

Berg- und Hüttenwesen.

Unter Mitwirkung von C. v. Ernst, k. k. Hof- und Kommerzialrat in Wien,

Gustav Kroupa.

k. k. Bergrat in Brixlegg.

redigiert von

und

Franz Kieslinger,

k. k. Oberbergverwalter in Wien.

Ständige Mitarbeiter die Herren: Karl Ballng, k. k. Bergrat, Oberbergverwalter der Dux-Bodenbacher Eisenbahn i. R. in Prag; Eduard Doležal, o. ö. Professor an der technischen Hochschule in Wien; Eduard Donath, Professor an der technischen Hochschule in Brünn; Willibald Foltz, k. k. Kommerzialrat und Direktor der k. k. Bergwerks-Prod.-Verschl.-Direktion in Wien; Karl Habermann, k. k. o. ö. Professor der Montanistischen Hochschule in Leoben; Hans Hüfer, k. k. Hofrat und o. ö. Professor der Montanistischen Hochschule in Leoben; Josef Hörhager, Hüttenverwalter in Turrach; Adalbert Káš, k. k. o. ö. Professor der Montanistischen Hochschule in Příbram; Johann Mayer, k. k. Bergrat und Zentralinspektor der k. k. priv. Kaiser Ferdinands-Nordbahn; Franz Poech, Hofrat, Vorstand des Montandepartements für Bosnien und die Herzegowina in Wien; Dr. Karl A. Redlich, a. o. Professor der Montanistischen Hochschule in Leoben; Karl von Webern, k. k. Sektionschef im k. k. Ackerbauministerium und Viktor Wolff, kais. Rat, k. k. Kommerzialrat in Wien.

Verlag der Manzschen k. u. k. Hof-Verlags- und Universitäts-Buchhandlung in Wien, I., Kohlmarkt 20.

Diese Zeitschrift erscheint wöchentlich einen bis zwei Bogen stark mit Textillustrationen und artistischen Beilagen. **Pränumerationspreis:** jährlich für Österreich-Ungarn K 24,—, halbjährig K 12,—; für Deutschland M 21,—, resp. M 10,50. Reklamationen, wenn unversiegelt portofrei, können nur 14 Tage nach Expedition der jeweiligen Nummer berücksichtigt werden.

INHALT: Spannungen im Gesteine als Ursache von Bergschlägen in den Příbramer Gruben. — Das Gruben-Nivellierinstrument von Cséti und seine Modifikation nach Prof. Doležal. (Fortsetzung.) — Schutzvorrichtungen beim österreichischen Bergbaubetriebe. — Das Bergwesen auf der hygienischen Ausstellung in Wien (Rotunde) 1906. — Der elektrische Antrieb von Walzenstraßen. (Schluss.) — Notizen. — Literatur. — Eingesendet. — Amtliches. — Ankündigungen.

Spannungen im Gesteine als Ursache von Bergschlägen in den Příbramer Gruben.*)

Von k. k. Oberbergverwalter **Hugo Stefan.**

In manchen Kohlengruben sind Bergschläge, auch Pfeilerschüsse genannt, eine ebenso bekannte als gefürchtete Erscheinung¹⁾, deren genaue Kenntnis sowohl vom geologischen Standpunkte als auch im Hinblick auf erhöhte Betriebssicherheit im Bergbaue wünschenswert ist und gewiss die beste Förderung erfährt, wenn von verschiedenen Seiten Beobachtungen über jene Gefahr vorliegen, welche nicht allein vielen Kohlenbergbauen, sondern auch manchen anderen unterirdischen Betrieben erschwerend in den Weg tritt.

Dynamische Vorgänge.

(Gesteinsspannungen können sowohl durch chemische als auch mechanische Ursachen entstehen, doch kommen in dem hier zu behandelnden Falle nur letztere in Betracht.

Sucht eine schiebende Kraft, wie sie bei der Gebirgsbildung eine hervorragende Rolle spielt, eine Reihe übereinander liegender, verschiedenartiger Schichten, z. B. Thone, mit zwischengelagerten Kohlenflözen zu falten, so

*) Siehe auch diese Zeitschr. Jahrg. 1905, S. 349, Franz Mládek: Über Erderschütterungen im Příbramer Bergbauterrain.

¹⁾ Baumgartner: Über Störungen und eigenartige Druckerscheinungen der oberbayrischen, tertiären Kohlenmulde auf Grube Hausham, „Österr. Ztschr. f. B.- u. Hüttenw.“, 1906, Nr. 36 ff.; ferner Dill: Die in den letzten Jahren auf Steinkohlengruben des Oberbergamtsbezirkes Dortmund vorgekommenen Gebirgsstöße und die hierdurch herbeigeführten Unfälle, „Ztschr. f. d. B.-, H.- u. S.-Wesen im Preuß. Staate“, 1903, S. 439 ff.

werden auch in dem Falle, wo sich die Pressung gleichmäßig auf alle Glieder erstreckt — was aber keineswegs immer zutreffen muss — die Beanspruchung und Spannung der Schichten je nach den Kohäsionsverhältnissen verschieden sein. Nach der Durchbiegung befinden sich die milden, plastischen Thone in einem anderen Spannungszustande als die festere, spröde Kohle. Ähnliche, wenn auch bei weitem nicht so einfache Vorgänge sind besonders für größere Tiefen denkbar. Äußert sich die Schubkraft vornehmlich auf eine in größerer Tiefe liegende Schicht, dann wirkt ihrer Faltung das Gewicht der überlagernden Gebirgsmasse entgegen. Nahe der Erdoberfläche fand meist ein Spannungsausgleich längst statt, teils weil die hemmende Gebirgsdecke vielleicht durch eine während ungezählter Jahrtausende fortgesetzte Abtragung (Denudation) entfernt wurde, oder weil durch Verwittern eine tiefer reichende Lockerung der Massen erfolgte. So lange ein Gebirgsmitglied im festen Verbande mit anderen steht, vermag es viel größeren Kräften zu widerstehen, als nach Störung, oder gar dessen Lösung, wie solche eben im Bergbaubetriebe häufig eintritt. Die Verhältnisse liegen ganz ähnlich, wie etwa bei einem auf Druck beanspruchten Stabe. Genügt zu dessen Knickung im Falle, wo er bloß an beiden Enden fest-

gehalten wird, eine gewisse Kraft $\left(K = \frac{\pi^2 E T}{L^2} \right)$, so ist eine 4, 9, 16 mal so große nötig, wenn er außerdem noch an 1, 2, 3 gleichmäßig über seine Länge verteilt

Punkten in seiner Lage festgehalten und am Durchbiegen gehindert wird. Bei einer Störung des Schichtenverbandes, z. B. durch bergmännische Tätigkeit und der hiermit oft verbundenen plötzlichen Änderung der Spannungsverhältnisse können Brüche mit elementarer Gewalt und Bergschläge eintreten.

Zum Beweise dafür seien hier folgende in F. R. v. Hauers Geologie der österr.-ungar. Monarchie angeführte Tatsachen in Erinnerung gerufen:

„Sehr interessante Beobachtungen über eine so zu sagen latente Pressung, in der sich Gesteinsplatten in ihrer natürlichen Lage in der Erdkruste befinden, und die plötzliche Lösung derselben, hat Professor Niles in Boston veröffentlicht. In verschiedenen Steinbrüchen Amerikas beobachtete er, dass größere Platten bei der Loslösung aus ihrem Schichtenverbände eine plötzliche Ausdehnung erleiden, die nach angestellten Messungen mindestens 1 : 1000 ihrer Gesamtlänge betrug. Diese Ausdehnung zeigten sie in nordsüdlicher, nicht aber ostwestlicher Richtung. In Lemont, 20 Miles südlich von Chicago, wurde durch einen Steinbruch im Kalkstein (sog. Niagara-Kalkstein) durch Abräumung der höheren Schichten die Oberfläche einer tieferen Schichte auf der Sohle des Bruches bloßgelegt. Diese Schichte wölbte sich nun allmählich sanft auf und bildete eine Welle, deren von Ost nach West verlaufende Scheitellinie auf mehr als 800' zu verfolgen war. Die Höhe der Welle betrug 6 bis 8", ihre Länge bei 18', und auf der Scheitellinie entstand unter Explosionsgeräusch ein longitudinaler Sprung, eine wirkliche von Ost nach West streichende Kluft. Die Aufwölbung war offenbar die Folge einer horizontalen Pressung, u. zw. auch hier in nordsüdlicher Richtung, der die Schichte nachgeben konnte, sobald sie vom Drucke der auflagernden Massen befreit worden war.“

Die Ursache von Bergschlägen ist demnach, abgesehen von chemischen Vorgängen, hauptsächlich im Zusammenwirken einer wechselnden Anzahl nachbenannter Faktoren zu suchen:

Unterschiede in der Zusammensetzung, Struktur und Kohäsion der Schichten, somit auch verschiedene Widerstandsfähigkeit gegen Pressungen, bei derartiger Anordnung der Gebirgsglieder, dass ein Auslösen vorhandener Spannungen leicht eintritt und eine Tiefenlage, in welcher einerseits die Belastung durch die überlagernden Massen zur Wirksamkeit gelangt, andererseits die Gesteinsverwitterung nicht zu weit fortgeschritten ist.

Dies vorausgeschickt, mögen nun die einschlägigen Verhältnisse der Příbramer Gruben betrachtet werden.

Geologischer Überblick.

Daselbst gelangen Silber- und Bleierzgänge, die im Gefolge vielfach verzweigter, verschiedenen mächtiger Grünstein-, u. zw. am Birkenberge Diabasgänge auftreten, zum Abbau. Sie setzen mit östlichem oder westlichem Verflächen von 70° bis 90° und annähernd nordsüdlichem Streichen in einer 2 bis 3,5 km breiten, von Nordost gegen Südwest verlaufenden Mulde kambrischer Sand-

steine auf, deren nordwestlicher Flügel unter 80° aufgerichtet ist, während der südöstliche flach ansteigt. Der Maria-Schacht ist 350 m westlich von der Muldenmittellinie angelegt, nähert sich ihr am 30. Laufe (1009 m) auf 40 m und schneidet sie am 32. Laufe (1109 m), wo eine lotrechte Verwerfungskluft die söhligenden Schichten durchdringt, so dass östlich der Kluft die Bänke 25 cm unterhalb der westlichen erscheinen. Dieselbe zeigt ein zu den Sandsteinen nahezu senkrechtes Streichen. Insbesondere in den östlichen, tiefer liegenden Bänken sind in merkbarem Gegensatze zu den westlichen mehrere bis zu 1 cm mächtige, die Schichtung verquerende, aber nicht verwerfende Calzitklüfte sichtbar, welche am Verwerfer ihren Ausgang nehmen und jüngeren Ursprungs sind.

Die einzelnen, häufig auskeilenden Schichten unterscheiden sich sowohl in ihrer Mächtigkeit als auch der Zusammensetzung und Struktur nach, äußerst feste, quarzige Grauwacken wechseln mit thonigen, fein- und grobkörnige mit dichten, mehr oder weniger schiefrigen.

Die Diabase, welche am Aufbau des Gebirges bedeutenden Anteil nehmen, besitzen im wenig zersetzten Zustande die Härte des Feldspates, sind hingegen im stark angegriffenen mild. Dass die mit dem Eindringen der Grünsteine in die Grauwacken verbundene Zusammendrängung der Massen auch starke Pressungen verursachen musste, ist naheliegend.

Die im Diabase auftretenden, zuweilen auch in die Sandsteine übergreifenden Erzgänge sind von Calzitgängen und diese von tauben, viele Gleitflächen aufweisenden Klüften begleitet und durchsetzt, was auf großartige Gebirgsbewegungen hindeutet. Obgleich das Gesamtstreichen der Gangspalten meist nur geringer Änderung unterliegt, sind sie doch krummlinig und vielfach verzweigt. Die Zahl der Erzgänge bleibt im Vergleiche zu jener der Grünsteingänge auffallend zurück.

Lässt sich bereits aus den hier nur in zulässigster Kürze angedeuteten Tatsachen ein Schluss auf die tätig gewesenener tnermesslichen Kräfte ziehen, so muss sich derselbe dem Beschauer der sog. Lettenkluft geradezu aufdrängen. Diese schneidet die Sandsteinmulde gegen Nordwesten ab und ist eine der gewaltigsten bisher durch den Bergbau aufgedeckten Verwerfungsklüfte.

Jenseits der unter 70° nordwestlich verflächenden Kluft stehen dunkle, vielfach gewundene und verdrückte Schiefer an. Sie ist älter als die Grünsteine, doch erweisen sich die Gänge, falls sie überhaupt in die wegen ihrer Biegsamkeit für die Spaltenbildung ungünstigen Schiefer übertreten, sehr bald unbauwürdig und meist mehrere Meter gegen Nordost verschoben.

Die bezeichneten Lagerungs-, Gesteins- und Gangverhältnisse verleihen der ganzen Gebirgsmasse ein auffallend ungleiches Gefüge und die mannigfachen Kräfte, denen sie ausgesetzt war, mögen in den ungleichartigen Gliedern auch ungleiche, selbst heute noch, wenn auch in viel schwächerem Maße vorhandene Spannungen verursacht haben, die sich öfter in Bergschlägen äußern.

Erscheinungsformen der Schläge.

Am Maria-Schachte finden Bergschläge in zweierlei Formen statt:

1. Beim Vortrieb von Feldörter und Firtenstraßen im festeren Grünsteine lässt sich häufig ein Knistern und Prasseln vernehmen, welches auf stattfindende Bildung feiner Risse zurückzuführen ist und den Bergmann zur Vorsicht mahnt, denn allzu oft werden in solchen Fällen äußerst scharfkantige Gesteinsschalen mit heftigem Knalle von der Ortsbrust weggeschleudert. Glücklicherweise sind sie in der Mehrzahl der Fälle nicht groß, führen aber dennoch zu Verletzungen. Die Ursache ist wohl in der Pressung zu suchen, welche Hangend und Liegend auf das Ganggesteine an vielen Stellen ausüben. Sie ist in den meisten Fällen eine im Gebirgsbau begründete, oder tektonische, wie z. B. an jenen Stellen, wo der Gang ein anderes Streichen oder Verfläachen annimmt. Dort kann durch entsprechende Verschiebung des Hangenden, Liegenden, oder gar beider zugleich ein Zusammendrücken der Gangmasse stattfinden (Fig. 1). Derartige Verschiebungen, sowie Krummlinigkeit der Gangspalten bilden eine gemeinsame Eigenschaft der hiesigen Gänge. Tritt dann der Fall ein, dass die Ulme in druckhaftem Gebirge sich einander nähern (konvergieren), wobei das Ganggestein eine keilförmige Gestalt annimmt, dann können auf einmal und unvermutet große, schwere Massen hereinbrechen (Fig. 2). Nach zeitweiser Einstellung der Arbeit auf schlagendem Gesteine pflegt sich dasselbe binnen kurzer Zeit zu beruhigen, sobald dann aber zum Abschrämen der lauten Gesteinsschalen geschritten wird, wiederholt sich sehr häufig wieder das Schlagen. Die

Lage verschlimmert sich, u. zw. trotz tadellosesten Versatzes, bei fortschreitender Ausdehnung des Abbaues und der hiermit verbundenen Konzentration des Hangenddruckes auf immer kleinere Gesteinspfeiler. Aber auch in diesem Falle treten Schläge nur bei fester Gangmasse ein; bei milder, zerriebener finden zwar ausgedehnte, bei genügender Vorsicht aber gewöhnlich unschädliche Gesteinsbrüche statt, welche mit den ganz plötzlich, heftig und unvermutet auftretenden Schlägen nicht zu verwechseln sind.

2. Eine unvergleichlich höhere Gefahr birgt eine andere Art von Bergschlägen, die hier zum erstenmal im Jahre 1897, gelegentlich der Auffahrung der Adalberti-Hauptgang-südstrecke am 32. Laufe (1109 m) beobachtet wurde und damals leider auch ein Menschenleben zum Opfer forderte. Das Feldort wies am 7. Juli jenes Jahres im südöstlichen Muldenflügel, 38 m südlich vom Mariaschacht-Ostschlage bei K (Fig. 4) die Höhe von 2,2 m, die Breite von 1,5 m auf und stand zur Hälfte neben dem Hangenden in allmählich auskeilendem Grünsteine, am Liegenden im deutlich geschichteten, flach ansteigenden, festen, quarzigen Sandsteine an (Fig. 3). Als sich nach dem Abwerfen des losen Gesteines die beiden Arbeiter gegen 4 Uhr nachmittags zum Bohren anschickten, löste sich von dem fertig zugedulichen Liegendulm nahe der Streckenfirst, u. zw. der Schichtung folgend eine rund 2 q schwere, in viele scharfkantige Stücke verschiedener Größe zersplitterte Gesteinsmasse mit schussähnlichem Knalle los, welche den unmittelbar nebenan mit dem Ebnen der Strecken-sohle beschäftigten Häuer traf, wodurch er einen Schädelbruch, außer mehreren Riss- und Quetschwunden erlitt



Fig. 1.



Fig. 2.

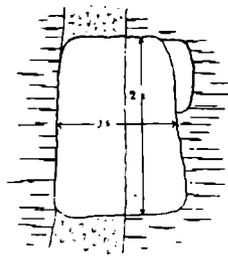


Fig. 3.

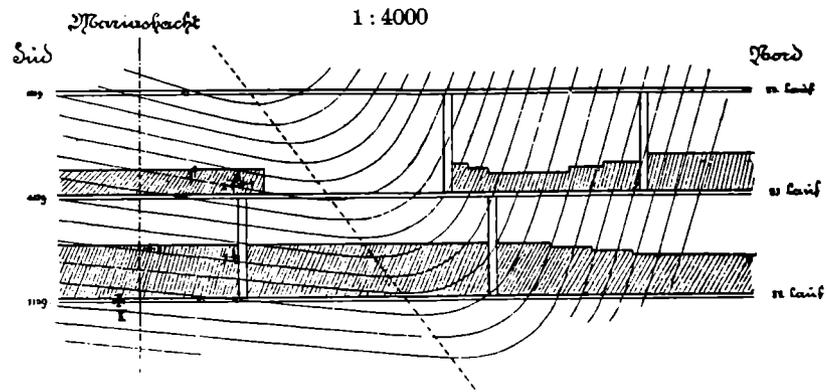


Fig. 4. Schnitt durch die Sandsteine der Alberti-Hauptgangsebene nach, nördlich vom Maria-Schacht in der Tiefe von 1000 bis 1100 m.

Seither schritt in jenem Feldesteile sowohl am 31. Laufe (1059 m) als auch am 32. Laufe (1109 m) die Arbeit weiter fort und der mit aller Vorsicht betriebene Firtenbau reicht zur Zeit bis zur Höhe von 15 bis 30 m oberhalb der Streckensohlen. Schlagende Sandsteinschichten werden daselbst an beiden Ulmen ständig angefahren, indessen aber haben die ersteren dank der

später erwähnten Vorkehrungen an Gefahr viel einge-
büßt. Sandsteine finden sich in den Strecken und Firten-
bauen sehr häufig, hingegen wurden schlagende bisher
ausschließlich nur in der Tiefe von etwa 1000 m abwärts,
nahe dem Schnitte der Muldenmittel- und Adalberti-
Hauptgangsebene im flachen, südöstlichen Flügel ange-
troffen. Niemals ereigneten sich Bergschläge dieser Art

in den zahlreichen Bauen des steilen Flügels. Die auf einmal mit weithin hörbarem Getöse weggeschleuderten Gesteinsschalen, welche stets in viele ebenflächige, scharfkantige, nicht selten spatförmige Stücke verschiedenster Größe zerbersten, liefern durchschnittlich ungefähr $0,5 m^3$ Hauwerk. Häufig folgt einem stärkeren Schlage an der gleichen Stelle noch eine Reihe schwächerer in verschiedenen Zeitabständen, so dass eine solche Firstenstraße stunden- ja tagelang nur mit der größten Vorsicht betreten werden kann. Die einzelnen Grauwackenbänke

sind nicht in gleicher Weise schlaggefährlich, sondern hauptsächlich sind es harte, dichte, quarzige, keinesfalls hingegen milde, thonige. Gerade der rasche Wechsel in der Zusammensetzung und Struktur der aufeinander folgenden Schichten scheint die Möglichkeit von Schlägen zu steigern. Nachstehendes Verzeichnis sämtlicher in der Maria-Grube am Schlusse des Jahres 1905 im Verlaufe eines Monates stattgefundenen Bergschläge gibt im Vereine mit Fig. 4 ein Bild über ihre Zahl und Verbreitung samt Begleitumständen.

Nr.	Tag	Lauf-		Höhe über der Streckkennsole	Entfernung von dem		Gang-	Neben-	Ganges-			Anmerkung	Bezeichnung des schlagenden Ulfes	Verlauf
		Nr.	Tiefe		Maria-Schachte	Muldenmittel			Verflächen	Mächtigkeit	Füllung			
		m		m	m	m	Gestein		°	m				
1	24. Okt. 1905	32	1109	22	45 nördl.	70	Diabas	Sandstein	90°	1,0	Zinkblende, Dürrerz, Bleiglanz, Eisenspat	Am Hangendulm Gleitflächen mit horizontaler Streifung.	Liegend	ohne Unfall
2	28. Okt.	31	1059	6	44 nördl.	40	"	"	80°	1,0	"	Der Sandstein zeigt flache Schichtung und deutliche, transversale Schieferung.	Hangend	"
3	4. Nov.	31	1059	14	27 nördl.	60	"	"	75°	1,3	verdrückt und taub	Am Hangendulm, nahe der Straßenfirst, überlagert der Diabas die Sandsteinschichten.	Hangend	"
4	11. Nov.	31	1059	7	50 nördl.	33	"	"	90°	1,0	Zinkblende, Dürrerz, Bleiglanz, Eisenspat	Am Hangend durchsetzt rechtwinkelig zum Gangstreichen die flachlagernden Sandsteine eine lotrechte Kluff, nördlich hiervon sind dieselben senkrecht zur Schichtung nach zwei Richtungen deutlich geschiefert.	Hangend	Leichte Risswunde, ohne Störung der Arbeitsfähigkeit
5	16. Nov.	32	1109	27	5 nördl.	105	"	"	90°	1,6	"	Am Hangendulm Gleitflächen mit horizontaler Streifung.	Liegend	ohne Unfall
6	30. Nov.	31	1059	9	45 nördl.	38	"	"	80°	1,3	"	Gangesfüllung und Hangendgestein von mehreren im Streichen und Fallen mit dem Gange übereinstimmenden Parallelklüften durchschnitten.	Hangend	"

Sämtliche hier angeführten Fälle ereigneten sich auf dem Adalberti-Hauptgange, welcher derzeit allein am 31. und 32. Laufe der Maria-Grube ausgerichtet ist.

Aus alldem ließe sich der Schluss ziehen, dass die Schlagkraft nicht allein in einem senkrecht zur Schichtung wirkenden Drucke der überlagernden Gebirgsmassen, sondern gleichzeitig auch in einer parallel zu letzterer gerichteten Pressung an der Muldenlinie zu suchen ist. Für diese Anschauung spricht sowohl die Tatsache, dass die Schichtungsflächen nicht selten von dünnen, kalkspätigen Zwischenmitteln als Ausfüllung einstiger durch Aufblätterung der Schichten entstandener Spalten begleitet sind (wie z. B. in der Tiefe von 1080 m, auf der 10. Adalberti-Hauptgangfirst des 32. Laufes, 110 m nördlich von Maria-Schacht), wie nicht minder die überall deutlich hervortretende, meist nach mehreren Richtungen vorhandene Schieferung. Ihre Flächen schließen mit jenen der Schichtung Winkel von 60° bis 90° ein

und namentlich in dem Falle, wo bei nahezu söhlicher Lage der Schichten eine der Schieferungsflächen parallel zur Gangesebene liegt, das Gestein somit aus vielen unter starkem Druck stehenden, spatförmigen Stücken verschiedener Größe zusammengesetzt erscheint (Nr. 4 des Verzeichnisses, sowie der Schlag vom 7. Juli 1897), erreicht die Gefahr von Bergschlägen ihr Höchstmaß.

Sicherheitsvorkehrungen.

Die beschriebenen, unabänderlich gegebenen Gesteinsverhältnisse verlangen bei der Anlage und dem Betriebe der Baue im Hinblick auf ihre Sicherheit volle Berücksichtigung. Der hierorts in ausschließlicher Anwendung stehende Firstenbau wird deshalb im druckhaften, insbesondere aber im schlaggefährlichen Gebirge so geführt, dass dem Gesteinsauschlage möglichst unverzüglich das Abräumen des Hauwerks und der Versatz folgen, so dass Hohlräume lediglich in dem zur Förderung, Fahrung und

Wetterführung unbedingt nötigen Maße vorhanden sind; auch steht nur eine beschränkte Zahl von Firstenstraßen in weiteren Abständen gleichzeitig im Betriebe, was die sonst aus vielen Gründen wünschenswerte und nützliche Konzentrierung der Baue allerdings bis zu einem gewissen Grade ausschließt.

Die Arbeit erfolgt an solchen Orten nur in einer Schicht, ruht also täglich mindestens durch 18 Stunden, um dem Gesteine Zeit zum Spannungsausgleich und hiermit zur Beruhigung zu lassen. Es werden nur erfahrene, verständige Arbeiter angestellt, und diese ohne zwingende

Gründe nicht gewechselt, weil die Aneignung genauer Gesteinskenntnis längere Zeit erfordert.

Bei Gefahr von Ulmschlägen kommen Schutzblenden oder Schilder, welche aus Brettern fest zusammengefügt und während der Arbeit gegen den schlagenden Stoß mit Hilfe von Spreizen gepresst werden, zur Anwendung.

Diesen und anderen, von Fall zu Fall getroffenen Vorkehrungen dürfte es zu danken sein, wenn der Gefahr seither mit Erfolg begegnet werden konnte. Möge dies auch fernerhin gelingen.

Das Gruben-Nivellierinstrument von Cséti und seine Modifikation nach Prof. Doležal.

Von E. Doležal, o. ö. Professor an der k. k. Technischen Hochschule in Wien.

(Fortsetzung von S. 245.)

Wenn man nun die Schätzungsfehler nach der obigen Gleichung (50) rechnet und mit jenen aus den Beobachtungen berechneten vergleicht, so erhält man die Verbesserungen, welche zeigen werden, ob die einfache Form der Funktion Gleichung (39), die für den Schätzungsfehler angenommen wurde, genügt oder nicht.

Wir erhalten:

Nr.	$\Delta \lambda$		v
	berechnet	beobachtet	
1	0,0093	0,1215	— 0,1122
2	0,1498	0,1775	— 0,0277
3	0,2018	0,2038	— 0,0020
4	0,2767	0,2237	+ 0,0530
5	0,3459	0,2493	+ 0,0966
			+ 0,1496
			— 0,1419 [v] = 0

Aus der Größe der vorstehenden Verbesserungen ist zu ersehen, dass die gewählte einfache Form der Funktion für den absoluten Schätzungsfehler nicht genügt und man wird genötigt, das zweite Glied der Reihe in Gleichung (36) heranzuziehen.

Werden in der Reihe für den absoluten Schätzungsfehler die zwei ersten Glieder berücksichtigt, dann ergibt sich folgende Rechnung für die Bestimmung der Konstanten dieser Reihe. Es ist:

$$\left(\frac{\Delta \lambda}{i}\right)^2 = a \left(\frac{d_2}{i_2}\right) + b \left(\frac{d_2}{i_2}\right)^2 \quad (51)$$

Da nun $\frac{d_2}{i_2} = \frac{d_1}{i f_1} D$ ist, so erhält man:

$$\Delta \lambda^2 = a \frac{d_1 i}{f_1} D + b \frac{d_1^2}{f_1^2} D^2.$$

Setzt man für ein bestimmtes Fernrohr und für ein bestimmtes Intervall

$$\left. \begin{aligned} a \frac{d_1 i}{f_1} &= p \\ b \frac{d_1^2}{f_1^2} &= q \end{aligned} \right\} \quad (52)$$

so erhält man:

$$\Delta \lambda^2 = p D + q D^2 \quad (53)$$

oder auch

$$\Delta \lambda = \sqrt{p} \sqrt{D} \left(1 + \frac{q}{p} D\right)^{\frac{1}{2}} \approx \sqrt{p} \sqrt{D} \left(1 + \frac{p}{2} D\right)$$

$$\Delta \lambda = \sqrt{p} \sqrt{D} + \frac{q}{2p} D \sqrt{D}. \quad (54)$$

Indem man

$$\left. \begin{aligned} \sqrt{p} &= c_1 \\ \frac{q}{2p} &= c_2 \end{aligned} \right\} \quad (55)$$

einführt, so ergibt sich schließlich der absolute Schätzungsfehler in der Form:

$$\Delta \lambda = (c_1 + c_2 D) \sqrt{D}. \quad (56)$$

Um die Konstanten c_1 und c_2 dieser Gleichung zu bestimmen, wird man vorerst diese Gleichung auf die Form bringen:

$$c_1 + c_2 D = \frac{\Delta \lambda}{\sqrt{D}}; \quad (57)$$

eine größere Anzahl von Beobachtungen der Lattenhöhen in den Zielweiten D_1, D_2, \dots, D_n , wobei die reinen Schätzungsfehler aus Gleichung (42) mit

$$\Delta \lambda^2 = \Delta L^2 - \Delta l^2 \quad (58)$$

bestimmt werden, ergeben sich die Bestimmungsgleichungen:

$$\left. \begin{aligned} c_1 + D_1 c_2 &= \frac{\Delta \lambda_1}{\sqrt{D_1}} \\ c_1 + D_2 c_2 &= \frac{\Delta \lambda_2}{\sqrt{D_2}} \\ &\vdots \\ c_n + D_n c_2 &= \frac{\Delta \lambda_n}{\sqrt{D_n}} \end{aligned} \right\} \quad (59)$$

die zu den Normalgleichungen führen:

$$\left. \begin{aligned} n c_1 + [D] c_2 &= \left[\frac{\Delta \lambda}{\sqrt{D}} \right] \\ [D] c_1 + [DD] c_2 &= [\Delta \lambda \sqrt{D}] \end{aligned} \right\}$$

Nachstehend die tabellarisch durchgeführte Berechnung: