

Kegelbasen tangiren, dass ein gleichbreiter Wurfkörper entsteht; da jedoch bei der militärischen Normalmine der Radius der Kegelbasis gleich ist der Vorgabe ($\alpha = 45^\circ$), so stehen derartige Minen auch um die doppelte Vorgabe entfernt. In Fig. 9 ist jene Zeichnung reproducirt, welche der „Technische Unterricht“ zur Erläuterung des Mitgetheilten beifügt.

Diese abermalige Uebereinstimmung der Resultate der Erfahrung und der Theorie ist neuerdings ein Beweis von der Richtigkeit der letzteren und von der vollen Giltigkeit des Fundamentalsatzes.

(Fortsetzung folgt.)

Höhlen und Einstürze.

Von

Dr. E. Reyer.

Inhalt: 1. Abschluss der Brüche durch natürliche Stützung. 2. Ausgehen der Brüche zu Tage. 3. Abschluss der Brüche durch Gewölbebildung. 4. Dauer der Senkungen und Brüche. 5. Bruch-Erzlagerstätten.

1. Häufig entstehen durch natürliche Ursachen (Verwerfung, Auswaschung) oder durch menschliche Arbeit Hohlräume im Gebirge und diese veranlassen unter Umständen Einstürze. Der Bergmann ist in der Lage, den Vorgang und dessen Ergebnisse zu beobachten. War das Gebirge nur gebräuch, so trümmert es so lange nieder, bis das Haufwerk den ganzen Raum ausfüllt und an dem Dachgesteine stützend ansteht. So wachsen die Brüche nicht in's Endlose an, sondern sie kommen durch natürliche Stützung zum Stillstand und Abschluss. Die Grösse des Hohlraumes und die Art der Auflockerung des Materiales¹⁾ bedingen die Höhe, bis zu welcher der Einsturz reicht.

2. Anders gestalten sich die Verhältnisse, wenn die Höhlung, welche den Einbruch verursacht, nahe der Erdoberfläche liegt. Dann erreicht die Zertrümmerung die Oberfläche des Gebirges; der Bruch geht zu Tage aus. War das Material erdig, so entsteht eine Senkungsmulde²⁾, welche den dem Material entsprechenden Böschungswinkel annimmt. War die Gesteinsart steinig und der Bruchraum gross, so ist der Einsturztrichter häufig gegen oben von steilen Wänden begrenzt. Schutthalden reichen von innen bis in den Grund. Derartige, durch Bergbau veranlasste Pingen habe ich in vorhergehenden Arbeiten beschrieben.³⁾

In der Natur wiederholen sich die gleichen Erscheinungen. Da bilden sich Höhlungen in Folge von Auswaschung, häufiger noch werden sie veranlasst durch

¹⁾ Grossklüftige Gesteine erleiden beim Zertrümmern eine bedeutendere Volumvermehrung, als erdige Massen, weshalb unter übrigens gleichen Verhältnissen die Niederbrüche bei ersteren rascher zum Abschlusse durch natürliche Stützung gelangen.

²⁾ Solche Mulden entstehen häufig in Folge des Abbaues oberflächlich gelegener Kohlenflötze.

³⁾ Pingen von Schlackenwald und Altenberg. S. Beyer: Zinn. 1881.

Verwerfungen. Im Gebiete jedes solchen Hohlraumes ereignet sich die Zertrümmerung in der beschriebenen Weise; nahe der Erdoberfläche gelegene Spaltweitungen verursachen die Entstehung von runden oder ovalen Einsenkungen oder Dolinen.⁴⁾

Das letztere leuchtet auf den ersten Blick nicht ein; man erwartet vielmehr, dass junge Verwerfungen im festen Gebirge an der Erdoberfläche weithin als klaffende Spalten sichtbar sein sollten. Eine kurze Ueberlegung zeigt aber das Irrthümliche dieser Ansicht. Erstens entstehen Spaltweitungen begrifflicher Weise nie längs der ganzen Verwerfung, sondern nur streckenweise; zweitens stellen die Gesteine keine continuirliche starre Masse dar, sondern sie sind durchaus zerklüftet in Folge der gebirgsbildenden Bewegung und anderer Einflüsse.

Jedes Schicht- und jedes Massengestein ist eigentlich nur ein aus Bruchsteinen und Quadern wohl zusammengefügtes Ganzes. Eine Spalte, welche durch eine derartige Masse setzt, wird natürlich sogleich Verschiebungen bewirken. An den engeren Stellen der Spalte rücken die Bruchsteine zusammen, sie stossen aneinander, sie sperren sich gegenseitig und die Spalte wird hiedurch geschlossen. Nur an den weitesten Stellen stehen die Wände so bedeutend auseinander, dass die gegenüberliegenden Blöcke sich nicht gegenseitig stützen können. Dann sinken die Massen natürlich ringsum so weit der Tiefe zu, bis sie hier einander erreichen und sperren. So entstehen die runden Senkungen oder Dolinen.

3. Wir haben bisher den Abschluss des Niederbrechens in Folge von natürlicher Stützung und dann das Ausgehen der Brüche zu Tage in's Auge gefasst. In beiden Fällen wird der entstandene Hohlraum mit Trümmern ausgefüllt. Es kommt aber auch, und zwar sehr häufig, vor, dass die Höhlung nicht ausgefüllt wird, sondern sich hält. Bei kleinen Hohlräumen im festen Gestein ist dies die Regel. Entstehen aber durch Abbau, Verwerfung oder Unterwaschung bedeutende Hohlräume, so treten unter allen Umständen Brüche ein; doch gehen dieselben im festen Gestein meist nicht bis zur natürlichen Stützung, sondern es bricht nur so lange Material nieder, bis eine tragfähige Wölbung entsteht.

All die erwähnten Erscheinungen kann man in Gebieten mit junger Gebirgsbildung — so z. B. im Karst — trefflich studiren. Da entstehen durch Verwerfung und Unterwaschung mannigfaltig gestaltete Hohlräume. Zahlreiche Brüche ereignen sich in der Folge. Da gehen sie in die Höhe, bis sie sich selbst stützen, dort gehen sie zu Tage aus; an zahlreichen Stellen aber runden sich die Hohlräume und Weitungen nur aus, indem so lange Deckengestein nachstürzt, bis ein tüchtiges Gewölbe entsteht. Dome und gewölbte Gänge, hohe Schutthalden und tiefe Schlünde wechseln da mannigfach. Das Grundwasser erodirt und nivellirt fort und fort; es füllt die unter seinen Horizont hinabreichenden Spalten und Höhlen allmählich mit Schutt aus. Das niedersickernde Tagwasser aber kleidet die über dem Grundwasser

⁴⁾ Reyer: Karststudie. Geograph. Gesellschaft. Wien, 1880.

stehenden Höhlen und Klüfte mit mineralischen Neubildungen aus. Derart entstehen jene grossartigen düsterprächtigen Höhlen mit dunklen Domen und geheimnissvoll rauschenden Abgründen, steinernen Wäldern und glanzflirrenden Säulen und Obelirken, welche den Besucher des Karst so sehr fesseln und mit verwirrtm Staunen erfüllen.

4. Nachdem ich nun die verschiedenen Bruchtypen geschildert, möchte ich noch zwei für den Techniker besonders wichtige Thatsachen besprechen, nämlich die Dauer des Vorganges und zweitens das Auftreten von nutzbaren Mineralien auf Bruchlagerstätten.

Bezüglich des ersten Punktes ist zu bemerken, dass der Bruch fast nie unvermittelt eintritt, sondern durch mehr oder minder lang anhaltende Senkungen und locale Ablösungen vorbereitet wird. Der Bergmann und Techniker kennt jenes Knistern, Dröhnen und Krachen, welches in Strecken mit starkem Firstendruck häufig zu vernehmen ist. Ist die Strecke ausgezimmert, so beobachtet man, wie die Stempel allmählig an den Enden breitgedrückt und zerfasert werden, wie sie sich biegen und endlich bersten. Ist der Stollen oder Tunnel gemauert, so springen bei einzelnen Steinen oder Ziegeln die Kanten aus, dann zertrümmern sie.

Diese Vorgänge können jahrelang anhalten⁵⁾, ohne zum Bruch zu führen, ja man kann durch Auswechseln der Zimmerung, der Quader oder der Ziegel den Bruch auf die Dauer verhindern, wenn auch der Firstendruck in einem Grade wirkt, welchem das Material auf die Dauer nicht gewachsen wäre.

Dieses kennzeichnet den Vorgang entschieden als einen successiven und chronischen. Der Niederbruch ist aber keine selbstständige Erscheinung, sondern nur der acute Abschluss eines lang anhaltenden Ablösungs- und Senkungsvorganges.

Die Ursache hievon liegt offenbar in der Häision⁶⁾ und Reibung; in manchen Fällen tritt noch ein drittes Moment hinzu, nämlich die Verkittung. Die Gebirgsmassen sind nämlich von Wasser oder vielmehr von gesättigten Lösungen durchtränkt; diese bedingen jenes innere Leben im Gestein, welches ich in einer anderen Arbeit besprochen.⁷⁾ Jede Temperatur- oder Druckänderung bewirkt eine veränderte Löslichkeit der Stoffe. Da scheiden sich Mineralsubstanzen aus, dort werden sie gelöst.

Wirkt nun ein einseitiger Druck, bezw. Zug, so bewegen sich die durchflüchteten und dem zu Folge „lebendigen“ Felsmassen allmählich in der Richtung des geringsten Druckes. Sind sie plastisch, so rücken sie dem entsprechend nach Art eines Teiges vor; bestehen

⁵⁾ Das Kohlenflöz Haardt bei Bonn ist 2 bis 3m mächtig, darüber lagert ein 0,3- bis 1m starker Alaunschiefer. Man führt Strecken ohne Zimmerung und lässt das Dach eingehen. Die Kohle fällt nach 6 bis 8 Jahren, der Alaunschiefer nach weiteren 3 bis 9 Jahren. Dechen in Karsten's Arch. 1831, p. 526.

⁶⁾ Die Unterscheidung zwischen Cohäsion und Adhäsion ist in den meisten Fällen überflüssig; oft wird sie auch geradz unrichtig durchgeführt.

⁷⁾ Reyer: Ueber Bewegung im Festen. Jb. d. geol. Reichsanstalt 1880.

sie aus klüftigen oder erdigen Stoffen, so schleichen sie ruckweise vorwärts. Die absinkenden Massen werden durch Häision, Reibung und Verkittung zum Theil suspendirt gehalten, bis die Ablösung im Hangenden so bedeutend wird, dass ein Bruch eintritt.

Dies kann lange Zeit hergehen, lange können die Klüfte in den hangenden Massen sich erweitern, ohne die Katastrophe herbeizuführen.⁸⁾ Nun sind aber die über der abgelösten Masse anstehenden Gesteine nicht nur gestützt, und es spielt sich in ihnen derselbe Ablösungs- und Senkungsvorgang ab, welcher in den tieferen Partien bereits erfolgreich gewirkt u. s. f. Schliesslich geht die so hoch aufgelockerte Masse nieder und vernichtet durch ihre Wucht jede Stütze und Mauerung.

Viele Einstürze werden nach meiner Meinung in der geschilderten Weise vorbereitet und nicht selten erleidet der Praktiker schweren Schaden, weil er diesen Vorgang nicht richtig erkennt. Er vermisdet allerdings jeglichen Hohlraum im Hangenden⁹⁾, um sein Stützwerk nicht den mit Beschleunigung niedersitzenden Massen auszusetzen; er treibt aus dem gleichen Grunde, sobald die Stempel schrumpfen, frische Keile ein und prüft den Klang, um sich zu überzeugen, ob die Stütze ihren Dienst thut; häufig aber wird gefehlt, indem man zu spät stützt, bezw. untermauert. Die Consistenz der Gebirgsart scheint eine verzögerte Stützung oft zu gestatten, was dem Arbeiter jedenfalls immer erwünscht ist. Unmerklich aber tritt doch in vielen Fällen ein Sinken und inneres Zerklüften und Ablösen in den hangenden Massen ein, und ist dies einmal vollzogen, so kann das Stützen leicht zu spät kommen; denn die Klüfte und Hohlräume im hangenden Gestein gestatten eben den noch höher anstehenden Massen, sich gleichfalls zu bewegen; trifft dies aber ein, so kommt das hangende Gebirge auf die liegenden Massen mit einem Ruck herab, welchem nicht leicht eine Stütze widersteht. Man wird diese heimtückisch langsam sich vorbereitenden und im Hangenden fortschreitenden Ablösungen nur vermeiden können, wenn man möglichst rasch nach erfolgter Gewinnung die Stützung durchführt. Mag die Eile in manchen Fällen auch überflüssig erscheinen und dem Arbeiter lästig fallen, so wird er sich doch darein fügen müssen, wenn er nicht die Zukunft des Baues gefährden will.

5. Schliesslich möchte ich hervorheben, dass durch das Studium der Einstürze ein klares Licht fällt auf die Entstehung und Beschaffenheit gewisser Trümmer- Erzlagerstätten.

Da treffen wir Gänge, welche örtlich klumpig an-schwellen; zertrümmerte Massen des Nebengesteines und Erze füllen den Raum. An einer anderen Stelle weiten

⁸⁾ Ich habe zertrümmerte und durch Kalkspat cementirte Kalkfelsen gesehen, welche sich dem einseitigen Drucke fortwährend anpassen, ohne zu zerfallen. Jede innere Zerklüftung wurde durch neuerliche Kalkablagerung sogleich wieder ausgeheilt.

⁹⁾ Man sorgt auch dafür, dass keine Höhlungen durch Abfluss von schwimmendem Gebirg oder durch Unterwaschung entstehen. Vgl. Rziha: Tunnelbau.

sich die Gänge zu Drusen und gewaltigen Höhlen aus.¹⁰⁾ In den mit Getrümmern gefüllten Spalten und Höhlen liegen die mit Erz verkitteten Bruchmassen mitunter schief von einer Wand zur anderen mit einer Neigung und inneren Anordnung, welche sie als alte Schutt- und Trümmerhalde erkennen lassen. Auch kommt es vor, dass die Trümmermassen gegen die Erdoberfläche an Umfang zunehmen und einen Raum beherrschen, welcher etwa einem zu Tag ausgehenden Einsturztrichter entspräche.

Das Getrümmern ist meist auf grosse Strecken taub; die Erzführung tritt schlotförmig auf. Wo diese Schlotte mit den Trümmerweitungen oder mit den ausgefüllten Dolinen zusammenhängen, da sind auch diese ausgedehnten Brezzenmassen oft reich an Erz. Neben den Erzscloten treffen wir wohl auch lagerförmige erzführende Trümmermassen, welche eingestürzten Schichthöhlen entsprechen; oft hängen beide Typen zusammen.

Liest man die trefflichen Schilderungen, welche de la Beche, Whitney, Cotta, Pošepný, Groddeck¹¹⁾ u. a. Forscher von den einschlägigen Bonerz-, Blei-, Zink- und Kupfer-Vorkommnissen¹²⁾ geliefert haben, so trifft man immer auf eine schlagende Analogie mit den Karstphänomenen. Nur das Bindemittel ist in beiden Fällen verschieden, dort Erz, hier Kalk — die Formen aber und die Genesis sind hier wie dort dieselben.

Kraftleistung der Walzenzug-Maschinen.

(Im Auszug aus dem Referate des Prof. G. Schmidt, Dingler's Journal. B. 243, H. 3)

Die für einen Stich zu verrichtende gesammte Walzarbeit W besteht 1. aus der Deformationsarbeit w_1 , 2. aus der Zapfenreibungsarbeit w_2 und 3. aus der Rutschungsarbeit w_3 , welche davon herrührt, dass die durch Berührung mit den Walzen abgekühlte, also zäher gewordene Oberfläche des Walzgutes sich während des Streckens an den Walzen reibt.

Bezeichnet:

F den Querschnitt des Calibers in Quadratcentimeter,

l die Länge des Blockes in Meter nach dem Passiren des betreffenden Calibers,

J die Berührungsfläche zwischen Walzen und Packet in Quadratcentimeter,

p den Druck in k für 1qc der Berührungsfläche,

$P = 0,001 Jp$ den durch die Beobachtung gefundenen Walzendruck in Tonnen,

z den Abnahmeoefficienten,

b die grösste Breite des Calibers in Centimeter,

s den halben Umfang des Calibers in Centimeter,

u die Anzahl der Umdrehungen für den Stich,

$r = \frac{100 l}{2 \pi u}$ den wirksamen Walzenradius in Centimeter,

¹⁰⁾ Man hat in solchen Höhlen Knochen tertiärer Säugethiere in Erz eingebettet, gefunden.

¹¹⁾ v. Groddeck: Erzlagerst. 1879, p. 235 bis 257.

¹²⁾ Die Vorkommnisse der *Catena metallifera* (Toscana) werde ich besonders behandeln.

ρ den Zapfenradius in Centimeter,
 f den Reibungscoefficienten nach den Versuchen
 $= 0,046,$

H die Packetdicke vor dem Durchgang durch das Caliber in Centimeter,

K die Kraft, welche zur Verrichtung der Deformationsarbeit w_1 erforderlich ist, in Tonnen, so ist nach Blas:

$$J = b \sqrt{r H (1 - \alpha)}; K = \frac{3}{8} P \sqrt{\frac{H (1 - \alpha)}{r}}$$

$$w_1 = K l^m = 1000 K l^m; w_2 = 0,02 \pi \rho u f p J$$

$$w_3 = 60 J l \sqrt{p (1 - \alpha)} \left(\frac{3 s - 2 b}{b} \right)$$

Unter der Annahme constanten Volumens V und einer Durchzugskraft von $K = 400k$ für 1qc des Caliberquerschnittes ergibt sich der theoretische Werth, welcher die Deformationsarbeit w_1 geben soll:

$$W_1 = K V \log \frac{l_1}{l_0},$$

wobei l_0 die anfängliche und l_1 die schliessliche Länge

des Walzgutes bezeichnet. Für V const. ist $l_1 = \frac{l_0}{z}$,

daher auch:

$$W_1 = K V \log \frac{1}{z}.$$

Die auf Grundlage der obigen Formeln berechnete Gesamtwalzarbeit stimmt, wie aus einem vorgeführten Beispiele für die Vorwalze einer Schwellenstrasse der Gutehoffnungshütte ersichtlich gemacht ist, mit der durch Beobachtung gefundenen gesammten Walzarbeit (aus der Steigerung der Umlaufzahl des Schwungrades im Leergang ermittelt) ziemlich gut überein. Hiebei ist im Mittel:

$$w_1 = 15,5 W$$

$$w_2 = 4,5 W$$

$$w_3 = 80 W.$$

Der Wirkungsgrad der die Walzenstrasse betreibenden Maschine (das Verhältniss der aus der Steigerung der Umlaufzahl des Schwungrades im Leergang ermittelten Arbeit für die Gesamtwalzeit zu der indicirten Arbeit für eben diese Zeit) beträgt 0,657 bei 422 indicirter Pferdekraft.

Bei einer Walzenstrasse für eiserne Oberbauschwellen in Ruhrort ergibt sich für die ersten 8 Caliber nach einer von Prof. Schmidt corrigirten Berechnung der Maschinenstärke das Verhältniss der während des Walzens abgegebenen Dampfarbeit zur gesammten Arbeit mit

$$\frac{1}{3,46} \text{)}. \text{ Für die berechnete Pferdestärke der}$$

¹⁾ Nach den von Prof. R. Bück schon im Jahre 1873 in Donawitz bei Leoben durchgeführten ähnlichen Versuchen (siehe berg- und hüttenm. Jahrbuch, Bd. XXI) ergibt sich dieses Verhältniss bei dem untersuchten grossen Blechwalzwerke für einzelne Durchgänge mit dem obigen theils nahe übereinstimmend, theils etwas grösser. K.