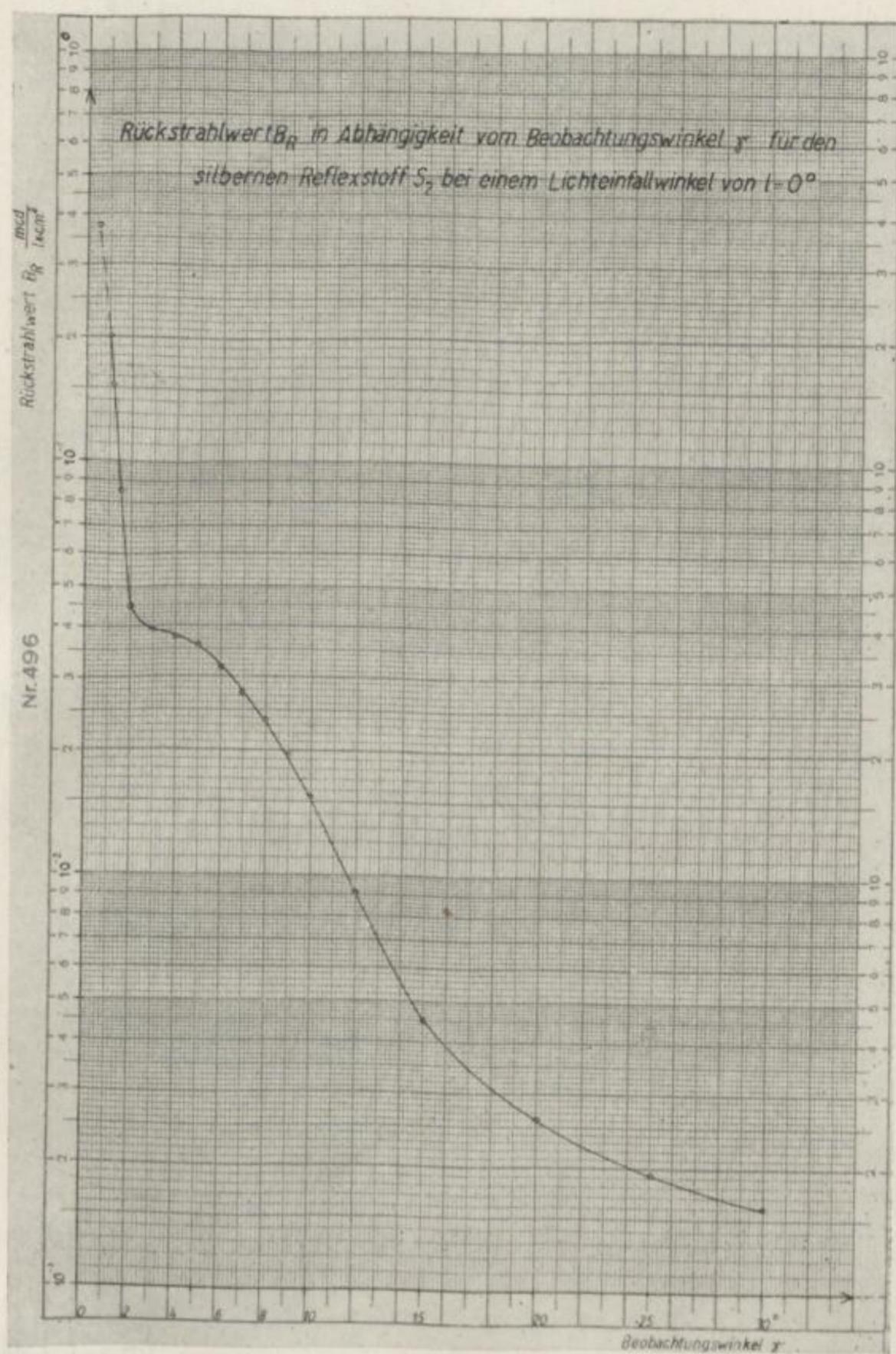
Anlage 10. Die Abnahme der Beleuchtungsstärke von Grubenkopflampen an der Dimeplatte mit der Brenndauer



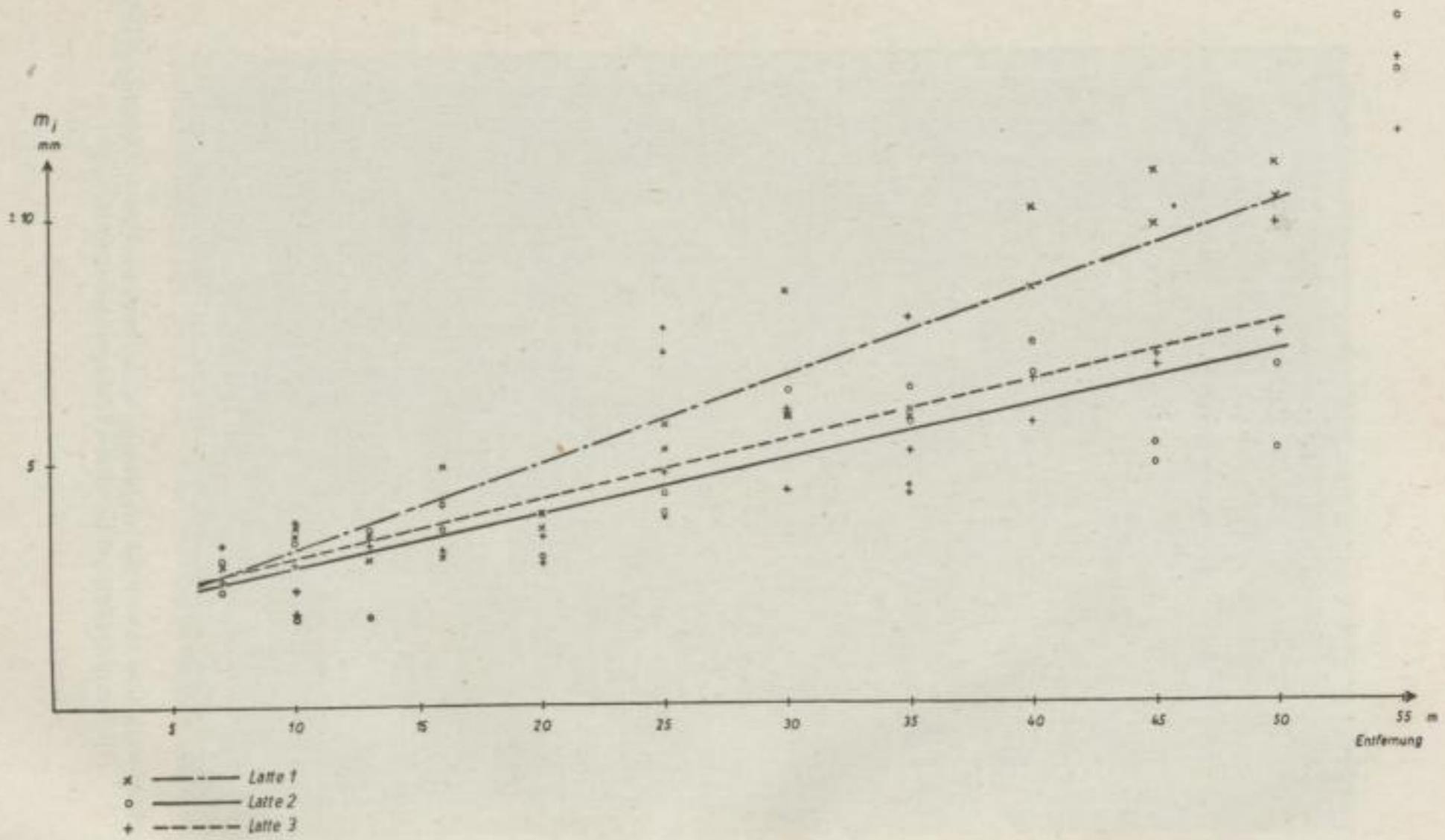
Anlage 11. Der Koinzidenzfehler in Abhängigkeit von der Beleuchtungsstärke an der Dimeßgrubenplatte



Anlage 12. Das Verhalten der Rückstrahlwerte der Reflexstoffe in Abhängigkeit vom Lichteinfallswinkel bei einem Beobachtungswinkel $\gamma = 1,15^\circ$

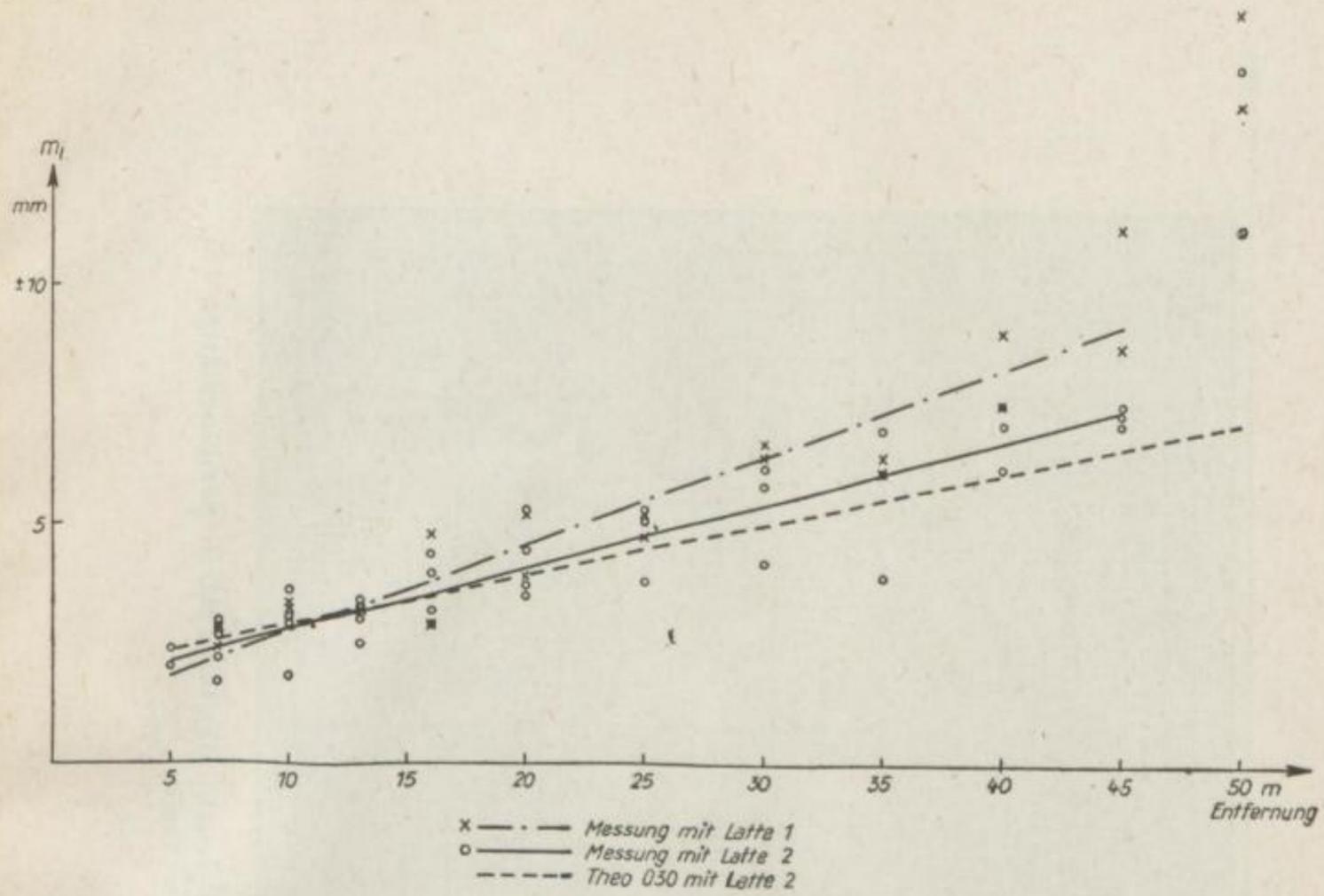


Anlage 13. Das Verhalten der Rückstrahlwerte eines Reflexstoffes in Abhängigkeit vom Beobachtungswinkel bei einem Lichteinfallswinkel $L = 0^\circ$

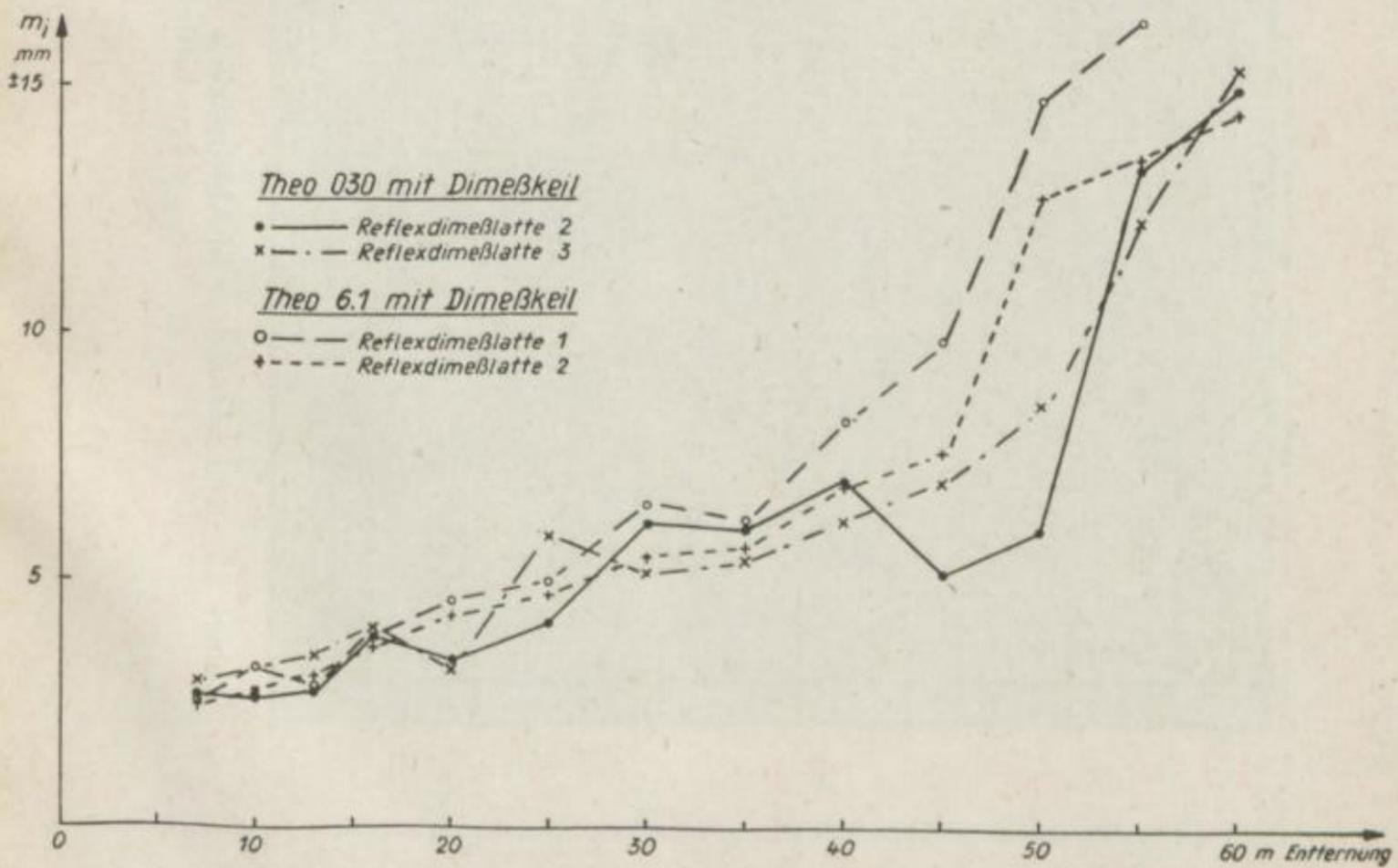


Anlagen

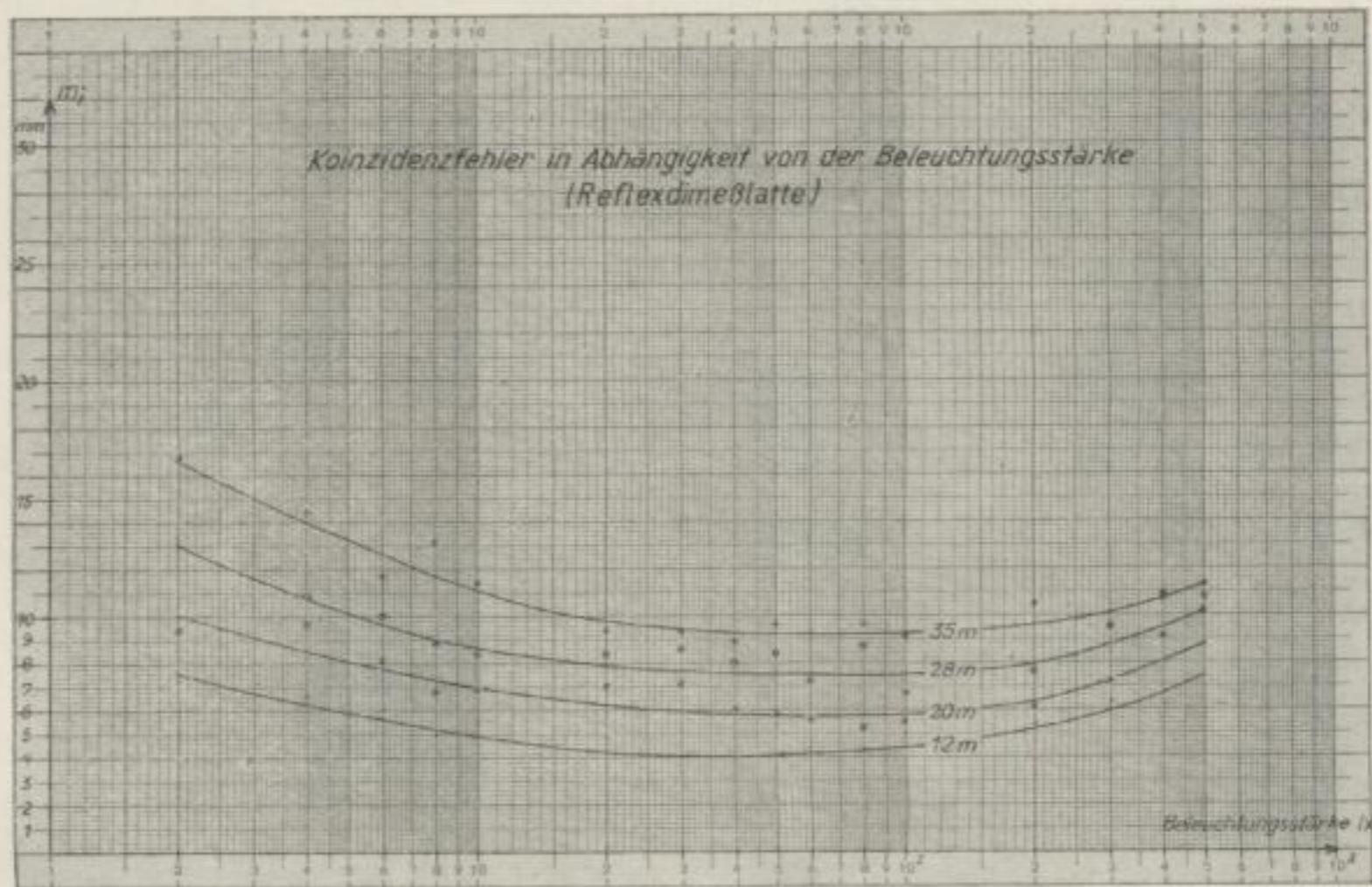
Anlage 14. Koinzidenzgenauigkeit Theo 030 mit Dimeßkeil und Reflexlatten



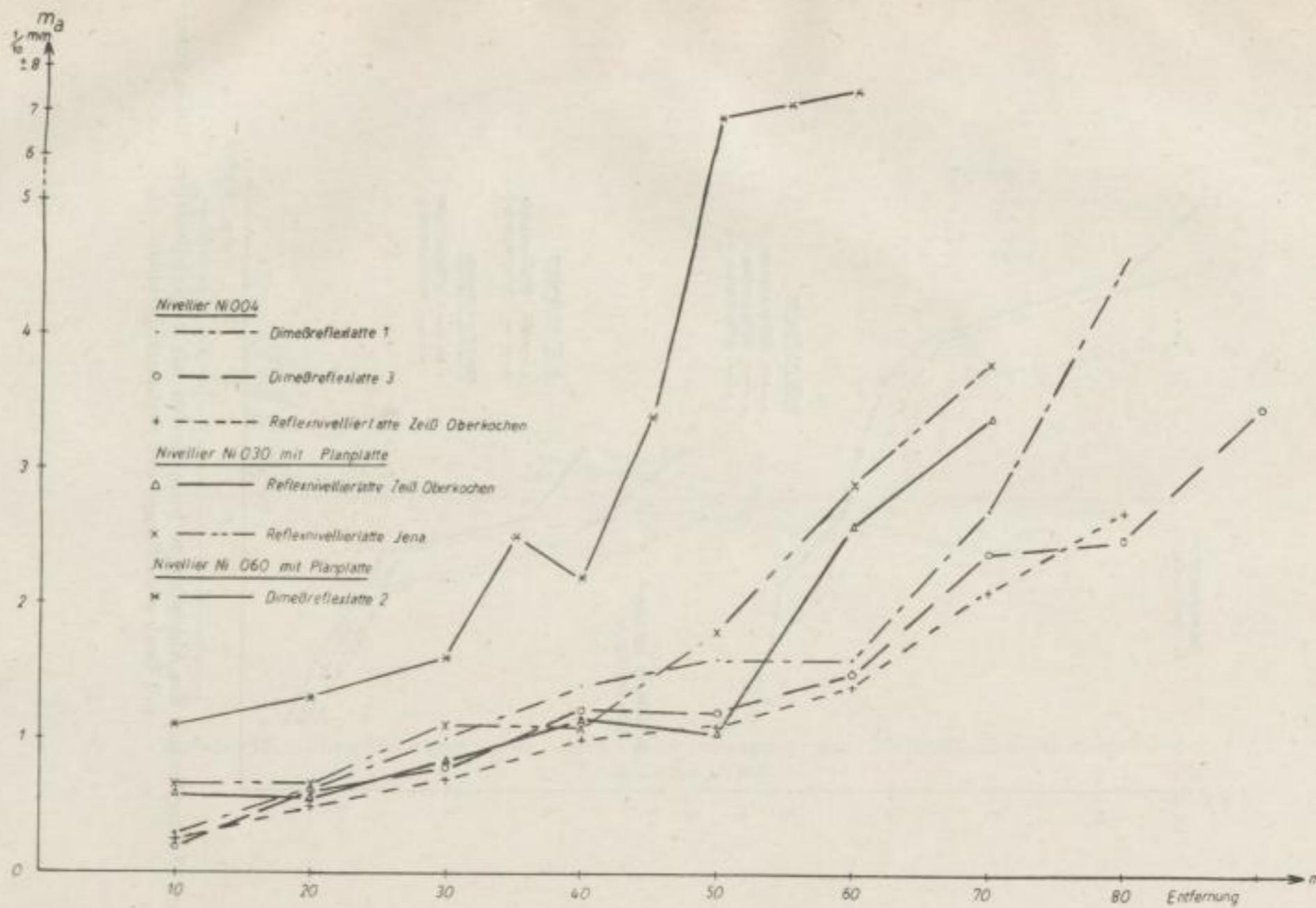
Anlage 15. Koinzidenzgenauigkeit Theo 6.1 mit Dimeßkeil und Reflexlatten



Anlage 17. Der Verlauf des Koinzidenzfehlers beim Messen mit Reflexdimeßplatten. Beleuchtung mit Stableuchte

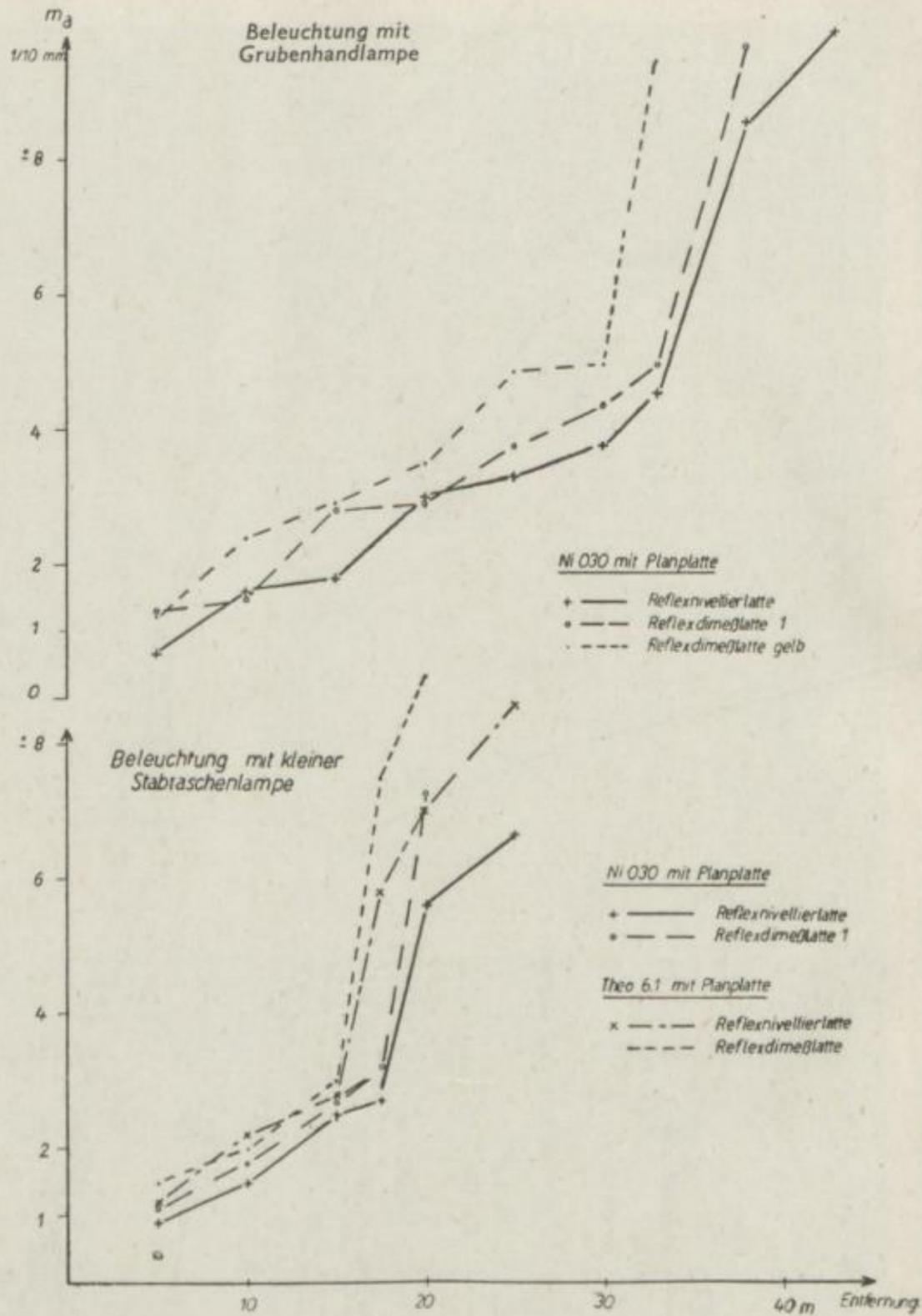


Anlage 16. Koinzidenzfehler in Abhängigkeit von der Beleuchtungsstärke der Reflexdimeßplatten bei verschiedenen Entfernungen

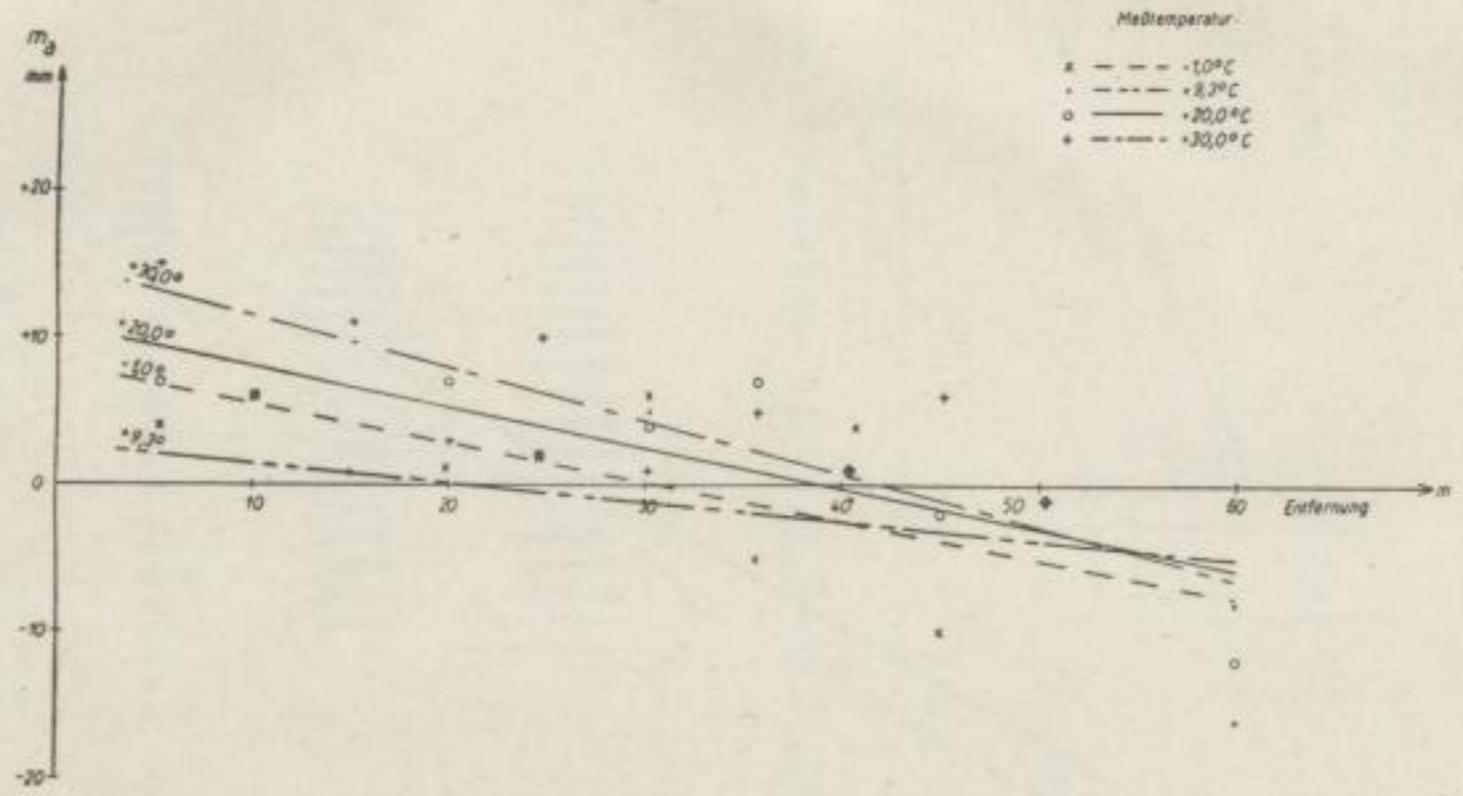


Anlage 18. Der Verlauf des Ablesefehlers beim Messen mit Reflexnivellierlatten. Beleuchtung mit Stableuchte

Anlagen

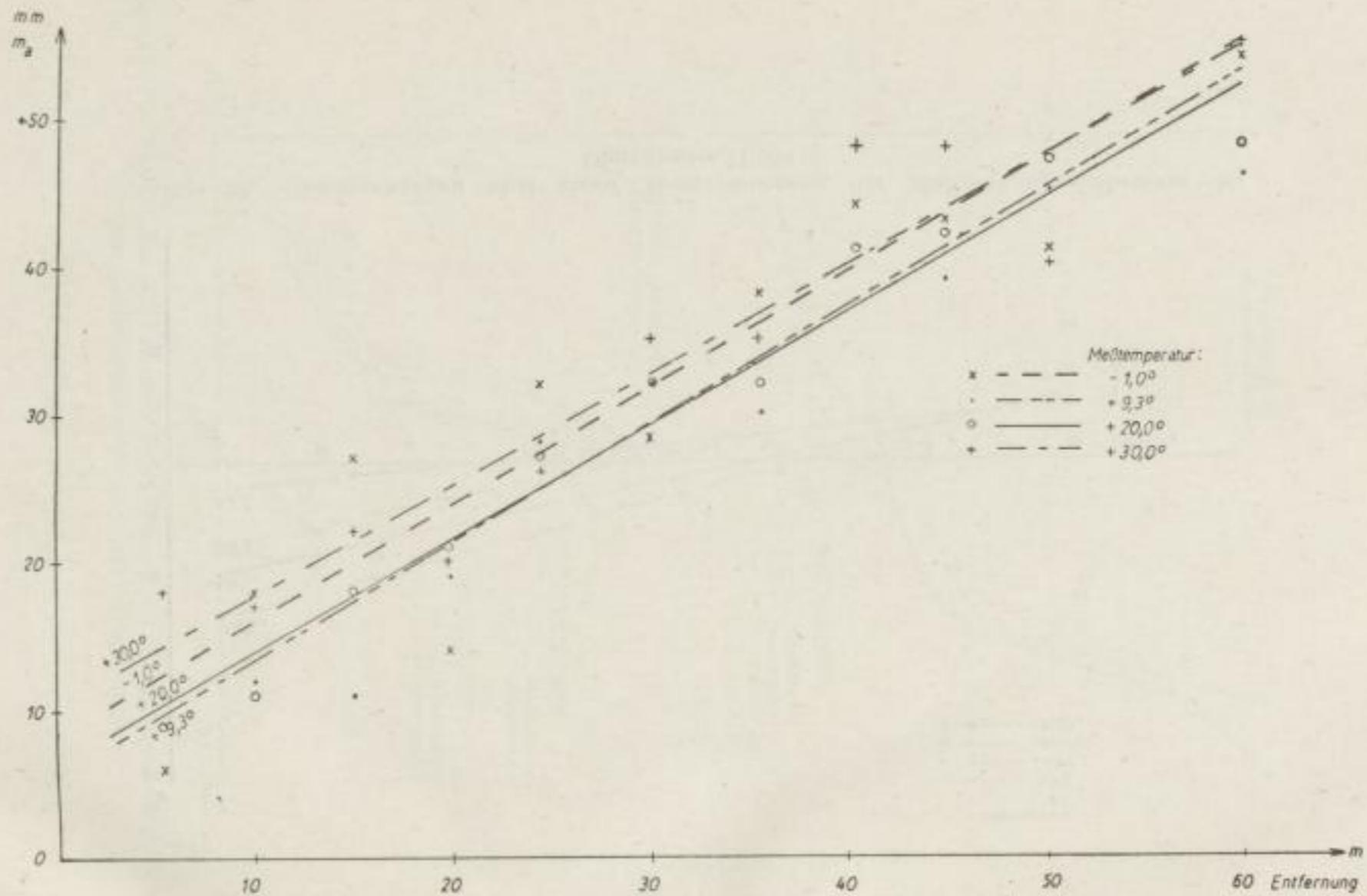


Anlage 19. Der Verlauf des Ablesefehlers beim Messen mit Reflexfolienlatten. Beleuchtung mit Grubenhandlampe und Stabtaschenlampe

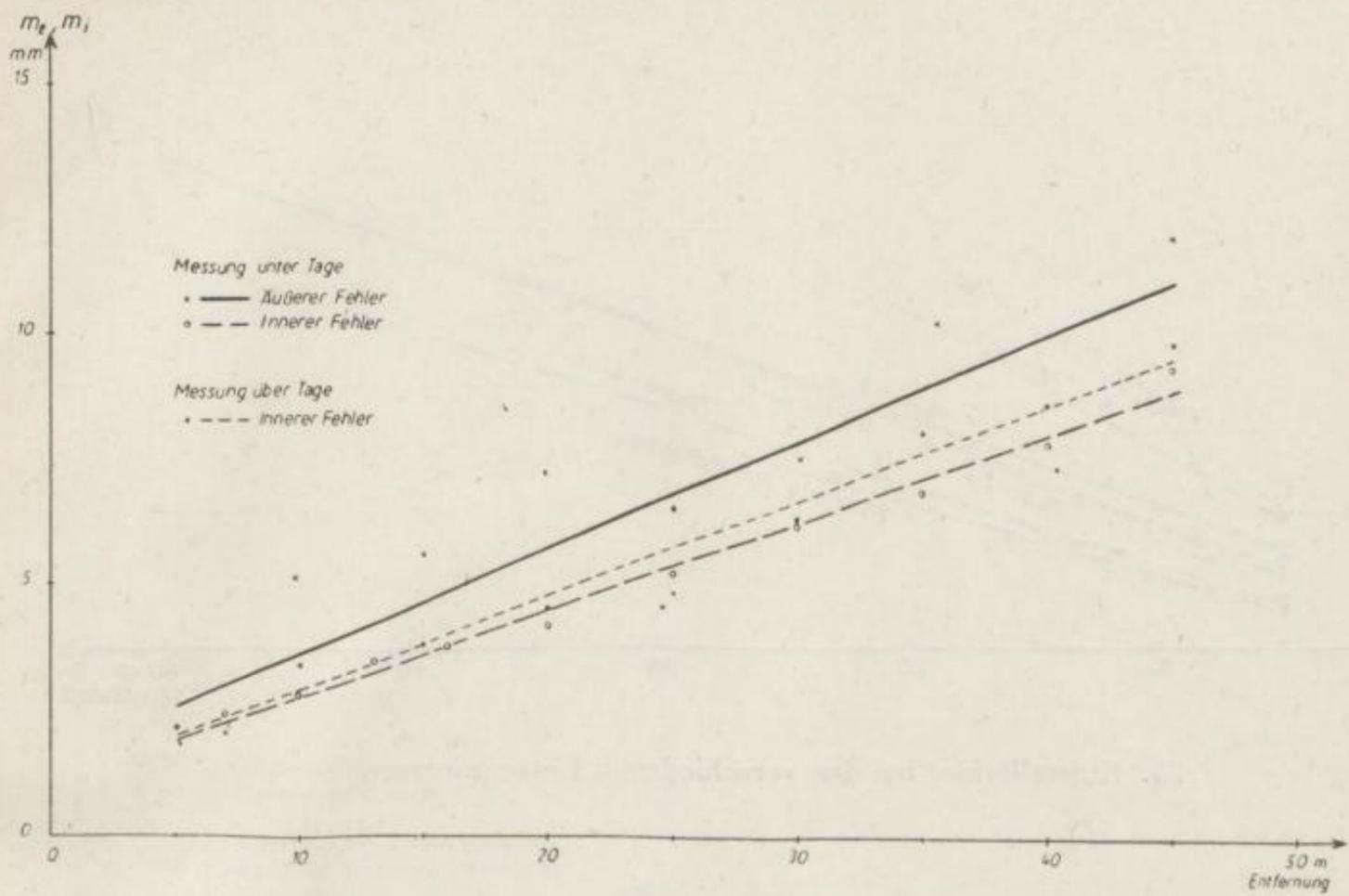


Anlage 20. Untersuchungen über einen Temperaturgang der Multiplikationskonstante des Dimeßkeiles II/360

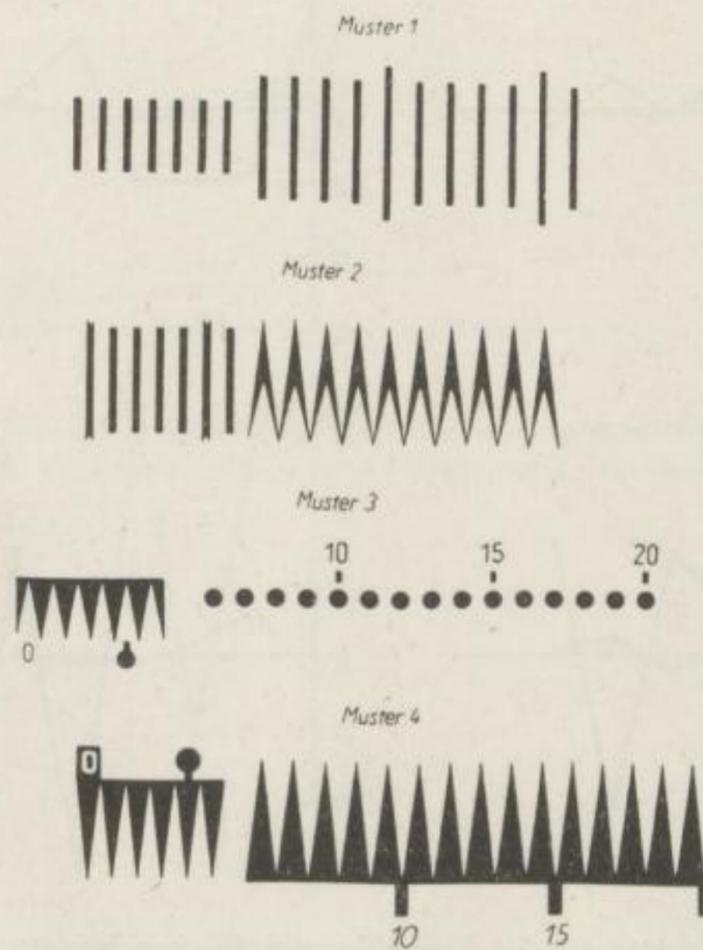
Anlagen



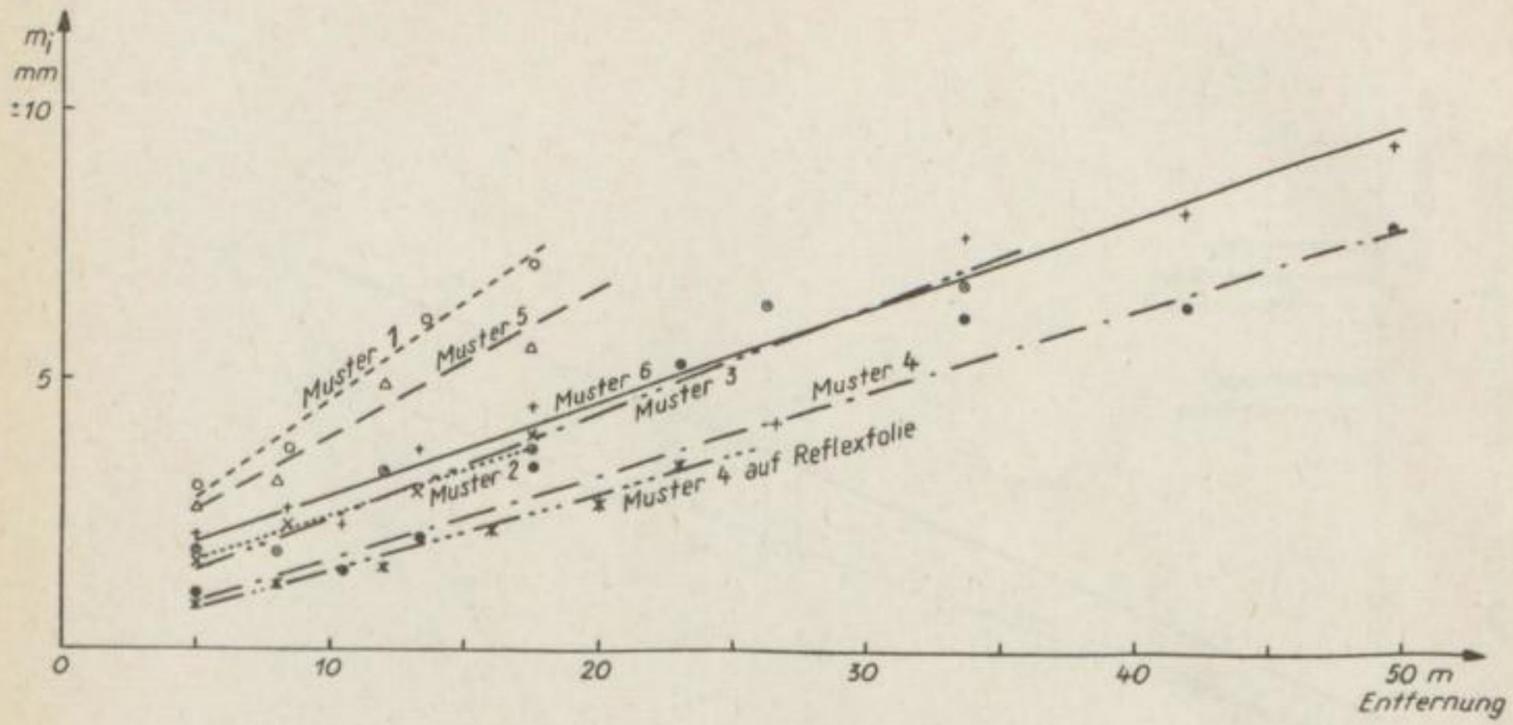
Anlage 21. Untersuchungen über einen Temperaturgang der Multiplikationskonstante des Dimeßkeiles II/342



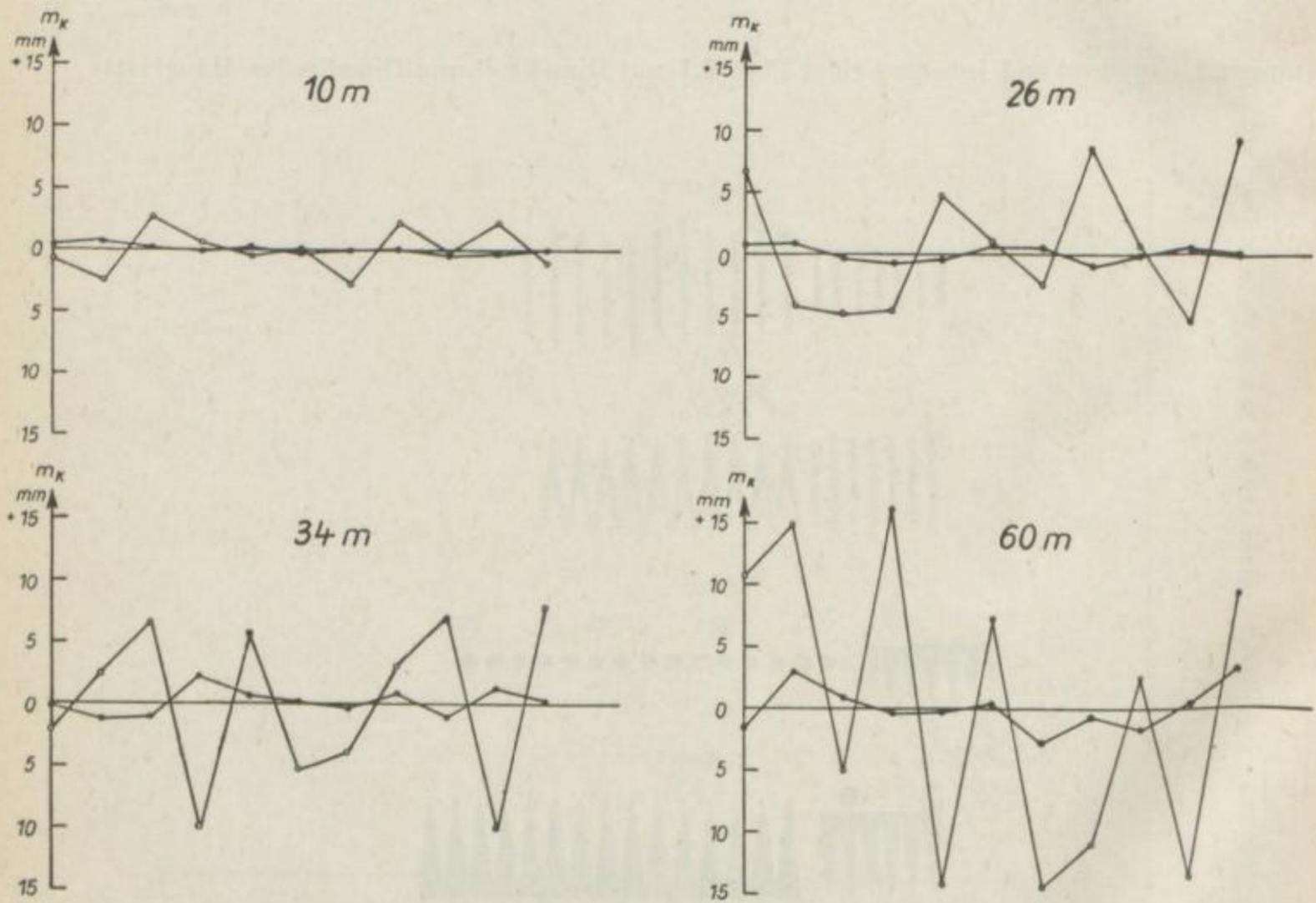
Anlage 22. Äußerer und innerer Fehler Theo 6.1 mit Dimeßkeil und Dimeßreflex-Hängelatte



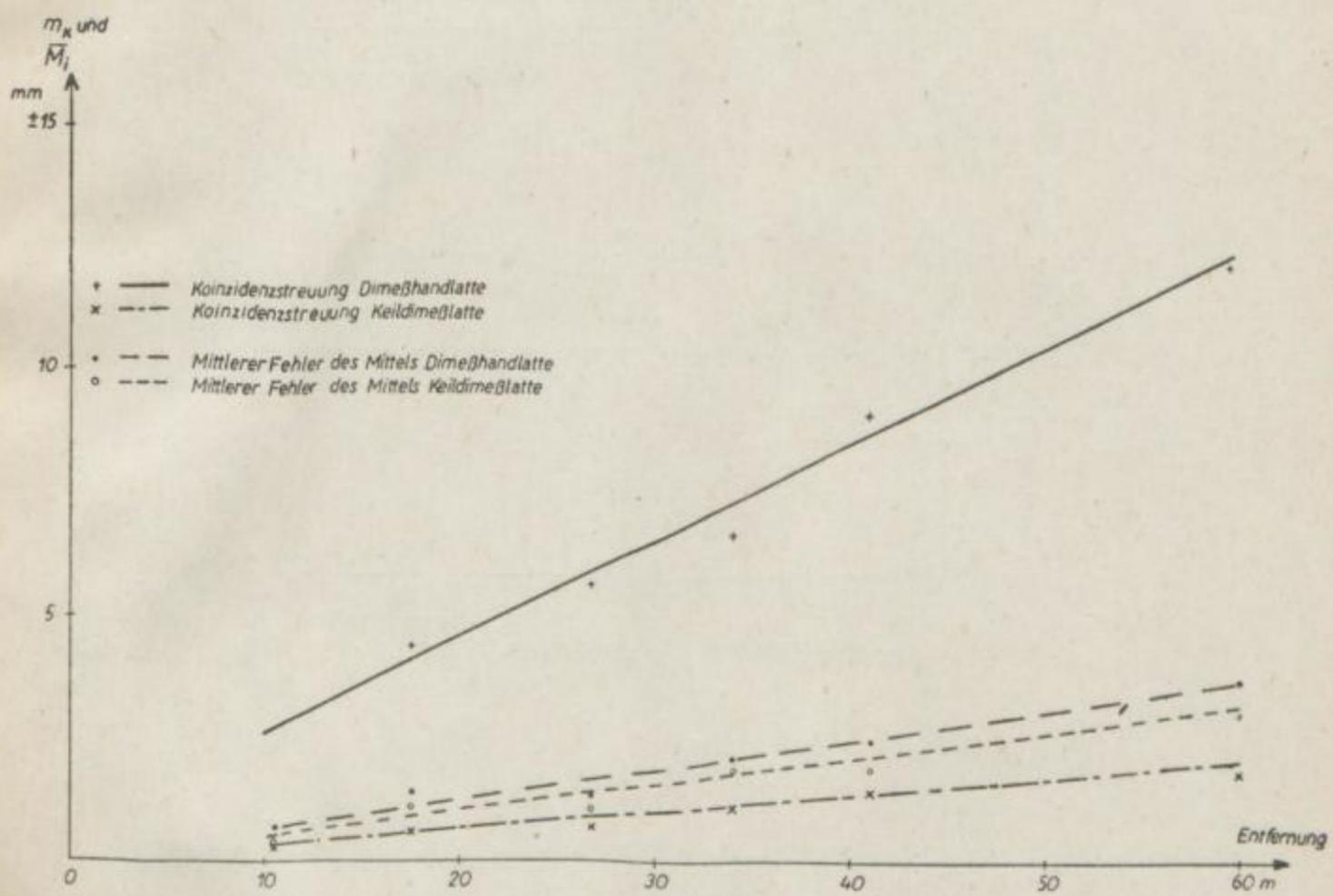
Anlage 23. Muster verschiedener Teilungen für Dimeßplatte



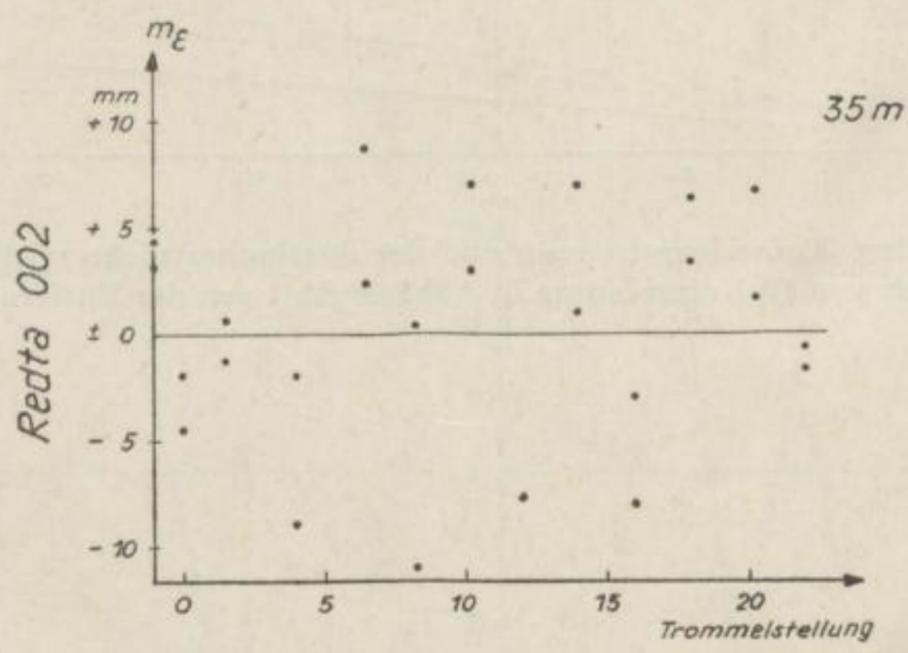
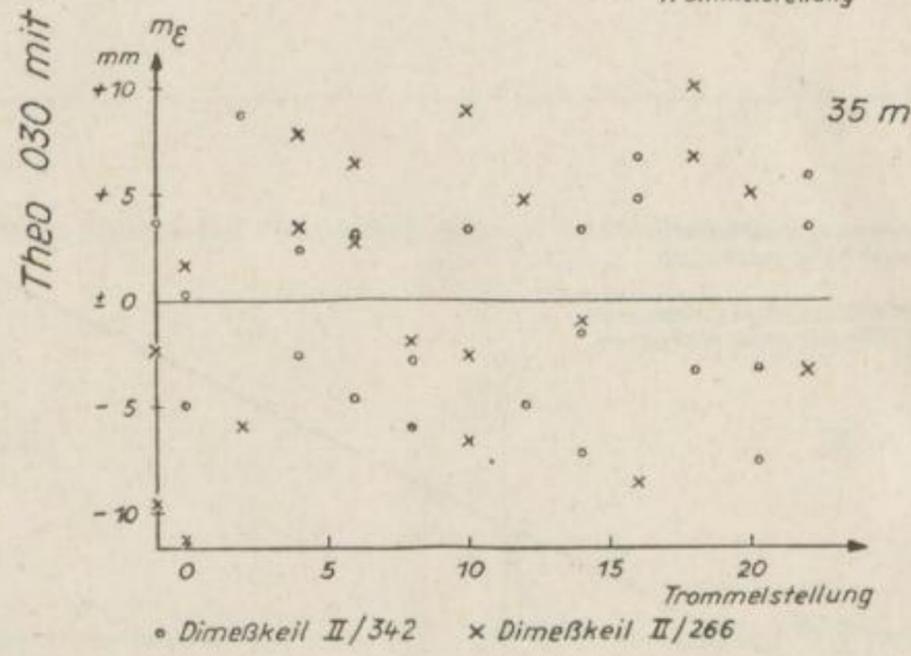
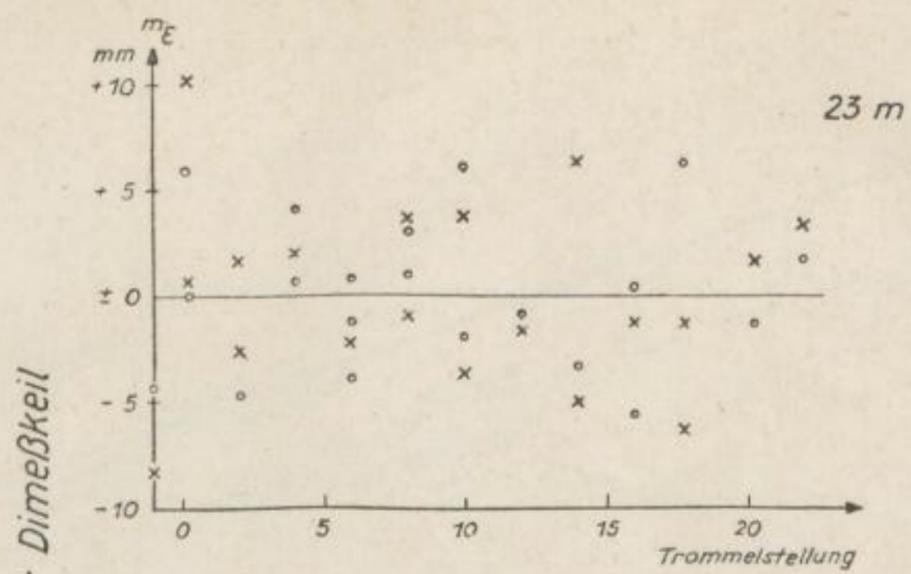
24. Einstellfehler bei den verschiedenen Lattenmustern



Anlage 25. Streuung der Mittelwerte aus 10 Koinzidenzen (Koinzidenzstreuung) bei verschiedenen Entfernungen



Anlage 26. Mittlere Koinzidenzstreuung und der durchschnittliche mittlere Fehler des Mittels von 10 Koinzidenzen in Abhängigkeit von der Entfernung



Anlage 27. Distanzfehler beim Redta 002 und Theo 030 mit Dimeßkeil in Abhängigkeit von der Trommelstellung

Handerei
Bergakademie
Freiberg i. Sa.

