

Verwitterung als Gefahrenmoment beim Bergbau

Von S. WEHRLI (Zürich)

Im Sommer 1951 ereignete sich ein Unfall, der in seiner Abklärung auf Dinge führte, die ein gewisses geologisches und technisches Interesse haben dürften. Deshalb soll an dieser Stelle darüber kurz berichtet werden.

Im Zusammenhang mit den Bauarbeiten für das neue Maggiawerk wurde oberhalb Porto-Ronco bei Locarno von einem Stollen aus ein Schacht 67 m hoch nach oben getrieben. Er sollte mit einer oberen Querverbindung zusammenstossen, es fehlten noch etwa 15 m Höhe. Die Arbeiten wurden von unten her ausgeführt, damit das Abbaumaterial leicht herausbefördert werden konnte. Zunächst war der Schacht aber an seinem unteren Ende mit horizontalen Balken zugeschlossen, so dass das Abbaumaterial im Schacht selber liegen blieb. Nur ein verhältnismässig schmaler Kamin von etwa 50 cm Breite blieb ausgespart. Durch diesen Kamin führte eine Leiter sowie die nötigen Leitungen nach oben. Die Arbeit erfolgte an der Decke des Schachtes in Richtung aufwärts und das abgebrochene Material füllte den Schacht an und diente als Boden für die Mannschaft. Die Leute standen also auf dem Bruchgestein. Was zuviel war wurde vorweg durch den freigelassenen Kamin neben der Leiter hinuntergeworfen. Aus technischen Gründen blieb der Betrieb etwa 2 Monate stehen und es sollte nun von neuem weitergearbeitet werden. Während des Betriebes erfolgte eine gute Ventilation durch eine Druckluftleitung, sowie durch die aus den Presshämmern ausströmende Luft. In den vorausgegangenen zwei Monaten war die Lüftung abgeschaltet. Am Tag vor der Wiederaufnahme der Arbeit bestiegen zwei Mann den Schacht, um sich über den Stand der Dinge zu informieren. Dabei sanken im oberen Schachtteil beide bewusstlos zusammen. Der eine ist der Einwirkung erlegen, während der andere noch lebend geborgen wurde. Er hat sich nachher erholt.

Schon bei der Bergung der Verunfallten fiel auf, dass ein im Schacht entzündetes Streichholz sofort erlosch. Diese Beobachtung hat die Betriebsleitung veranlasst, die Ventilation einzuschalten. Auf unsere Weisung hin wurde sie dann wieder ausser Betrieb gesetzt, immerhin hatte dadurch eine vielleicht beträchtliche Lüftung inzwischen stattgefunden.

Drei Tage später konnten wir die Untersuchungen vornehmen und stellten im oberen Teil des Schachtes eine Luftzusammensetzung mit 19,4 % Sauerstoff fest, wogegen der Sauerstoffgehalt unten im Stollen 20,8 % betrug. Kohlensäure war praktisch keine vorhanden, ebenso kein Methan.

Nachdem wir im Institut festgestellt hatten, dass ein Zündholz bei etwa 18 % Sauerstoffgehalt der Luft erlischt, wenn es in diesem Gas entzündet wird, mussten wir annehmen, dass zur kritischen Zeit die Luft im Schacht zu wenig Sauerstoff enthielt. Die klinischen Symptome des Verunglückten sowie der Sektionsbefund des Verstorbenen mit den Zeichen von einfacher rasch verlaufender Erstickung stimmen damit überein und wir können den Schluss ziehen, dass der Unfall auf einen Sauerstoffmangel zurückzuführen ist. Dieser musste sich ganz besonders stark auswirken, weil die im Organismus gebildete CO_2 ungehindert ausgeschieden werden konnte. Die sonst bei Erstickung auftretende CO_2 -Stauung fehlte und mit ihr auch ihre anregende Wirkung auf das Atemzentrum. Der Sauerstoffmangel wurde darum physiologisch nicht durch stärkere Atmung kompensiert. Wir haben versucht, näheres abzuklären über die Ursache dieses Sauerstoffmangels, teils aus wissenschaftlichem Interesse und teils im Hinblick auf eine eventuelle Prophylaxe.

Mit einer einfachen Versuchsordnung wurden die Verhältnisse reproduziert. Von der fraglichen Stelle wurden aus dem Schacht Gesteinsproben beschafft, zerkleinert bis auf eine Korngrösse von etwa 1 cm und geringer und eine Probe dieses Materials in eine Glasflasche mit etwas Wasser eingefüllt und verschlossen. Nach bestimmten Zeiten wurde durch Eingiessen von etwas Wasser eine Luftprobe entnommen und auf ihren Sauerstoffgehalt analysiert. Dieser sank im Laufe der Zeit regelmässig immer weiter ab bis er nach etwa $3\frac{1}{2}$ Monaten nur noch auf etwa 5 % angelangt war. Das Gesteinsmaterial verfärbte sich dabei langsam. Es wurde bräunlich. Insbesondere die glänzenden Pyritkörnchen wurden matt und gingen in eine diffuse rostfarbene Fleckenbildung über.

Das in der Flasche vorhandene Wasser reagierte nach Beendigung des Versuches nicht sauer. Eine Säure hat sich somit nicht gebildet, bzw. wenn sie sich gebildet hat, so erfolgte anschliessend eine Umsetzung mit Karbonaten. Die Ergebnisse sind in der Kurve ersichtlich. Sie verläuft nicht geradlinig. Daraus dürften jedoch noch keine besondern Schlüsse gezogen werden, denn das zur Verfügung stehende Luftvolumen war nicht konstant, indem für jede Gasprobeentnahme eine entsprechende Wassermenge eingegossen werden musste, so dass das Luftvolumen allmählich abnahm. Wenn also das Gestein regelmässig Sauerstoff verbrauchte, so erfolgte das schrittweise aus einem immer kleineren Luftvolumen heraus.

Anderseits wurden die Steine immer mehr mit Wasser zugedeckt. Der Versuch hat also lediglich einen qualitativen Charakter. Daran, dass der Sauerstoff verbraucht wird, ändert diese Einschränkung aber nichts.

Nehmen wir grob an, die drei Viertel des Schachtvolumens seien mit Bruchstein gefüllt gewesen und ein Viertel mit Luft. Im Versuch waren es 400 Gramm Steine von der Dichte 2,7, das sind 150 cm^3 . Das totale Luftvolumen betrug im Mittel etwa 300 cm^3 , also das Doppelte vom Gesteinsvolumen. Die Stücke waren vielleicht zwanzigmal kleiner als jene im Schacht (in der linearen Ausdehnung). Dadurch wird ihre Gesamtoberfläche im Vergleich zum Volumen zwanzigmal grösser, bezogen auf jene Verhältnisse. Im Versuch betrug das Luftvolumen das Doppelte, im Schacht ein Drittel des Gesteinsvolumens. Im Versuch war also das Luftvolumen sechsmal grösser, die Gesteinsoberfläche zwanzigmal grösser als im Schacht. Das ergibt für den Versuch eine etwa dreimal grössere wirksame Fläche in bezug auf die vorhandene Luft. Wenn im Versuch der Sauerstoffgehalt in 8 Tagen auf etwa 17 % gesunken war, so muss als grobe Abschätzung daraus gefolgert werden, dass im Schacht der gleiche Sauerstoffverlust in etwa 3 Wochen zu erwarten wäre. Eine gewisse Diffusion wird diese Zeit verlängern, aber der übrig bleibende Stickstoff ist spezifisch etwas leichter als die Luft, so dass in dem windstillen Schacht im obern Teil sicher keine beträchtliche Durchmischung zu erwarten ist und deshalb die Zusammensetzung angenähert nach diesen Verhältnissen ändern wird. Zudem muss hinaufdiffundierende Luft einen

weiten Weg von etwa 50 m zurücklegen und dabei ständig über wirksames Gestein streichen, sie wird also ihrerseits schon O_2 verloren haben, wenn sie den kritischen Ort erreicht. Andererseits ist im Versuch nicht berücksichtigt worden, dass die Schachtwand selbst natürlich auch absorbiert, wodurch sich die ermittelten 17 % noch weiter erniedrigen.

Der Versuch ist sicher nur eine grobe Annäherung, er erlaubt aber offenbar doch eine gewisse Abschätzung, wenigstens weist er auf eine O_2 -Absorption von gleicher Grössenordnung, wie sie im Schacht angenommen werden muss.

Das Gestein des Schachtes wird in seinem oberen Teil vom Geologen vorläufig als feinkörniger Biotitkalksilikatfels, stellenweise mit Pyrit imprägniert, bezeichnet (eine genauere mikroskopische Untersuchung fehlt zurzeit noch).

Hauptgemengteile:

Biotit, Plagioklas, Diopsid, Strahlstein, Granat (nach abnehmender Menge geordnet).

Nebengemengteile:

Kalzit, Pyrit (andre makroskopisch nicht feststellbar).

Die Untersuchung im Stollen ergab nur eine lokale Anwesenheit von Kalzit, jedoch eine beträchtliche Anreicherung von Pyrit, der lokal das Gestein mit Pyritnestern imprägniert. Im Stollen überzog sich dieser Pyrit schnell mit einem Rostbelag und stellenweise auch mit einem graugrünen Bakterien-schleim. Auf den verschiedenen Stollenbegehungen konnte keine Gasentwicklung festgestellt werden: Auf alle Fälle konnte eine eventuelle Gasentwicklung nicht stark gewesen sein, da man nicht darauf aufmerksam wurde.

Von drei — mehr zufällig herausgegriffenen — Gesteinsproben wurde je ein Dünnschliff hergestellt. Der eine enthält fast nur Quarz, der andere neben Quarz beträchtliche Mengen Glimmer und der dritte beträchtliche Mengen Pyrit. Alle drei zeigen starke Körnerbildung und andere feine mechanische Einwirkungen. Der Pyrit, der sich in einem der Schriffe fand, zeigte völlig unregelmässige Umrisse, war aber nicht angewittert, seine Umgebung war völlig intakt.

Die mikroskopisch und makroskopisch sichtbare, ziemlich starke Zertrümmerung des Gesteins dürfte mit ein Grund sein, dass eine Reaktion von Luftsauerstoff leicht eintritt, bestätigt durch unsere Versuche und durch die Beobachtung der raschen Rostbildung im Stollen¹⁾.

Damit sind die Ursachen des erwähnten Unfalles im Prinzip abgeklärt. Eine Analogie mit dem Stickstoffgehalt von Thermalquellen und dem Unglück im Wassertunnel Brig-Ried ist offensichtlich. Man vergleiche dazu H. E. FIERZ-DAVID, Vierteljahrsschr. Naturforsch. Ges. Zürich, 87, 373, 1942.

Weitere Fragen stellen sich: Ist die lebhaftere Sauerstoffabsorption eine Eigentümlichkeit dieses Gesteines oder kommt sie allgemeiner vor? Ist die Ursache im Pyrit zu suchen oder haben andere Mineralien ähnliche Eigenschaften? Auch die Begleitstoffe können von Bedeutung sein, vielleicht die Biotite. Für

¹⁾ Briefliche Mitteilung des Geologen Dr. E. DAL VESCO.

eine Prophylaxe wäre es wichtig, zu wissen, in welchen Zeiträumen mit dieser Möglichkeit zu rechnen ist. Frischgebrochenes Gestein dürfte am wirksamsten sein. Vielleicht lässt sich eine einfache Probe ausarbeiten, welche diese künstliche Nachahmung der Verwitterung beschleunigt durchführen lässt und im Bergbau nützlich sein könnte.

Wir werden die Angelegenheit nicht weiter verfolgen, schon deshalb, weil für solche Untersuchungen weit zuständigere Stellen existieren. Wir betrachten es aber als eine Aufgabe unseres Institutes, aus Unfällen Positives herauszuschälen und wenigstens soweit zu verarbeiten, dass es anderweitig aufgegriffen werden kann.

Eine ausführliche Arbeit über den medizinischen Teil siehe Dr. A. STÖCKLY, Gewerbearzt, Arch. f. Gewerbepathologie und Gewerbehygiene 13, 584—600, 1955.

*Gerichtlich-medizinisches Institut
der Universität Zürich*

Notizen zur schweizerischen Kulturgeschichte

Mislungenener, aber interessanter Beitrag eines Zürcher Naturforschers zur Theorie der Wolkenbildung

Von

W. KUHN, Schweiz. Meteorologische Zentralanstalt, Zürich

Noch in den siebziger Jahren des letzten Jahrhunderts glaubten die meisten Meteorologen, die Kondensation des Wasserdampfes in der Atmosphäre ergebe sich aus der Mischung feuchtwarmer und kalter Luftmassen. Diese 1784 von JAMES HUTTON begründete Theorie hat in der Tat etwas Bestechendes: Wegen der Krümmung der Dampfdruckkurve ist ein Gemisch zweier verschieden warmer, mit Feuchtigkeit gesättigter Luftmassen übersättigt. Kondensation ist sogar noch dann möglich, wenn die kältere der beiden Luftmassen weit von der Sättigung entfernt war.

Die heute als selbstverständlich hingegenommene Theorie, dass das Aufsteigen feuchter Luft durch adiabatische Expansion und Abkühlung zur Wolken- und Niederschlagsbildung führe, konnte natürlich erst nach der Erkenntnis des ersten Hauptsatzes der Wärmelehre aufkommen. Gründlich widerlegt wurde die HUTTONSche Regentheorie 1867 durch PESLIN und 1874 durch JULIUS HANN.

Bereits 1869 hat sich aber H. WETTSTEIN, nachmaliger Seminardirektor in Küsnacht, in die Diskussion um diese Frage eingeschaltet. Seine in dieser Zeitschrift publizierte Arbeit [1] «Über die Beziehung der Elektrizität zum Gewitter» ist aus verschiedenen Gründen beachtenswert. Hier sollen uns nicht WETTSTEIN's Gedanken über die Gewitterelektrizität, sondern allein seine thermodynamischen Überlegungen beschäftigen. WETTSTEIN hätte als einer der ersten die

Kondensationsadiabate gefunden, wenn ihm nicht an einer entscheidenden Stelle ein Denkfehler unterlaufen wäre. Sehen wir uns seine Argumente etwas genauer an!

Zur HUTTONSchen Regentheorie bemerkt er, dass die bei der Kondensation frei werdende Wärme — insofern sie nicht nach aussen abgeführt wird — die Temperatur des Luftgemisches so stark erhöhen würde, dass das Kondensationsprodukt sofort wieder verdunsten müsste. Zur Erklärung der Kondensationsvorgänge in der Atmosphäre müsse deshalb ein anderer Prozess herangezogen werden. WERTSTEIN sucht die Ursache in aufsteigenden Luftbewegungen und der damit verbundenen adiabatischen Abkühlung; damit stellt er eine für seine Zeit recht kühne und — wie wir jetzt wissen — durchaus zutreffende Hypothese auf. Nun rechnet er aber wie folgt:

Kühlt sich feuchtigkeitsgesättigte Luft beim Aufsteigen beispielsweise von 25° C auf 0° C ab, so sinkt ihr Dampfgehalt entsprechend der Sättigungskurve von 25 auf 5 g/m³; 20 Gramm werden in Form von Wassertropfchen ausgeschieden; dabei werden 20 × 600 = 12 000 Kalorien pro m³ erzeugt, wodurch sich die Luft um mehr als 35 Grad erwärmt. Statt einer Abkühlung erhalten wir demnach im Endeffekt einen Temperaturanstieg von mehr als 10 Graden — ein paradoxes Ergebnis, weil auf diese Weise gar keine Kondensation eintreten könnte.

Wo liegt nun hier der Trugschluss? Für uns heutige Meteorologen, die wir die Herleitung der Kondensationsadiabaten aus den Lehrbüchern kennen, ist er nicht schwer zu entdecken; damals aber, wo die Naturforscher noch nicht gewohnt waren, mit Differentialgleichungen zu operieren, war der WERTSTEINSche Fehlschluss durchaus verständlich. Das Unzulässige seiner Rechnung liegt darin, dass er die beim Kondensationsprozess entstehende Wärme nachträglich hinzufügte, während sie in Wirklichkeit schon während des Aufsteigens an die Luft abgegeben wird. WERTSTEIN hätte sagen sollen: Damit sich gesättigte feuchte Luft von 25° auf 0° abkühlt, müssen ihr durch adiabatische Expansion 12 000 Kalorien mehr entzogen werden als wenn keine Kondensation stattfände; sie muss also höher steigen als trockene Luft. Eine quantitative strenge Berechnung müsste von einem Differentialgesetz ausgehen. WERTSTEIN's Gedankenexperiment führt zu folgender Differentialgleichung:

$$\frac{d \log T}{d \log p} = \frac{R}{c_p} \left(1 - \frac{r \cdot m}{c_p E} \cdot \frac{dE}{dT} \right) \quad (a)$$

Die korrekte Differentialgleichung der Kondensationsadiabaten lautet dagegen (siehe etwa bei [3]):

$$\frac{d \log T}{d \log p} = \frac{R + r \cdot m/T}{c_p + r \cdot m \cdot dE/E \cdot dT} \quad (b)$$

Dabei bedeuten: T = absolute Temperatur

p = Luftdruck

R = Gaskonstante für trockene Luft

c_p = spezifische Wärme trockener Luft (bei konstantem Druck)

r = Kondensationswärme pro g Wasser

m = Mischungsverhältnis Wasserdampf/trockene Luft

$E = E(T)$ = Sättigungsdruck des Wasserdampfes

Für kleine Werte von m und dE/dT , d. h. bei tiefen Temperaturen, ergeben beide Gleichungen ungefähr dieselbe Temperaturabnahme. Bei höheren Temperaturen versagt dagegen (a); der Klammerausdruck auf der rechten Seite wird nämlich schon oberhalb von etwa 2° C negativ, wodurch die Formel jeden physikalischen Sinn verliert. Auf Grund von (b) kann man die vertikale Temperaturabnahme im Innern einer Kumuluswolke berechnen; sie beträgt bekanntlich in den unteren Schichten 0,5 bis 0,7 Grad/100 m, um sich bei tiefen Temperaturen asymptotisch dem trockenadiabatischen Wert von 1°/100 m zu nähern.

WERTSTEIN sah sich genötigt, in den Wolken einen Wärmeverbraucher anzunehmen, um seine Theorie mit der Erfahrung in Einklang zu bringen; er dachte sich, die Kondensations-

wärme verwandeln sich in elektrische Energie. Auf die nach heutigen Begriffen etwas phantastischen Vorstellungen, die er mit dieser überflüssigen Hypothese verband, brauchen wir hier nicht einzugehen. Wir wollen es ihm auch nicht als Fehler ankreiden, dass er wie die meisten Gelehrten seiner Zeit die Wolkenröpfchen für hohle Wasserbläschen hielt und zur Stütze dieser Ansicht sogar optische Phänomene ins Feld führte. Seine Arbeit strotzt geradezu von originellen Ideen. Deshalb ist sie auch heute noch lesenswert.

Sie blieb übrigens nicht unbeachtet. HANN, dem wir in erster Linie die Abklärung der Kondensationsvorgänge verdanken, kannte sie und zitiert sie in diesem Zusammenhang in seinem Lehrbuch der Meteorologie [2].

Literatur

- [1] H. WETTSTEIN: Über die Beziehung der Elektrizität zum Gewitter. Vierteljahrsschrift der Naturf. Ges. Zürich, Bd. XIV, Zürich 1869, S. 60—103.
 [2] JULIUS HANN: Lehrbuch der Meteorologie, 1. Aufl., Leipzig 1901, S. 242—243.
 [3] H. KOSCHMIEDER: Dynamische Meteorologie, 2. Aufl., Leipzig 1941, S. 99.

Wissenschaftliche Gesellschaften

Tätigkeitsbericht der Zoologischen Gesellschaft Zürich für das Jahr 1954/55

1. Vorstand:

Präsident: Dr. H. Nater. Vizepräsident: Dr. A. Tobler. Quästor: P.-D. Dr. E. Kuhn. Aktuar: J. Aichinger. Leiterin des Mappenzirkels: Fräulein Dr. E. Stoll. Beisitzer: Prof. Dr. H. Steiner und Prof. Dr. K. Escher.

2. Mitgliederbestand:

Nach der Hauptversammlung vom 26. Juni 1955: 201 (6. Juli 1954: 196).

3. Vorträge und Exkursionen:

2. Nov. 1954: B. Schocher, Pontresina: Die Fricktaler Störche ziehen vier Junge auf; Zugvögel in Südfrankreich; Vita incognita (Filmvortrag). Veranstaltung gemeinsam mit der Ornithologischen Gesellschaft Zürich. 16. Nov. 1954: Prof. Dr. S. Rosin, Bern: Die Verteilung der ABO-Blutgruppen in der Schweiz. 30. Nov. 1954: Frau P.-D. Dr. H. Fritz-Niggli, Zürich: Der Einfluss der ionisierenden Strahlung auf die lebende Zelle. 14. Dez. 1954: Dr. F. H. Schwarzenbach, Zürich: Tierbeobachtungen in arktischen Gebirgen (Film- und Lichtbildervortrag). 18. Jan. 1955: Prof. Dr. H. Steiner, Zürich: Die phylogenetische Bedeutung der Zufallszahlen. 1. Febr. 1955: P.-D. Dr. K. Theiler, Zürich: Zur Entwicklung der Säuge-

tiergenetik in den USA. 15. Febr. 1955: Dr. H. v. Weissenfluh, Benken (Zürich): Bilder aus der mikroskopischen Anatomie der Honigbiene (Lichtbildervortrag). Veranstaltung gemeinsam mit der Entomologia Zürich. 1. März 1955: Prof. Dr. R. Matthey, Lausanne: L'analyse chromosomique et la taxonomie des Muridés. 26. Juni 1955: Hauptversammlung im Restaurant z. Brauerei, Pfäffikon (Zürich) im Anschluss an eine Exkursion in die Verlandungsmoore des Pfäffikersees, geführt von Herrn Dr. E. Messikommer, Seegraben (Zürich).

4. Mappenzirkel:

Im Berichtsjahr zirkulierten 10 verschiedene Zeitschriften, die von je 31 Mitgliedern (durchschnittlich) eingesehen wurden.

5. Finanzen:

J. Escher-Kündig-Fonds	Fr. 5000.—
Anteilschein Zoologischer Garten	Fr. 100.—
Sparheft	Fr. 872.60
Kassaguthaben	Fr. 782.20
Adressiermaschine	Fr. 1.—
Vermögen am 1. April 1955	Fr. 6755.80
Vermögen am 1. April 1954	Fr. 6587.80

Zürich, den 4. August 1955.

H. Nater