

VIII. Die Beurteilung der stauberzeugenden Betriebe¹⁾

Von

HERMANN GESSNER und HEINRICH BÜHLER

In einer ersten Arbeit (I/II)²⁾ wurde über die Ergebnisse der Untersuchungen aus einigen stauberzeugenden Betrieben berichtet und die Beurteilung der Resultate von Staubuntersuchungen ganz generell diskutiert. Das damals vorliegende, begrenzte Material erlaubte allzu weitgehende Schlussfolgerungen noch nicht.

In der Zwischenzeit konnten im Rahmen der Untersuchungen der Arbeitsgemeinschaft und in der Reihe der laufenden EMPA-Aufträge aus der Industrie eine grössere Anzahl stauberzeugender Betriebe — im einzelnen unter verschiedenen Gesichtspunkten — untersucht werden.

Die systematische Auswertung des ziemlich umfangreichen Materials ist Aufgabe des vorliegenden Berichtes.

I. Problemstellung

Es wird im folgenden von dem Begriff des « massgebenden Staubzustandes » auszugehen sein, welchen wir in unserer früheren Arbeit (I/II) definiert haben als denjenigen Staubzustand, welcher über eine längere Zeit eingeatmet, zur Aufnahme der gleichen Staubmenge mit der gleichen Kornabstufung und der gleichen chemisch-mineralogischen Zusammensetzung führen würde, wie sie in den in jedem Betrieb immer sehr starken Schwankungen unterworfenen Staubzuständen während der gleichen Aufenthaltszeit wirklich aufgenommen wird.

Dieser Staubzustand ist in einer grösseren Anzahl von Betriebsuntersuchungen — allerdings immer nur stichprobenweise — ermittelt worden. Das vorliegende Zahlenmaterial soll zunächst kritisch ausgewertet werden. Anschliessend soll untersucht werden, welche Zusammenhänge zwischen den beobachteten Staubbedingungen in einem Betrieb und dessen Betriebsbedingungen bestehen. Unter « Betriebsbedingungen » sind im besonderen die Produktion oder verarbeitete Gesamtmenge an losem Material, die Art der mechanischen Bearbeitung (Bohren, Mahlen usw.) und die Staubproduktion, d. h. das pro Zeiteinheit in die Luft gelangende, schwebefähige feine Material, sowie die Raum- und Ventilationsverhältnisse zu verstehen.

¹⁾ Aus der Abteilung für Industriestaub und Abgase (Gaslaboratorium) an der Eidg. Materialprüfungsanstalt, Zürich.

²⁾ Die eingeklammerten Zahlen beziehen sich auf das Literaturverzeichnis am Schluss der Arbeit.

II. Zusammenstellung der Resultate der durchgeführten Betriebsuntersuchungen

Die Betriebe werden nach Betriebsart in folgende Gruppen unterteilt:

- A. Stollenbau. Erzeugung des Staubes durch Bohren, Schiessen (Sprengen) und Räumungsarbeiten.
- B. Bohrarbeit im Freien (Strassenbau, für die in diese Kategorie einzuordnende Arbeit im Steinbruch fehlen untersuchte Beispiele).
- C. Schotteraufbereitungsanlagen. (Stauberzeugung vornehmlich beim Brechen und Sortieren).
- D. Sandstrahlerei und Gussputzerei.
- E. Verschiedene weitere Betriebe.

Gruppe A. Stollenbau

Im nachfolgenden werden zwei genauer untersuchte Beispiele etwas ausführlicher besprochen:

1. Stollenbau im Reusstal

Untersuchung Ende Mai 1947.

a) Allgemeine Situation

Es wurden die Verhältnisse in den beiden Vortrieben, die von einem Querstollen (Fenster) aus nach beiden Seiten angelegt waren, untersucht. Die Situation ist in Abb. 1 schematisch dargestellt. Der Stollenquerschnitt beträgt ca. 7 m^2 , er weist ein schwaches Gefälle von ca. $0,5 \%$ in Süd-Nord-Richtung auf.

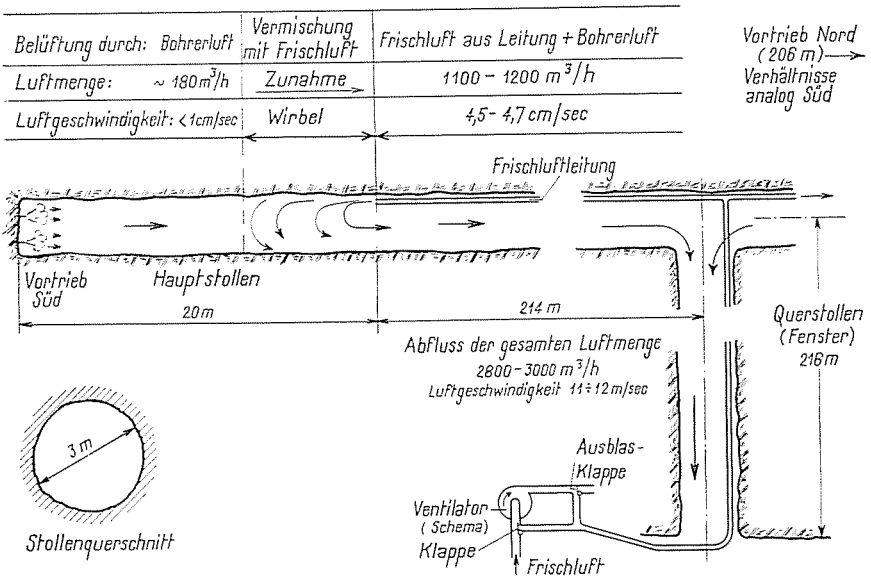


Abb. 1 Schematische Darstellung der Belüftungsverhältnisse im Stollensystem.

b) Petrographische und chemische Charakterisierung des Gesteins

Der Stollen wird im Biotitgranit des Aaremassivs vorgetrieben. Das Gestein ist über den grössten Teil der Strecke nahezu massig und weist nur stellenweise eine etwas stärker geschieferte Textur auf. Der Granit ist grob bis mittelkörnig. Die Biotite sind zum Teil in Chlorit, die Feldspäte in Serizit umgewandelt, so dass das Gestein allgemein eine grünliche Farbe aufweist.

Der Mineralbestand des durchfahrenen Gesteins kann mit 30—35 % Quarz, 50—60 % Feldspäten und dem Rest aus geringeren Anteilen an Biotit, Chlorit und Serizit angegeben werden.

Die chemische Zusammensetzung wurde nur an der Fraktion feiner als 80 μ aus dem Bohrmehl Probe 3 (vgl. S. 132) durchgeführt, sie ergab im Vergleich zu einigen bekannten Gesteinsanalysen aus Granit des Aaremassivs folgende Zusammensetzung:

| Bestandteil | Bohrmehl Anteile < 80 μ | Vergleichsanalysen | |
|---|--------------------------------|--|--|
| | | massiger Aaregranit Göschenertal ¹⁾ | massiger Aare- granit von Wassen, rechtes Reussufer ¹⁾ |
| SiO ₂ | 70,06 | 71,00 | 73,20 |
| Al ₂ O ₃ | 13,14 | 13,96 | 14,12 |
| Fe ₂ O ₃ + TiO ₂ | 3,86 | 4,12 | 2,78 |
| MgO | 1,54 | 0,11 | 0,07 |
| CaO | 0,59 | 1,82 | 1,02 |
| Na ₂ O | 2,95 | 3,43 | 3,91 |
| K ₂ O | 3,23 | 5,29 | 5,08 |
| H ₂ O (chem. geb.) | 1,68 | 0,54 | 0,21 |
| Summe | 97,05 | 100,27 | 100,39 |

¹⁾ Aus P. NIGGLI, F. DE QUERVAIN, R. U. WINTERHALTER, (2)

Die Analyse der Bohrmehlfraction unter 80 μ weist im Vergleich zur chemischen Zusammensetzung der Granitproben aus dem nämlichen Gebiet einen auffallend hohen Magnesiumgehalt und einen sehr kleinen Kalziumoxydgehalt auf.

c) Der Arbeitsvorgang

In jedem Vortrieb sind zwei ca. 20 kg schwere Bohrhämmer, die in der Regel von je zwei Mann bedient werden, angesetzt. Die Bohrer haben einfache Coromant-Schneiden³⁾.

Es wird nass gebohrt; der Wasseraustritt erfolgt beidseitig durch eine Bohrung in den Keilflächen des Bohrstahls (Abb. 2). Nach Angabe der Betriebsleitung beträgt der Spülwasserverbrauch eines Bohrers 0,5 Liter in der Minute. Die Wasserzuführung wird indessen bei der Bohrarbeit vom Mineur gefühlsmässig reguliert und ist damit zweifellos grösseren Schwankungen unterworfen. Beim Bohren schräg nach unten wird in der Regel mehr Wasser verbraucht als beim Bohren schräg aufwärts, wo der Mineur bei Verwendung von viel Wasser dem aus dem Bohrloch ausfliessenden Wasser unangenehm stark ausgesetzt ist.

Die Bohrleistung ist nach Angabe der Betriebsleitung im Mittel 14 cm/min. Die Bohrer sind indessen beim Bohren eines Bohrloches nie andauernd in Betrieb, da durch

³⁾ Coromant-Schneiden sind auf dem Bohrstahl eingesetzte Schneiden aus einer Hartmetall-Legierung.

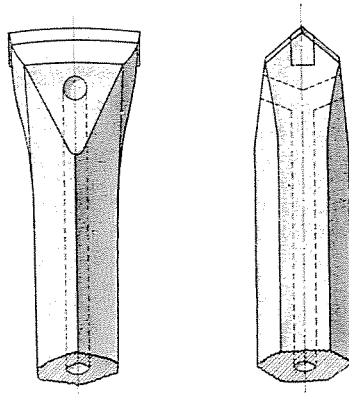


Abb. 2 Bohrer mit einfacher Coromant-Schneide.

das Auswechseln der Bohrstähle und durch Störungen beim Verklemmen der Bohrer stets Unterbrüche auftreten. Die effektiven Bohrzeiten sind während der Staubprobenahmen je-weilen notiert worden (vgl. unten).

Der Vortrieb erfolgt in Schichten zu 10 Stunden; in jeder Schicht wird zweimal ge-schossen. Der Aushub beträgt nach Angabe der Betriebsleitung im Mittel 10—12 m³ pro Attacke.

d) Die Belüftungsverhältnisse

Die Ventilationsanlage der Baustelle ist in Abb. 1 dargestellt.

Von dem ausserhalb des Querstollens (Fensters) montierten Ventilator führt eine Blechröhrleitung von 30 cm Durchmesser durch den 216 m langen Quer-stollen in den Hauptstollen, wo sie sich nach beiden Vortrieben verzweigt; die Zweigleitungen weisen einen Durchmesser von 25 cm auf.

Im Südvortrieb mündet die Luftleitung 20 m vor der Brust, im Nordvortrieb 22 m.

Die Belüftung ist umkehrbar, d. h. die in der Regel auf Frischluftzufuhr von aussen (Einblas) eingestellte Belüftung kann durch eine Klappensteuerung auf Stollenluftabsaugung umgestellt werden.

Bei der Abzweigung im Hauptstollen kann die Belüftung nach den beiden Vortrieben durch Klappen je nach Bedürfnis reguliert werden.

Unsere anlässlich der Untersuchung vorgenommenen Luftmengenmessungen ergaben folgenden Befund:

1. Luftmenge in der Hauptleitung
vermittels Prandtl-Röhr 12 m hinter dem Ventilator gemessen:
Luft einblas 2500 bis 2600 m³/h
Luftabsaugung aus Stollen 2500 bis 2600 m³/h
2. Luftaustritt im Nordvortrieb
bei geschlossener Klappe gegen den
Südvortrieb 1300 bis 1400 m³/h
3. Luftaustritt im Südvortrieb
bei gleichzeitiger Belüftung im Nord-
vortrieb (beide Klappen offen) 950 bis 1000 m³/h

Bei Einstellung der Ventilation auf Frischluftzufuhr, was während des Aufenthaltes der Mineure am Vortrieb die Regel bildet, kommt während der Bohrarbeit noch die durch die Bohrer austretende Druckluft hinzu; sie beträgt in der Minute ca. 1,5 m³ pro Bohrer, beim

gleichzeitigen Betrieb von 4 Bohrern also ca. 360 m³/h, wobei allerdings zu berücksichtigen ist, dass die Bohrer nie kontinuierlich arbeiten.

Der Luftaustritt bei den Vortrieben ist bei beidseitig offenen Klappen erheblich geringer als die in der Hauptleitung kurz nach dem Ventilator gemessene Luftzuführung; der Luftaustritt im Nordvortrieb ist bei beidseitig offenen Klappen nicht gemessen worden, er dürfte indessen (trotz der etwas kürzeren Leitung) unwesentlich höher sein als im Südvortrieb, so dass die in beiden Vortrieben zusammen austretende Luftmenge um 2000 m³/h betragen dürfte. Der Verlust von etwa einem Fünftel der gesamten zugeführten Luft ist auf Undichtigkeiten bei den Flanschen der Leitungen zurückzuführen.

Aus den Zahlen ergeben sich die in Abb. 1 schematisch dargestellten Belüftungsverhältnisse im Stollensystem.

Die Luftbewegung im Stollen ist sehr gering. Durch den Frischluftausblas in 20—22 m Entfernung von der Brust wird der eigentliche Arbeitsort nur noch in sehr geringem Masse belüftet. Die aus den Bohrern austretende Luft erzeugt am Stollenende einen Luftabfluss mit einer Geschwindigkeit von weniger als 1 cm/s. Erst in der Zone, wo die Frischluft beim Einblasen verwirbelt wird, tritt eine bessere Belüftung ein. Der Luftabfluss hinter der Mündung der Frischluftleitung geht mit einer Geschwindigkeit von 4,5—4,7 cm/s vor sich, so dass die Zeit, die benötigt wird, den ganzen Hauptstollen einmal auszublasen, ungefähr 1½ Stunden beträgt.

Der Luftaustritt aus dem Querstollen (Fenster) wurde ca. 10 m vom Eingang mittels eines Anemometers gemessen. An dieser Stelle war der Einfluss des Temperaturunterschiedes zwischen Aussenatmosphäre (08.30 Uhr: 17,8° C bei direkter Sonneneinstrahlung auf den Ausgang und schwachem Bergwind [Südwind] von ca. 0,5 m/s) und der Stollenluft (11,5° C) deutlich.

Die aus dem Querstollen ausfliessende Luft zeigte folgende Geschwindigkeiten:

| | |
|--|-------------|
| In 0,35 m Höhe über Boden | ca. 15 cm/s |
| In 1,0 m Höhe über Boden | ca. 10 cm/s |
| In 1,8 m Höhe über Boden (mit dem Anemometer nicht mehr messbar, am Tabakrauchschwaden geschätzt) | ca. 5 cm/s |

Der Mittelwert von ca. 10 cm/s stimmt mit unserer Berechnung aus Luftmenge und Stollenquerschnitt von 11—12 cm/s befriedigend überein.

Eine natürliche Belüftung des Stollensystems durch Temperaturunterschiede zwischen Aussen- und Stollenatmosphäre oder Windanfall ist mit Ausnahme des vordersten Stückes des Querstollens im vorliegenden Falle natürlich ausgeschlossen.

Die Umkehr der Stollenbelüftung auf Stollenluftabsaugung wird nur für 15—20 Minuten nach dem Abschliessen der Ladungen vorgenommen. Die Belüftungsverhältnisse sind dann gerade umgekehrt als oben geschildert.

e) Der Staub- und Luftzustand im Stollen; Staubprobenahme und Untersuchungsergebnisse

Probenahmen im Vortrieb Süd (09.00—10.15 und 17.05—17.30 Uhr).

Allgemeine Beobachtung. Die Luft im Stollen erscheint in subjektiver Betrachtung wenig staubig, am Vortrieb ist der Staubgehalt etwas auffallender, daneben ist der Geruch der Azetylenlampen und der im Stollen laufenden Diesellokomotive deutlich wahrnehmbar.

Die Stollenbelüftung läuft auf Frischluftzufuhr (950—1000 m³/h).
Staubproben aus der Luft während der Bohrarbeit

Im Vortrieb sind zwei Bohrer in Betrieb. Die Bohrlöcher sind zur Zeit der Probenahmen 50—100 cm tief.

Die Staubproben werden in Kopfhöhe der Arbeiter in 2 m Abstand von der Stollenbrust gezogen; sie ergeben folgendes Resultat:

| | Probenahme I | | Probenahme II | |
|--|--------------------------------|------------------------|---|-----------------|
| | Mineure in aufrechter Stellung | | Mineure sitzend, Probenahme unmittelbar hinter dem Kopf des Mineurs | |
| Dauer der Probenahme | 18 Minuten | | 10 Minuten | |
| davon effektive Bohrzeit (Bohrerminuten) | 28 Minuten | | 14 Minuten | |
| Probe Nr. | 1 | 2 | 4 | 5 |
| Art der Entnahme | Filter | Impinger | Filter | Impinger |
| angesaugte Luftmenge | 1,56 | 0,45 | 0,74 | — ¹⁾ |
| Gesamtstaubmenge bei 110° getrocknet schwach geglüht (~300°) | — | 9,7 mg | — | 5,0 mg |
| | 21,3 mg | 7,8 mg | 4,6 mg | 4,0 mg |
| Staubkonzentration getrocknet | — | 21,6 mg/m ³ | — | — |
| geglüht | 13,7 mg/m ³ | 17,3 mg/m ³ | 6,2 mg/m ³ | — |
| Kornverteilung ²⁾ | 54% = | 83% = | 71% = | — |
| Anteile feiner 10 μ ∅ | 7,4 mg/m ³ | 14,4 mg/m ³ | 4,4 mg/m ³ | — |

¹⁾ Störung an Messapparat

²⁾ Die Kornverteilungskurven der Staubproben (Resultate der Schlämmanalysen) sind in Abb. 3 zur Darstellung gebracht.

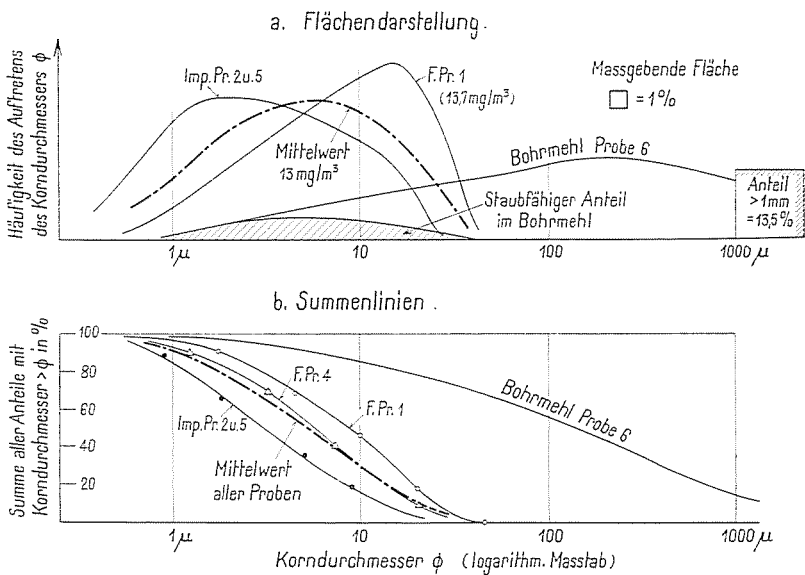


Abb. 3 Kornverteilungskurven der Staubproben und des Bohrmehls aus dem Stollenbau in Granit.

Zur Ergänzung der Untersuchung wurden zwischen den beiden Probenahmen I und II zwei Staubzählkammerproben gezogen.

Zählkammer Nr. 1

Staub aus dichtem Schwaden, 1 m vom Bohrloch,
die Auszählung ergibt 25 500 Teilchen/cm³

Zählkammer Nr. 2

An gleicher Stelle im verwirbelten Schwaden,
die Auszählung ergibt 31 000 Teilchen/cm³

Weitere Zählkammerproben wurden am Nachmittag (17.10 Uhr) gezogen, sie ergaben:

Zählkammer Nr. 5

Staub im Schwaden 44 600 Teilchen/cm³

Zählkammer Nr. 6

Verwirbelter Schwaden, 1 m hinter der Stollenbrust 29 300 Teilchen/cm³

Im weiteren wurden zwei Bohrschlammproben (Proben Nr. 3 und 6) entnommen, indem das aus dem Bohrloch ausfließende Spülwasser mit dem aufgeschlämmten Bohrmehl in eine Flasche gesammelt wurde.

Die Schlämmanalyse des Bohrschlammes (Probe 6) (Kornverteilungskurve) ist in Abb. 3 ebenfalls zur Darstellung gebracht und mit der Staubkurve verglichen; der Zusammenhang wird im III. Kapitel besprochen.

Zusammenfassend ergibt die Untersuchung folgendes:

Die mittlere Staubkonzentration am Arbeitsort der Mineure beträgt unter den angegebenen Bedingungen 13,5 mg/m³ bei einer Gesamtstreuung von drei Stichproben zwischen 6,2 und 17,3 mg/m³ (Totalstaubgewicht im Verhältnis zur gesamten angesaugten Luftmenge); die massgebende Staubkonzentration der Anteile unter 10 μ Durchmesser beträgt 9,5 mg/m³ bei einer Streuung zwischen 4,4 und 14,4 mg/m³. Bei einem mittleren Quarzgehalt von 33 % würde der massgebende Quarzanteil (feiner 10 μ) somit 3,2 mg/m³ betragen.

Die Teilchenzahlen betragen im Mittel 32 600 Teilchen/cm³ (Gesamtstreuung 25 500—44 600).

2. Stollenbau im Verrucano

Es handelt sich um die Aussprengung einer grösseren Kammer im Verrucano.

Die bei dem besonderen Bauvorgang festgestellten Staubbedingungen waren ausserordentlich aufschlussreich, so dass die Resultate etwas eingehender besprochen werden sollen.

a) Allgemeine Situation

Die auszusprengende Kammer wird durch einen ca. 100 m langen Stollen von ca. 5,5 \times 4,5 m Querschnitt (25 m²) erreicht. Zur Zeit der Untersuchung ist der oberste Teil der Kammer auf die ganze Länge des Gewölbes bis 4,5 m unter den Scheitel ausgesprengt; der vordere Teil wird in der ganzen restlichen Höhe von ca. 10 m in einer Breite von 14 m abgebaut.

b) Petrographische und chemische Charakterisierung des Gesteins

Die Verrucanoschichten bestehen hier zur Hauptsache aus grobbankigen, geschieferten, festen, feinkörnigen Brekzien von blassroter Färbung. Die Brekzien setzen sich aus 40 bis 50 % Quarz, 20—30 % Feldspat, 15—25 % Serizit und wenig Karbonat zusammen. Untergeordnet finden sich sandige serizitreiche Schiefer mit 30—40 % Quarz *). Vergleiche auch die sehr ähnlichen Verrucanogesteine von Kastels in der Arbeit von A. GLAUSER (S. 140).

Chemische Analyse im Vergleich zu bekannten Gesteinsanalysen

Es wurde eine chemische Analyse der Fraktion einer Bohrmehlprobe unter 80 μ Korndurchmesser (Schlammprobe 1, vgl. S. 135) durchgeführt.

Die gefundenen Werte sind in der nachfolgenden Tabelle im Vergleich mit einer Verrucano-Analyse von Murg zusammengestellt.

| | Bohrschlamm Fraktion < 80 μ | Verrucano von Murg (Analyse von L. HEZNER) (2) |
|--|------------------------------------|---|
| | % | % |
| SiO ₂ | 69,95 | 66,12 |
| Al ₂ O ₃ | 11,45 | 14,52 |
| Fe ₂ O ₃ + TiO ₂ | 2,68 | 5,82 + 0,81 |
| CaO | 3,87 | 1,62 |
| MgO | 0,59 | 1,11 |
| CO ₂ | (2,21) | — |
| Glühverlust | 4,42 | 3,05 |
| Übrige Bestandteile (vorherrschend Alkalien) | — | Na ₂ O 2,21 |
| (ber. Differenz zu 100 %) | 7,04 | K ₂ O 4,69 |
| | (100,0) | 99,95 |

Siehe auch die Analyse in der Arbeit von A. GLAUSER (S. 124).

c) Der Arbeitsvorgang

Der Vortrieb erfolgt treppenförmig vom ausgesprengten Gewölbe aus, in einer Arbeitsweise, wie sie ähnlich in Steinbrüchen üblich ist. Im ganzen Querschnitt sind jeweilen 6—8 Bohrer angesetzt.

Pro Attacke werden ca. 120 Bohrlöcher mit einer Sprengstoffmenge von insgesamt 50—100 kg Sprengstoff abgeschossen. Die Sprengung wird jeweilen zwischen 05.00 und 06.00 Uhr vorgenommen. Ungefähr eine Stunde später wird mit den Räumungsarbeiten (Bagger und mit Dieselmotor betriebene Rollwagenzüge) begonnen; die Bohrarbeit kann jeweils um die Mittagszeit aufgenommen werden und wird dann bis 04.00 Uhr des andern Tages fortgesetzt.

*) Angaben von Herrn Prof. Dr. F. DE QUERVAIN, weitere Angaben finden sich in dessen Buch «Die nutzbaren Gesteine der Schweiz» (3).

d) Die Belüftungsverhältnisse

Die Ventilation erfolgt durch einen beim Stolleneingang aufgestellten, umkehrbaren Ventilator, von welchem die Luft durch eine Leitung von 31 cm Durchmesser durch den Stollen in die Kammer gepresst bzw. daraus abgesaugt wird. Anlässlich der vorgenommenen Untersuchung war die Leitung bis 24 m vor den Fuss des Abbaus montiert, wo sie in 2 m Höhe über Boden endete. Während der Bohrarbeit wurde sie noch um 12 m verlängert.

Die vorgenommenen Messungen ergaben eine Luftansaugleistung von 3600 bis 4000 m³/h.

Diese Luftförderleistung führt zu einer einmaligen Umwälzung des Luftinhaltes der rund 13 000 m³ fassenden Kammer in ungefähr 3 Stunden.

Zusätzlich war anlässlich unserer Messungen eine erhebliche natürliche Belüftung durch die zwischen Kammer und Aussenatmosphäre herrschenden Temperaturunterschiede festzustellen.

Die Temperaturen waren:

| | Im Freien | In der Kammer | Differenz |
|--------------|-----------|---------------|-----------|
| um 10.00 Uhr | — 3,2° | 9,2° | 12,4° |
| um 13.40 Uhr | — 0,2° | 11,8° | 12,0° |
| um 02.30 Uhr | — 6,2° | 7,5° | 13,7° |

Um 10.30 Uhr waren im Zugangsstollen, 40 m vom Ausgang entfernt, die folgenden Luftströmungsverhältnisse zu beobachten:

Im untern Teil des Stollens strömte die kalte Luft mit einer Temperatur von 1,5° C mit einer Geschwindigkeit von ca. 0,2 m/s in den Stollen hinein, während im obern Teil des Stollens die staubhaltige trübe Kammerluft 1 m unter dem Scheitel eine Temperatur von 8,5° C aufwies und mit einer Strömungsgeschwindigkeit von ca. 0,3 m/s aus dem Stollen herausströmte. Abb. 4 zeigt die photographische Aufnahme, auf welcher die beiden Luftschichten deutlich zu erkennen sind.



Abb. 4 Aufnahme gegen den Stollenausgang; unten einströmende kalte, klare Luft, oben warme, trübe Stollenluft.

Die durch den Ventilator erzeugte Luftströmung von ca. $1 \text{ m}^3/\text{s}$ im Stollenquerschnitt von ca. 25 m^2 würde, auf den ganzen Stollenquerschnitt gleichmässig verteilt, eine Strömungsgeschwindigkeit von ca. 4 cm/s stolleneinwärts ergeben. In der vorgefundenen Situation strömte die vom Ventilator angesaugte Luft mit der unteren Luftschicht in den Stollen hinein. Der beobachtete Luftaustausch durch die natürliche Belüftung und die Ventilation liegt in der Grössenordnung von ca. $2 \text{ m}^3/\text{s}$, er ist also etwa doppelt so gross als die künstliche Ventilation allein erzeugen würde. Es ist aber zu bedenken, dass der Luftaustausch durch die Temperaturunterschiede beim Ausgang des Zugangsstollens am kräftigsten ist, mit zunehmender Länge des Stollens abnehmen muss und sich in der Kammer, wiederum in abnehmendem Masse von der Einmündung des Stollens gegen den Arbeitsort, nur noch schwach auswirken wird.

e) Der Staub- und Luftzustand in der Kammer; die Staubuntersuchungen

Der Staubzustand wurde über eine ganze Arbeitsperiode von 24 Stunden beobachtet und untersucht. Die folgende Übersicht orientiert über die gemachten Beobachtungen und die Probenahmen (Auszug aus dem Versuchsprotokoll):

1. Tag

- 06.00 ist gesprengt worden (ca. 120 kg Sprengstoff), Ventilator saugt.
 07.00 wird die Baggerarbeit aufgenommen.
 10.00 herrscht im Stollen eine ziemlich trübe Atmosphäre, Bagger und Diesellokomotiven in Betrieb, Geruch nach Dieselabgasen. Noch keine Bohrarbeit. Staubproben: Staubzählkammern Nrn. 1 und 2.
 12.00 Beginn der Bohrarbeit auf den obersten Stufen des Vortriebes; unten werden die Räumungsarbeiten weitergeführt.
 14.00 6—8 Bohrer (oben und Mitte) in Betrieb, Bohrrichtung senkrecht nach unten. Beim Ansetzen der Bohrer wird trocken, später nass gebohrt. Die Bohrer sind mit Coromant-Schneiden ausgerüstet. Die Bohrerleistung beträgt ca. 25 cm/min .
 14.00—15.30 werden 1 Impingerprobe, 3 Filterproben, 4 Staubzählkammerproben, 1 Bohrschlammprobe entnommen.

2. Tag

- 02.30 seit 12.00 Uhr andauernde Bohrarbeit.
 02.40 sind nur noch 2 Bohrer am Fusse der Wand in Betrieb, Bohrrichtung waagrecht. Die Luft erscheint, subjektiv beurteilt, wenig staubig. Stauberzeugung durch Bagger fehlt seit Stunden.
 02.50—03.50 werden 1 Impingerprobe, 1 Filterprobe, 2 Staubzählkammerproben, 1 Bohrschlammprobe gezogen. Während der Probenahme werden ca. 24 m Bohrloch gebohrt, Bohrerleistung ca. 20 cm/min .
 04.15 Rückzug aus der Kammer.
 05.20—05.30 erfolgt die Sprengung; es werden ca. 100 kg Sprengstoff abgeschossen.
 06.00 Einstieg in die Kammer. In der Kammer dichter Staub- und Sprengschwaden, von unten nach oben nimmt die Dichte des Schwadens zu (Folge der Ventilation durch Temperaturunterschied). Der Ventilator läuft, Absaugen der Kammerluft.
 06.10—06.45 werden 1 Impingerprobe, 2 Filterproben, 2 Staubzählkammerproben gezogen.
 14.00—15.00 werden versuchsweise Staubproben in 3—4 m Abstand zwischen zwei trocken bohrenden Hämern gezogen, die übrigen Bohrer arbeiten nass; 1 Impingerprobe, 2 Filterproben.

Die Ergebnisse der Staubuntersuchungen sind in Tab. I (S. 136) zusammengestellt, in Abb. 5 sind die Resultate der Schlämmanalysen (Kornverteilungskurven) graphisch zur Darstellung gebracht.

Tabelle I Zusammenstellung der Ergebnisse der Staubbuntersuchung

Bohrarbeit und Sprengen in Verrucano

| Zeit | Arbeitsperiode | Staubprobe Nr. | Angesaugte Luftmenge m ³ | Staub- gewicht mg | Staubkonzentration | | Teilchenzahlen (Staubzähl- kammerproben) Teilchen/cm ³ |
|-------------|---|-------------------|---|-------------------------|----------------------------|--|--|
| | | | | | Total mg/m ³ | Anteil < 10 μ ϕ Kornverteilung siehe Fig. 5 | |
| 06.00 | Sprengen (120 Bohrlöcher) | — | — | — | — | — | Nr. 1 |
| 07.00 | Aufnahme der Baggerarbeit | — | — | — | — | — | Nr. 2 |
| 10.00 | Räumungsarbeiten in der Kammer, Bagger, Rollwagenzüge, Dieselmot. | — | — | — | — | — | Nr. 1 Nr. 2 |
| 12.00 | Beginn der Bohrarbeit | — | — | — | — | — | — |
| 14.00 | 6—8 Bohrer in Betrieb | — | — | — | — | — | — |
| 14.00—15.00 | (oben und Mitte Kammer) Probenahme auf oberer Stufe | Imp. Pr. 1 | 5,0 | 16,4 | 3,3 | 91 % = 3,0 mg/m ³ | Nr. 3 |
| | | Filterpr. 1 | 0,80 | 4,3 | 5,4 | — | Nr. 4 |
| | | » 2 | 0,78 | 3,2 | 4,1 | — | Nr. 5 |
| | | » 3 | 1,25 | 6,5 | 5,2 | — | Nr. 6 |
| | Summen, bzw. Mittelwert aller 4 Proben. | — | Σ = 7,83 | Σ = 30,4 | 3,9 | — | 10 000 |
| 02.30—03.50 | (Seit 12.00 andauernde Bohrarbeit) 2 Bohrer auf Sohle | Imp. Pr. 2 | 4,1 | 9,7 | 2,4 | 95 % = 2,3 mg/m ³ | Nr. 7 |
| | Mittelwert der 2 Proben | Filterpr. 4 | 4,3 | 10,0 | 2,3 | — | Nr. 8 |
| | | — | Σ = 8,4 | Σ = 19,7 | 2,35 | — | 980 |
| 05.20—05.30 | Sprengung (ca. 100 kg Sprengstoff) | Imp. Pr. 3 | 2,04 | 151 | 74 | 95 % = 70 mg/m ³ | Nr. 9 |
| 06.00—06.45 | Probenahme auf Sohle im dichten Schwaden | Filterpr. 5 | 1,12 | 114 | 102 | 98 % = 100 mg/m ³ | Nr. 10 |
| | | » 6 | 1,05 | 72,5 | 69 | 96 % = 66 mg/m ³ | — |
| | | — | Σ = 4,21 | Σ = 337,5 | 80 | — | — |
| | Mittelwert aller 3 Proben | — | — | — | — | — | — |
| 14.00—15.00 | Versuchsweise Trockenbohren mit 2 Bohrern (die andern Bohrer laufen nass) | Imp. Pr. 4 | 1,08 | 54,6 | 50,6 | 88,5 % = 44,8 mg/m ³ | — |
| | Mittelwert aller 3 Proben | Filterpr. 7 | 0,76 | 18,6 | 24,5 | — | — |
| | | » 8 | 0,47 | 12,9 | 27,4 | — | — |
| | | — | Σ = 2,31 | Σ = 86,1 | 37,5 | — | — |

Die Mittelwerte der Schlämmanalysen sind in Fig. 5 zur Darstellung gebracht.

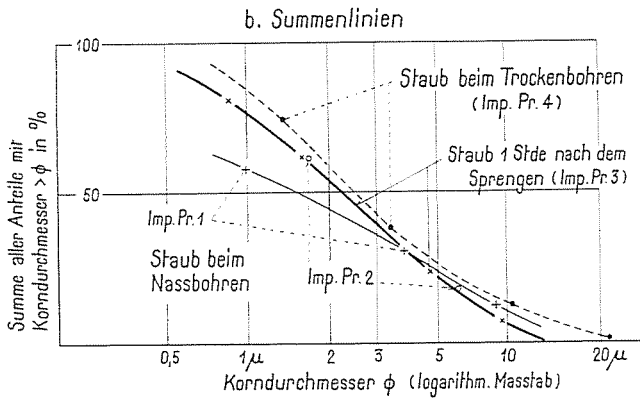
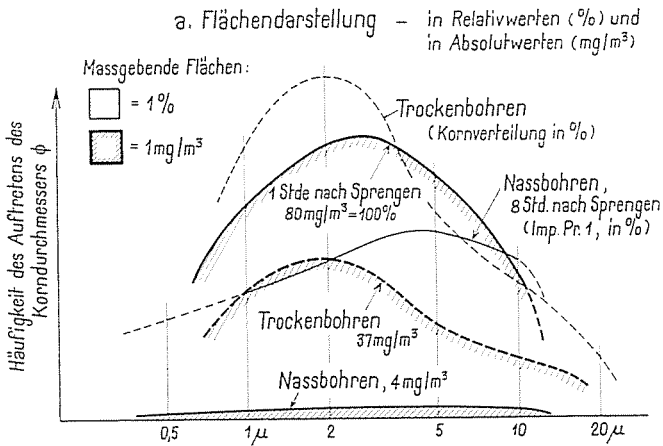


Abb. 5 Kornverteilungskurven der Staubproben aus dem Stollenbau im Verrucano.

Die wichtigsten Punkte seien an dieser Stelle kurz besprochen:

1. Die Staubbedingungen in der Kammer sind dadurch gekennzeichnet, dass die Stauberzeugung beim Sprengen ein Vielfaches der beim Bohren anfallenden Staubmenge beträgt.

In der nachfolgenden Übersicht sind die ermittelten Gesamt-Staubkonzentrationen während der verschiedenen Arbeitsperioden nach dem Sprengen zusammengestellt.

| Arbeitsperiode | Gesamtstaubkonzentration | |
|--|----------------------------|--|
| | Staubmenge durch Luftmenge | Arithmetisches Mittel der Einzelproben |
| $\frac{1}{2}$ —1 $\frac{1}{2}$ Stunden nach dem Sprengen | 80 mg/m ³ | 82 mg/m ³ |
| 8—9 Stunden nach dem Sprengen | 3,9 mg/m ³ | 4,5 mg/m |
| 20 $\frac{1}{2}$ —21 $\frac{1}{2}$ Stunden nach dem Sprengen | 2,35 mg/m ³ | 2,35 mg/m ³ |
| Versuchsweises Trockenbohren | 37,5 mg/m ³ | 34,2 mg/m ³ |

Die Abnahme der Staubkonzentration von der 1. Stunde bis zur 8. Stunde nach dem Sprengen ist in erster Linie auf die Belüftung zurückzuführen. Die Frischluftzufuhr liegt nach den S. 134 gemachten Feststellungen in der Mitte der Kammer etwas über 4000 m³/h (künstliche Ventilation und geringe zusätzliche natürliche Ventilation durch die Temperaturunterschiede). Der angenommene Wert von etwas über 4000 m³/h würde in ca. 3 Stunden zu einer einmaligen Luftumwälzung des Kammerinhaltes führen, d. h. dass die Raumluft in der Kammer in 9 Stunden dreimal umgewälzt worden wäre. Bei rascher gleichmässiger Vermischung der Frischluft mit der Kammerluft müsste die ursprüngliche Staubkonzentration C_0 auf den Betrag $C_3 = C_0 \cdot e^{-3}$ (Belüftungsformel)* abnehmen und würde (für $C_0 = 80 \text{ mg/m}^3$) $80 \cdot 0,05 = 4 \text{ mg/m}^3$ ergeben, was mit den gefundenen Zahlen von 3,9 bzw. 4,5 mg/m³ verblüffend gut übereinstimmt.

Die der Belüftungsformel zu Grunde liegenden Bedingungen (rasche gleichmässige Durchmischung der zugeführten Frischluft mit der Raumluft, in welcher ein Fremdstoff [Gas oder Dampf] homogen verteilt ist und keine Sedimentation aufweisen darf) sind natürlich im vorliegenden Falle bei weitem nicht erfüllt. Immerhin zeigt die Kornzusammensetzung der gezogenen Proben, dass eine Durchmischung der Staubluft mit der Frischluft vorhanden ist; in absolut ruhiger Luft müssten in der 13 m hohen Kammer nach 9 Stunden alle Anteile unter ca. 2 μ vollkommen aussedimentiert sein, und in der ca. 5 m unter der Gewölbedecke gezogenen Probe 1 dürften keine Teilchen über 1,5 μ vorhanden sein. Dies ist nicht der Fall, die Kornverteilungskurven (vgl. Abb. 5) zeigen einen Gehalt von 45 % der Anteile über 2 μ . Infolge der Luftströmungen ist die Sedimentation gestört, und eine Durchmischung ist eindeutig festzustellen. Im weiteren kommen allerdings bereits zusätzlich gröbere Anteile von der Bohrarbeit dazu.

Die festgestellte relativ geringe Abnahme der Staubkonzentration von 3,9 bzw. 4,5 mg/m³ nach 8 Stunden auf 2,35 mg/m³ nach 21 Stunden ist das Resultat der Ventilationswirkung und der nun ins Gewicht fallenden Stauberzeugung beim Bohren. Die Ventilationswirkung müsste nach 21 Stunden, also nach siebenfacher Luftumwälzung, zu einer Staubkonzentration von $C_7 = C_0 \cdot e^{-7} = 80 \cdot 0,001 = 0,08 \text{ mg/m}^3$ führen, d. h. der Stollen wäre ohne neue Staubproduktion praktisch vollkommen belüftet. Der um diese Zeit festgestellte Staub stammt somit von der Bohrarbeit. Der Staub ist, soweit die geringe Materialmenge von 9,7 mg der Impingerprobe 2 eine Auswertung gestattet, auch deutlich gröber als Probe 1 (vgl. Abb. 5b).

2. Die Kornverteilung des Staubes in den verschiedenen Arbeitsperioden ist trotz der sehr grossen Unterschiede in den Konzentrationen auffallend ähnlich.

In Abb. 5 sind die Kornverteilungskurven zusammengestellt. Massgebend sind vor allem die Schlämmanalysen der Impingerproben; die Schlämmanalysen der Filterproben (in der Abbildung nicht eingezeichnet) stimmten, soweit aus den Proben genügend Material für eine Analyse isoliert werden konnte, befriedigend mit den Analysen der Impingerproben überein.

Alle Staubproben erwiesen sich als sehr fein, der Anteil des Kornes über 10 μ Durchmesser schwankt zwischen 2 und 9 %. Beim Trockenbohren war der Anteil an Korn über 10 μ Durchmesser mit 11,5 % wenig grösser.

Das Maximum der Kornverteilungskurve des Staubes 1 Stunde nach dem Sprengen liegt zwischen 2,5 und 3 μ Durchmesser, beim Bohren verschiebt sich dann das Maximum nach rechts, d. h. der Anteil an grobem Korn wird relativ etwas grösser; das Maximum der Probe 1 (8 Stunden nach dem Sprengen gezogen) liegt zwischen 4 und 5 μ .

3. Die orientierenden chemischen Untersuchungen an Staubfraktionen. S. 133 ist die vollständige chemische Analyse der Fraktion unter 80 μ Korn Durchmesser des Bohrmehls (Bohrschlamm) gegeben. Die Zusammensetzung dürfte wenig von der mittleren chemischen Zusammensetzung des anfallenden Bohrmehls abweichen.

In den verschiedenen Staubproben ergaben sich erhebliche Abweichungen von der gefundenen Zusammensetzung des Bohrmehls.

*) Ausführlich wird die Belüftungsformel S. 177 besprochen.

a) Kieselsäure

Der Gesamtkieselsäuregehalt im Bohrmehl war 70 %
davon sind (auf Grund der mineralogischen Beurteilung) freier Quarz 40—50 %

In der $\frac{1}{2}$ —1 Stunde nach dem Sprengen gezogenen Filterprobe 5 (102 mg/m³) war der Gesamtkieselsäuregehalt nur 51,7 %.

Auffallende Unterschiede wurden in den Glühverlusten verschiedener Staubproben und deren Fraktionen festgestellt:

| | | |
|--|---|--------|
| | Glühverlust im Bohrmehl | 4,42 % |
| Im Staub 1 Stunde nach dem Sprengen | In Filterprobe 5 (102 mg/m ³) Impingerprobe 3 (74 mg/m ³) im groben Anteil im feinen Anteil (< 1 μ) | 6,0 % |
| | | 6,2 % |
| | | 29 % |
| 8 Stunden nach dem Sprengen | Impingerprobe 2 (2,4 mg/m ³) im groben Anteil im feinen Anteil (< 1 μ) | 19 % |
| | | |
| | | 41 % |

Die Zusammensetzung zeigt eindeutig, dass in den feinen Anteilen ausser dem eigentlichen Gesteinsmehl noch verbrennbare Fremdstoffe enthalten sein müssen; je kleiner die Staubkonzentration ist, um so grösser wird der Glühverlust; ferner ist er in den feinen Anteilen der Proben immer wesentlich grösser als in den groben Anteilen. Es handelt sich zweifellos um Russ der Dieselabgase*) und möglicherweise auch um Rusrückstände in den Sprenggasen (Impingerprobe 3).

f) Die Beurteilung der Staubverhältnisse

Entscheidend für die Beurteilung der Staubbbedingungen sind im vorliegenden Falle bestimmt nicht die relativ geringfügigen Verschiebungen in der Kornverteilung und die in den einzelnen Proben voneinander abweichende chemische Zusammensetzung, sondern die grossen Unterschiede in den Gesamtstaubkonzentrationen des Staubes. Diese Konzentrationen sind in Abb. 5a in der Weise eingetragen, dass die unter den durch Schraffur hervorgehobenen Kurven liegenden Flächen direkt den Staubkonzentrationen proportional sind; die massgebende Fläche, welche 1 mg Staub im Kubikmeter Luft darstellt, ist in der Figur eingezeichnet.

Der Befund zeigt, dass bei der Staubbekämpfung nicht nur der beim Bohren anfallende Staub, sondern auch der durch die Sprengschüsse erzeugte Staub erfasst werden muss; in grossen Räumen führt das Sprengen zu ähnlichen Staubbbedingungen wie das Trockenbohren.

Die massgebende mittlere Staubkonzentration für die Beurteilung der Silikosegefährlichkeit ist die über die Arbeitszeit ausgemittelte Konzentration der Anteile unter 10 μ Durchmesser.

*) Dieselabgase enthalten immer feinen Russ, der Gehalt kann bei ungünstigen Verhältnissen 50—100 mg/m³ Abgas erreichen!

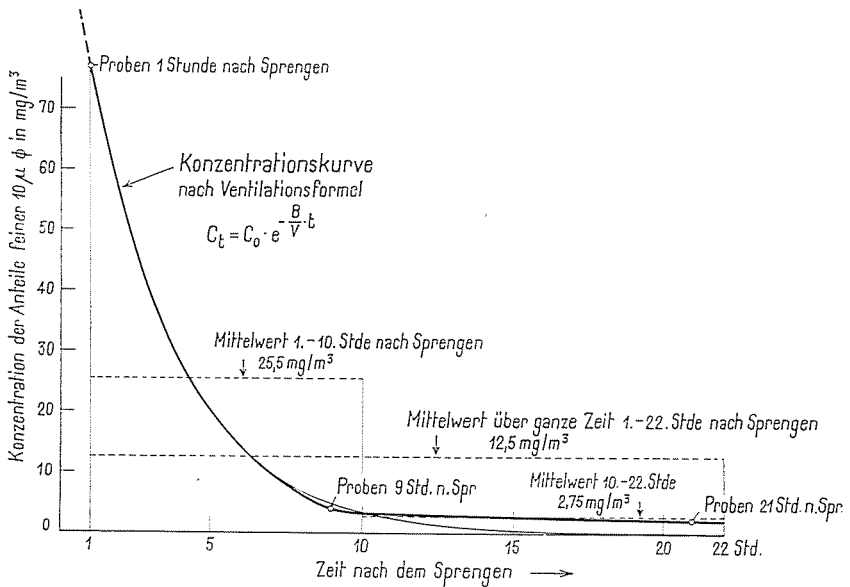


Abb. 6 Graphische Ausmittlung der massgebenden Konzentrationen.

In Abb. 6 ist dieser Mittelwert für die ganze Zeit von der 1. bis zur 22. Stunde nach dem Sprengen graphisch zur Darstellung gebracht, ebenso die mittlere Konzentration für die 1. bis 10. Stunde nach dem Sprengen, die sich aus der Ventilationsformel rechnen lässt und der Mittelwert für den Rest der Arbeitszeit.

Es ergeben sich:

| | Massgebende mittlere Staubkonzentration (Anteil feiner $10 \mu \text{ \textcircled{2}}$) |
|---|---|
| für die ganze Arbeitszeit (1.—22. Stunde nach dem Sprengen) | 12,5 mg/m ³ |
| für die 1.—10. Stunde | 25,5 mg/m ³ |
| für die 10.—22. Stunde | 2,75 mg/m ³ |

Es ist ohne weiteres einleuchtend, dass der Aufenthalt während der ersten Stunden nach der Sprengung um ein Vielfaches gefährlicher ist als in den späteren Perioden des Arbeitstages.

Die beim versuchsweisen Trockenbohren gezogenen Staubproben zeigen eindeutig, wie die Staubkonzentration sofort ganz erheblich ansteigt. Die gefundenen Zahlen haben indessen wegen der kurzen Zeit des Versuches nur orientierenden Charakter.

Die Untersuchungen über die Staubbildung beim Bohren im Stollen wurde durch systematische Versuche (Bohrversuche in der Gaszelle) ergänzt. Es wird darüber im III. Kapitel (S. 156) eingehend berichtet.

Gruppe B. Bohrarbeit im Freien

Es liegt eine einzige Untersuchung vor, bei welcher die Frage zu entscheiden war, ob Bohrarbeit (Trockenbohren) beim Strassenbau

im Granit als silikosegefährlich anzusprechen sei und unter die Bestimmungen der Silikoseverordnung (Verordnung vom 3. September 1948) falle oder nicht.

Allgemein gelten für alle stauberzeugenden Arbeiten im Freien folgende Überlegungen:

1. Der anfallende Staub wird von den herrschenden Luftströmungen erfasst und als Staubschwaden verwirbelt und verweht.
2. Eine Anreicherung an Feinstaub, wie sie in geschlossenen Räumen auftreten muss und nachgewiesen werden kann¹⁾, ist nicht oder nur ganz ausnahmsweise bei absolut ruhiger Luft vorhanden.
3. Der Staubzustand in unmittelbarer Nähe der Staubbildung (Bohrstelle, Brecher usw.), wo der Staub von den Arbeitern (Mineuren, Brecherwarten usw.) eingeatmet wird, ist absolut von der Stauberzeugung (d. h. der pro Zeiteinheit in die Luft austretenden Staubmenge), der Geländesituation und den herrschenden Windströmungen (Windrichtung und Windstärke) abhängig.
4. In dem mit dem Winde über das Gelände abstreichenden Staubschwaden muss (bei konstanter Stauberzeugung) die Konzentration an feinen, nicht oder sehr langsam aussedimentierenden Staubanteilen in erster Annäherung umgekehrt proportional der Windgeschwindigkeit sein und mit dem Quadrate der Entfernung vom Entstehungsort weg abnehmen.

Die durchgeführten Untersuchungen ergaben folgenden Befund:

a) Situation

Es handelte sich um einen Strassenbau am Hang in 2100—2300 m ü. M. Auf eine Gesamtlänge von ca. 5 km waren für die 3,5 m breite Strasse rund 67 000 m³ Fels auszusprengen. Es wurde trocken gebohrt.

Der anstehende Fels besteht aus verschiedenen Varietäten des Grimselgranites, vorherrschend ist grobkörniger Granit mit einem Quarzgehalt von 20—25 %.

Die « Belüftung » der Arbeitsstellen ist durch die Geländekonfiguration und den herrschenden Wind gegeben. Streckenweise muss die Strasse ziemlich tief in den Hang eingeschnitten werden, nur auf einige kürzere Strecken ist die Strasse beidseitig in den Fels eingeschnitten. Über die Windverhältnisse (Verteilung der Windrichtungen und Windstärken) liegen keine systematischen Untersuchungen vor.

Zur Zeit der Staubprobenahmen (August/September 1949) schwankten die Windgeschwindigkeiten bei vorherrschend westlichen Winden zwischen einigen dm/s und 1—2 m/s, für kürzere Zeiten wurden Geschwindigkeiten bis 5 m/s festgestellt.

b) Die Staubbedingungen

Die gemachten Beobachtungen bestätigten das eingangs festgelegte allgemeine Verhalten des Staubschwadens, nämlich die rasche Verwirbelung des Schwadens von der Arbeitsstelle weg und das vollkommene Fehlen einer Anreicherung des Staubes am Arbeitsort.

¹⁾ Vgl. die Ausführungen in unserer älteren Arbeit (I/II).



Abb. 7 Staubprobenahme bei der Bohrarbeit im Freien.

Die gezogenen Staubproben ergaben folgende Resultate:

Probe 1

Es wird im Strasseneinschnitt, am Fusse des 3—4 m hohen, bereits abgeschossenen Felsens nahezu horizontal gebohrt. Beim Bohren der untersten Löcher sitzen die Mineure. Beim Ansetzen des Bohrers beträgt der Abstand zwischen Bohrerspitze und Kopf des Mineurs ca. 180 cm.

Der herrschende Westwind (0,5—1,5 m/s) trägt den Schwaden schräg zur Strasse hangabwärts.

Die Situation führt infolge der Lage (Strasseneinschnitt) und des herrschenden schwachen Windes zu einem relativ starken Staubanfall an der Arbeitsstelle. Abb. 7 zeigt die Situation während der Probenahme.

Die unmittelbar neben dem Gesicht des Mineurs gezogene Impingerprobe*) ergibt eine Gesamtstaubmenge von 108 mg in 2,5 m³, also eine Staubkonzentration von 43 mg/m³, davon sind feiner als 10 μ Korndurchmesser 62 % = 27 mg/m³.

Staubprobe 2.

Es wird auf einem Absatz in der Felskuppe in 2—3 m Höhe über der Strasse gebohrt, Bohrriichtung nahezu senkrecht nach unten.

Der herrschende Westwind von 1—2 m/s trägt den Staubschwaden rasch von der Arbeitsstelle weg, zeitweise hangaufwärts.

Die Situation ist infolge der relativ freien Lage der Bohrstelle günstig, d. h. sie führt zu einem schwachen Staubanfall beim Kopf der Mineure; ferner sind die Bohrlöcher beim Beginn des Bohrens nass.

Die Proben werden in der gleichen Weise wie bei Probe 1 gezogen.

Die Gesamtstaubkonzentration**) beträgt 16 mg Staub in 2,2 m³, also: 7,3 mg/m³, davon feiner als 10 μ Durchmesser 41 % = 3,0 mg/m³.

Für die Beurteilung der Staubverhältnisse im Strassenbau allgemein ist im weiteren zu berücksichtigen, dass die gefundenen

*) Die parallel zur Impingerprobe gezogenen Filterproben ergaben 6—10mal höhere Totalstaubkonzentrationen; die Filter waren zur Probenahme direkt gegen das Bohrloch gerichtet, so dass der aus dem Bohrloch herausgeschleuderte Staub unabhängig von der angesaugten Luftmenge im Filter aufgefangen wurde. Die Proben müssen verworfen werden.

**) Impingerprobe, Filterproben ebenfalls wie bei Probe 1 verworfen.

Werte nur für die Zeit, während welcher gebohrt wird, gelten (inklusive der immer auftretenden Ruhepausen durch Bohrerwechsel und Störungen infolge Verklemmen der Bohrer usw.); in den Pausen zwischen dem Bohren (Wechsel der Bohrstellen, Vorbereitungen und Abschiessen der Ladungen) sind die Mineure, im Gegensatz zu den Arbeitern im Stollen, in praktisch staubfreier Luft. Das Verhältnis von Bohrarbeit zu Bohrpausen dürfte 1 : 2 bis (im ungünstigen Extremfall) 2 : 1 betragen, so dass als «mittlere massgebende Staubkonzentration» $\frac{1}{3}$ bis $\frac{2}{3}$ des in den Proben festgestellten Mittelwertes auftritt. Die vorgenommenen Untersuchungen ergeben ein arithmetisches Mittel von

$$\frac{1}{3} \cdot \left(\frac{27 + 3}{2} \right) \text{ bis } \left(\frac{27 + 3}{3} \right) = 5\text{--}10 \text{ mg Staub feiner als } 10 \mu/\text{m}^3.$$

Es ist in diesem Zusammenhang interessant, darauf hinzuweisen, dass sich aus dem statistischen Material der Suva kein einziger Fall von Silikose eines Strassenbauarbeiters (Mineurs), der ausschliesslich im Strassenbau gearbeitet hat, nachweisen lässt⁵⁾.

Es ist kaum vorstellbar, dass dies der Fall wäre, wenn die Bedingungen im Strassenbau, auch nur unter ungünstigen Verhältnissen, silikosegefährlich wären.

Es darf aus dem Zahlenmaterial der Schluss gezogen werden, dass die allgemeinen Bedingungen im Strassenbau nicht silikosegefährlich sind.

Die beim Strassenbau allgemein auftretenden Staubbedingungen und ihre Streuungsverhältnisse sind durch weitere Untersuchungen abzuklären, da dem angeführten Beispiel nur der Charakter einer Stichprobe zukommt.

Über die ebenfalls in die Gruppe «Bohrarbeit im Freien» einzuordnende Arbeit in Steinbrüchen liegen, wie bereits S. 127 erwähnt, keine Untersuchungen vor. Silikosen bei Steinbrucharbeitern sind bekannt, von der Suva wurden in der Periode 1932—1945 [ZOLLINGER und LANG (1/I)] total 116 Fälle registriert.

⁵⁾ Es ist dazu zu bemerken: Seit dem Beginn der intensiven Festungsbauten 1940 war der Bedarf an Mineuren im Stollenbau derart gross, dass wahrscheinlich der grösste Teil aller Mineure, die vorher vielleicht ausschliesslich im Strassenbau gearbeitet hatten, im Stollenbau eingesetzt waren; die bei diesen Mineuren festgestellten Silikosen wurden dann automatisch unter den im Stollenbau erworbenen Silikosen eingereiht. Die statistischen Zahlen seit 1940 sind somit noch nicht schlüssig.

Eine genaue Untersuchung des statistischen Materials der Suva, wie sie von Ing. M. STAHEL (Schweiz. Baumeisterverband) vorgenommen worden ist, zeigt aber, dass in der Zeit von 1918—1940 durchschnittlich pro Jahr 6583 Vollarbeiter im Strassenbau beschäftigt waren, gegenüber 1122 im Stollen- und Bergbau zusammen. In den Klassen der Stollen- und Bergbauarbeiter wurden in dieser Zeit total 107 Silikosefälle von der Suva festgestellt, während in der Klasse Strassenbau kein einziger Silikosefall registriert wurde.

Bei dem Verhältnis von nahezu 6 Strassenbauarbeitern auf 1 Bergwerk- oder Stollenarbeiter kann mit Sicherheit angenommen werden, dass nur ein kleiner Teil der im Strassenbau beschäftigten Arbeiter zeitweise im Stollen- und Bergbau gearbeitet hat und dass für eine grosse Zahl, darunter einem bestimmten, nicht genauer feststellbaren Prozentsatz von eigentlichen Mineuren, dies nicht der Fall sein konnte.

Da die Verhältnisse in den Steinbrüchen meist ziemlich konstant sind (konstante Belegschaft, wenig wechselnde Arbeitsbedingungen), versprechen die vorgesehenen Untersuchungen relativ genaue Zusammenhänge zu erfassen.

Gruppe C. Schotterwerke

Der Betrieb in Schotterwerken ist dadurch gekennzeichnet, dass mehr oder weniger kontinuierlich grobstückiges Material aus dem Steinbruch oder Findlinge und gröberes Gerölle aus Flusskiesgruben in Brechern oder Schlagmühlen verschiedener Konstruktionen zerkleinert wird. Die für die Zerkleinerung des Materials aufgewendeten Kräfte sind immer recht beträchtlich⁶⁾.

Das erzeugte feinkörnige Material von einigen Zentimetern bis zu den feinsten Korngrößen wird meistens in den an die Brecher angeschlossenen Kiessortieranlagen (Trommelsiebe, Rüttelsiebe oder dergl.) in Fraktionen verschiedener Korngrößen sortiert.

Unsere in derartigen Werken durchgeführten Staubuntersuchungen haben gezeigt, dass immer nur ein ziemlich geringer Anteil des anfallenden feinsten Materials, das an sich zur Staubbildung befähigt wäre — also die Teilchen unter etwa 100 μ Korndurchmesser — vom Brecher oder von den Sortieranlagen aus wirklich als Staub in die Luft gelangt. Der Hauptteil fällt mit der feinsten Fraktion (meistens die Anteile unter 4—5 mm Durchmesser) in die Silos.

Silikosen aus Schotterwerken sind bekannt. In der Arbeit von ZOLLINGER und LANG (1/I) sind sie nicht als eigene Gruppe ausgeschieden, sondern figurieren vornehmlich unter der Gruppe der Steinbrucharbeiter, da ein Teil der Schotterwerke Steinbrüche betreiben und das Personal häufig in beiden Betriebsanlagen (Steinbruch und Schotterwerk) eingesetzt wird.

Inzwischen sind Silikosefälle aus Schotterwerken, die an Kiesgruben (Flussablagerungen) angeschlossen sind, bekannt geworden⁷⁾. Die Staubbentwicklung in einer Kiesgrube ist sehr gering; es besteht für uns kein Zweifel, dass Silikosen aus derartigen Betrieben in der Brecheranlage und nicht bei der Arbeit in der Kiesgrube erworben worden sind.

Im nachfolgenden seien die Ergebnisse der Staubuntersuchungen aus dem Brecherwerk eines Kiesgrubenbetriebes kurz beschrieben. Es handelt sich um einen Betrieb, in welchem ein tödlich abgelaufener Silikosefall vorgekommen ist, dessen Lunge und der aus der Lunge isolierte Staub ebenfalls untersucht werden konnten (vgl. auch die Arbeit von A. GLAUSER, S. 118 dieses Heftes).

⁶⁾ Ein Backenbrecher für einen Durchlauf von 3—4 m³ grober Stücke von 10—30 cm Durchmesser pro Stunde arbeitet mit 20—30 PS. Es wäre ein reizvolles Problem, den Kraftbedarf für die Zerkleinerung von Material bekannter Festigkeiten als Funktion der Entwicklung neuer Grenzflächen zu untersuchen.

⁷⁾ Nach einer uns von der Suva zur Verfügung gestellten Übersicht sind bis Ende August 1948 aus 12 reinen Kiesgrubenbetrieben 5 schwere Silikosefälle, davon 2 Invaliditätsfälle und 3 tödlich verlaufene Fälle, erfasst worden; ferner werden 11 leichtere und nur verdächtige Fälle angeführt.

Die Gruben beuten Kies mit einem Quarzgehalt zwischen 30 und 50 % aus.

1. Schotterwerk A

a) Allgemeine Situation

In Abb. 8 ist das zweite Stockwerk der Anlage, in welchem ein Steinbrecher und ein trocken arbeitendes Vibrationssieb, ferner zwei nass arbeitende Trommelsiebe aufgestellt sind, mit den Staubprobenahmestellen und den Ergebnissen der Staubuntersuchung schematisch dargestellt.

Im darunterliegenden ersten Stock befindet sich in einem kleineren Raum ein Walzwerk, welches trocken arbeitet.

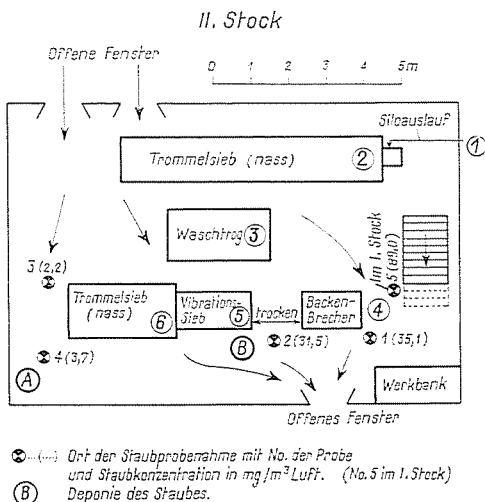


Abb. 8 Schotterwerk «A», Situation schematisch.

b) Das verarbeitete Rohmaterial

ist von A. GLAUSER (Zürcher Arbeitsgemeinschaft) einer genauen petrographisch-mineralogischen Analyse unterzogen worden, welche folgenden Befund ergeben hat:

Das ausgebeutete und verarbeitete Material ist ein diluvialer Flusskies (Niederterrassenschotter).

Petrographisch besteht der Kies aus

- 22 % Quarziten
- 42 % Sandsteinen
- 30 % Kalksteinen
- 6 % Granit, Diorit und weiteren kristallinen Komponenten

Der Gesamtquarzgehalt errechnet sich bei Annahme eines mittleren Quarzgehaltes von 30 % in den Sandsteinen zu 36 %.

Die mikroskopische Prüfung des Anteiles feiner als 80 μ aus dem Staubsediment auf dem Boden der Brecheranlage ergab folgende Zusammensetzung (GLAUSER):

| | |
|--|-------|
| Quarz | 40 % |
| Plagioklas (meist Oligoklas) | 11 % |
| Orthoklas | 4 % |
| Serizit | 5 % |
| Karbonate, im wesentlichen CaCO ₃ | 40 % |
| | 100 % |

Unsere chemische Prüfung ergab in der gleichen Fraktion (Staubsediment, Anteil feiner als 80 μ) einen mit HF abrauchbaren Kieselsäuregehalt im HCl-unlöslichen Rückstand von 45,4 %.

Der Quarzgehalt der feineren Staubanteile liegt somit im Bereiche von 40—45 %.

c) Arbeitsweise und Belüftungsverhältnisse im Betrieb

Der Kies wird vermittels eines Kabelbaggers unter dem Grundwasserspiegel gewonnen und gelangt in nassem Zustande in den trichterförmigen Auffangsilos auf dem Dach der Anlage. Vom Silo wird das Material durch den Siloauslauf 1 (kursiv gestellte Zahlen vgl. Abb. 8), wo es zusätzlich mit Wasser berieselt wird, in das Trommelsieb 2 geführt und dort sortiert.

Das feinere Material kommt vom Sieb in den Waschtrog 3, wo es von den tonigen Anteilen gereinigt wird. Die gröbere Fraktion von etwa 2—8 cm, welche in einer Menge von 2—3 m³ pro Stunde anfällt (4—5,5 t/h), wird in den Backenbrecher 4 transportiert, wo sie, nun trocken, auf ca. 2 cm gebrochen wird und anschliessend im Walzwerk im untern Stock (in Abb. 8 nicht dargestellt) auf ca. 0,5 cm weiter zerkleinert wird; von hier wird das gebrochene Material auf einem Becherwerk wieder in den zweiten Stock auf das Vibrations-sieb 5 gebracht, wo es trocken sortiert wird. Die größeren Fraktionen werden im angeschlossenen nass arbeitenden Trommelsieb 6 weiter sortiert.

In dem in Abb. 8 dargestellten Raum des zweiten Stockes ist die stärkste Staubeentwicklung beim Brecher und beim Vibrations-sieb zu beobachten, während eine ins Gewicht fallende Staubbildung bei den nass arbeitenden Trommelsieben nicht vorhanden ist.

Eine Belüftung des Raumes von 500 m³ Rauminhalt mit einer Grundfläche von 12 × 8 m und einer Höhe von 5 m kommt nur durch den natürlichen Luftaustausch durch die offenen Fenster zustande, sie ist damit vollkommen von den im Freien herrschenden Luftströmungen (Windrichtung und Windstärke) abhängig.

Bei geschlossenen Fenstern besteht praktisch ein nur geringer Luftaustausch über die offene Treppe und durch die vorhandenen Undichtigkeiten in den Bretterwänden, Fensterrahmen usw., so dass besonders bei Windstille eine ganz erhebliche Anreicherung des anfallenden Staubes im Raume erwartet werden muss.

Im ersten Stockwerk der Anlage steht das bereits beschriebene Walzwerk, in welchem das Material aus dem Brecher weiter zerkleinert wird. Das Walzwerk arbeitet trocken. Der Raum weist eine Grundfläche von ca. 40 m² und eine Höhe von 2,5 m auf; der Rauminhalt beträgt also rund 100 m³.

Die Belüftungsverhältnisse in diesem Raum sind als ganz schlecht zu bezeichnen, indem nur ein Fenster vorhanden ist, das am Tage der Untersuchung geschlossen gehalten wurde, und eine Belüftung praktisch nur durch die Türen erfolgen konnte, wenn diese beim Passieren der Rollwagen geöffnet wurden.

d) Die Ergebnisse der Staubuntersuchung

Anlässlich der vorgenommenen Untersuchung im September 1949 herrschte im Freien ein mässiger Wind aus dem Sektor SW-W, wodurch im obern Stockwerk eine Belüftung von 3000—4000 m³/h durch die offenen Fenster zustande kam. Die Luftströmungsrichtung war für eine schwache Staubeentwicklung insofern günstig, als bei der herrschenden Windrichtung der beim Brecher und am Vibrations-sieb anfallende Staub aus dem in ca. 2 m Abstand befindlichen Fenster ausgeblasen wurde; der gegen die Windrichtung liegende Raumteil (gegen die zwei in Abb. 8 eingezeichneten Fenster) wird von der einströmenden, praktisch staubfreien Aussenluft belüftet.

Die Orte, wo die Staubproben gezogen wurden, sind in Abb. 8 eingezeichnet, ebenso die festgestellten Gesamtstaubkonzentrationen (in Klammern).

Der Befund ist eindeutig; in den Proben 1 und 2, die in der Windrichtung zwischen Brecher bzw. Vibrations-sieb und offenem Fenster entnommen worden sind, werden Ge-

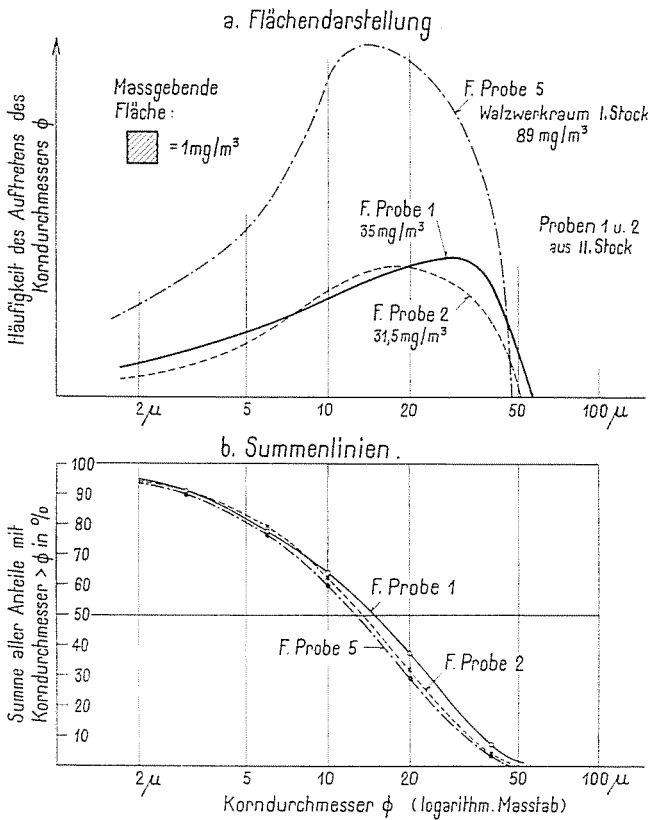


Abb. 9 Kornverteilungskurven der Staubproben aus Schotteraufbereitungsanlage A.

samtstaubkonzentrationen von 35,1 und 31,5 mg/m^3 mit Feinstaubanteilen unter 10μ von 12,8 und 16,8 mg/m^3 festgestellt, während im Raumteil beim Trommelsieb in der Ecke und in der Mitte des nämlichen Teiles des Raumes nur 2,2 und 3,7 mg/m^3 mit etwa 2,0 und 3,0 mg Feinstaub gefunden wurden.

Im unteren Stockwerk wurden im schlecht belüfteten Raum in der Nähe des Walzwerkes (Probe 5) 89 mg/m^3 Staub mit einem Anteil von 37,7 mg Feinstaub unter $10 \mu/\text{m}^3$ festgestellt.

Die Kornverteilungskurven der untersuchten Proben sind in Abb. 9 zur Darstellung gebracht; die Kornabstufung weist gewisse Unterschiede auf.

Eine Auswertung der erhaltenen Werte erfolgt im letzten Abschnitt der Arbeit, vgl. S. 168.

2. Schotteraufbereitungsanlage B

In einem zweiten Fall, den wir eingehend untersuchen konnten, handelte es sich um eine ähnliche, etwas grössere und vollkommen trocken arbeitende Anlage wie beim oben beschriebenen Fall A.

Der massgebende Einfluss der Windverhältnisse war sehr deutlich nachweisbar.

a) Allgemeine Situation

Es werden stündlich 3—4 m³ grober Flusskies im eingeschalteten Kiesbrecher gebrochen und im angeschlossenen, trocken arbeitenden Trommelsieb sortiert.

b) Die petrographisch-mineralogische Zusammensetzung

des verarbeiteten Kieses aus der Niederterrasse war sehr ähnlich wie im Fall A. Das gebrochene Material enthält etwa 50 % Quarz und ca. 40 % Karbonate.

c) Arbeitsvorgang und Belüftungsverhältnisse

Die Brecher- und Sortieranlage befindet sich in einem ungefähr 10 m über Terrainhöhe gelegenen Raum von ca. 600 m³ Rauminhalt.

Der aus dem eingeschalteten Brecher anfallende Brechkies passiert ein 5 m langes rotierendes Trommelsieb von 1,25 m Durchmesser, wo er nach Korngrößen sortiert wird und in die Silos herunterfällt. Der Materialdurchgang beträgt 3—4 m³ Schotter (5,5—7 t) pro Stunde, wovon die feinsten Anteile, ca. 15 %, also ca. 1 t, durch das erste Sieb von 5 mm Maschenweite fallen.

Die Belüftung des Raumes erfolgt durch die beidseitig des Trommelsiebes befindlichen Raumbenfenster, ist also vollkommen von den herrschenden Windverhältnissen abhängig.

Der Staubanfall aus dem Trommelsieb ist beträchtlich, der aus dem Sieb herausfallende Staub wird in der durch den Raum streichenden Luftmasse verwirbelt (Abb. 10).

d) Die Staubuntersuchung

| ergab folgenden Befund: | 1. Untersuchung Nov. 1947 | 2. Untersuchung März 1949 |
|---|------------------------------|--|
| Belüftungsbedingungen im Freien | schwacher Ostwind | starker NE-Wind (4—5 m/s) |
| Belüftung des Raumes von 600 m ³ Inhalt | ~ 3000 m ³ /h | 14 400—16 000 m ³ /h |
| Staubkonzentration Gesamtstaub | 535 mg/m ³ | 1. Best. 45 mg/m ³ 2. Best. 52 mg/m ³ |
| davon feiner als 10 μ | 250 mg/m ³ | 12 mg/m ³ |



Abb. 10 Staubbildung beim Trommelsieb von Anlage B.

Der Gesamtstaubanfall berechnet sich aus den gefundenen Zahlen zu 0,8 bis 1,6 kg Staub/Stunde.

Die Kornzusammensetzung der untersuchten Staubproben ist im Vergleich mit der Kornanalyse der ersten Brechkiesfraktion in Abb. 11 zur Darstellung gebracht.

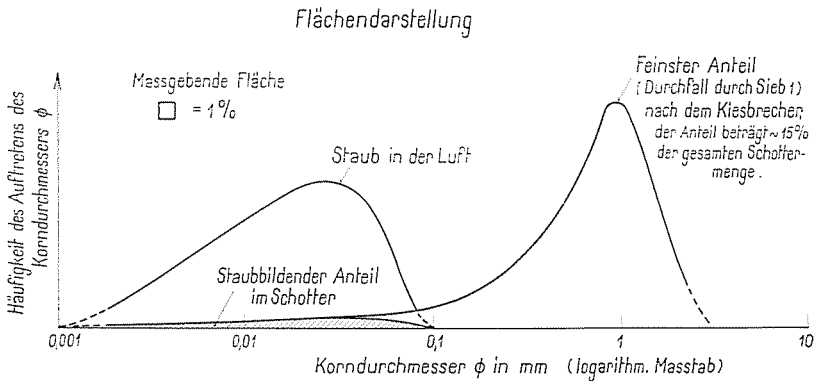


Abb. 11 Beispiel der Kornabstufung des Staubes und Schotters aus einem Kiesbrecher. (Kiesaufbereitungsanlage B)

3. Hartschotterproduktion C

In einem dritten Falle konnte eine Grossanlage zur Erzeugung von Hartschotter aus einem harten, quarzreichen Glaukonitsandstein (ca. 50 % Quarz) untersucht werden, welche mit Staubabscheidern, also unter ganz anderen Bedingungen als die beiden vorerwähnten Fälle, arbeitet.

Die wichtigsten Zahlen sind:

| | |
|--|----------------------|
| Die Schotterproduktion beläuft sich bei Vollbetrieb auf | 60 t/h |
| Der Gesamtstaubanfall (vor dem Staubabscheider gemessen) beträgt | 200—400 kg/h |
| Die stichprobeweise in der Transmissionsanlage (geschlossener Raum ohne künstliche Belüftung) vorgenommene Staubuntersuchung ergab eine Gesamtstaubkonzentration von | 20 mg/m ³ |
| davon war Feinstaub unter 10 μ | 14 mg/m ³ |

Es ist ganz selbstverständlich, dass ein derartiger Grossbetrieb nicht ohne umfangreiche Staubbekämpfungsanlagen (Staubabsaug- und Staubabscheidungsanlagen) arbeiten dürfte.

Zusammenfassend ergeben die untersuchten Beispiele folgendes:

1. Die Stauberzeugung (Menge des in der Zeiteinheit in die Luft gehenden Staubes) beträgt in Fall A 0,0025 %, in Fall B 0,05 % und in Fall C (Grossanlage, im Staubabscheider) 0,5 % des verarbeiteten Materials. Sie streut also über Grössenordnungen; wir kommen im IV. Kapitel darauf zurück.

2. Die in den Räumen dieser Anlagen auftretenden Staubkonzentrationen sind, bei einer gegebenen konstanten Stauberzeugung, vollkommen von den Belüftungsverhältnissen abhängig. Da bei kleineren Anlagen in der Regel künstliche Belüftung oder Staubabsaugvorrichtungen nicht vorhanden sind, treten im Verlaufe der Zeit in der gleichen Anlage ausserordentlich grosse Schwankungen in den Staubkonzentrationen auf.

Bei ungünstigen Windbedingungen (ruhige Luft oder schwache Winde, ungünstige Richtung des Windanfalles) sind in den Räumen recht hohe Staubanreicherungen zu erwarten.

3. Bei hohem Quarzgehalt des anfallenden Staubes muss in ungünstig gelegenen Betrieben mit silikosegefährlichen Bedingungen gerechnet werden.

4. Häufig sind die Räume, in denen sich Brecher- und Sortieranlagen befinden, gar nicht dauernd belegt, und die für die Wartung der Maschinen notwendige Aufenthaltszeit im Raum kann sehr kurz ($\frac{1}{2}$ —2 Stunden pro Arbeitstag) sein.

5. Als wirksame technische prophylaktische Massnahmen kommen in Betracht: Bessere Einschaltungen der stauberzeugenden Maschinen mit Staubaustritt direkt ins Freie, vermehrte Anwendung nass arbeitender Maschinen (wobei allerdings zu bemerken ist, dass die Umstellung trocken arbeitender auf nass arbeitende Anlagen meistens die Anschaffung neuer Maschinen notwendig machen wird), künstliche Ventilation mit oder ohne Staubabscheider, bei welcher die Staubabsaugung im Raum möglichst nahe bei der Stauberzeugung zu erfolgen hat; Belüftung durch Frischluftzufuhr in den Raum ist in den wenigsten Fällen zweckmässig, weil durch die zugeführte Frischluft die staubhaltige Abluft in Nebenräume gedrückt werden kann.

Bei Grossbetrieben ist die Installation vollständiger Staubabsaug- und Staubabscheideranlagen unerlässlich.

Gruppe D. Sandstrahlereien und Gussputzereien⁸⁾

Neben den in unserer ersten Veröffentlichung (1/II) bereits mitgeteilten Resultaten einer Untersuchung aus einer Sandstrahlerei liegen nur noch eine neuere Untersuchung aus einer Gussputzerei und eine orientierende Untersuchung über die Zusammensetzung eines Schweissereirauches vor.

1. Gussputzerei eines Giessereibetriebes

a) Allgemeine Situation

Es wurden die Staubverhältnisse in einem grösseren Raum von ca. 7000 m³ Rauminhalt untersucht, in welchem neben dem eigentlichen Gussputzen teilweise auch das «Auspacken» grösserer Gußstücke vorgenommen wird.

⁸⁾ Grundsätzlich wären an dieser Stelle die stauberzeugenden Betriebe der Metallverarbeitung zu einer Hauptgruppe zusammenzufassen und nach den verschiedenen Arbeitsbedingungen in Untergruppen, wie Formereien, Giessereihallen, Gussputzereien und Sandstrahlereien usw. einzuteilen. Es besteht hier noch eine Lücke im Rahmen unserer Staubuntersuchungen, welche in der nächsten Zeit durch eine Reihe systematischer Untersuchungen geschlossen werden soll.

Von medizinischer Seite ist die Giessersilikose von UEHLINGER (4) und im Rahmen der Arbeitsgemeinschaft bereits von OBRIST (4a) und von RÜTTNER (vgl. S. 73 dieses Heftes) behandelt worden; die Resultate dieser Arbeiten drängen zu einer Erweiterung der Untersuchungen auf den Staubsektor.

b) Die mineralogisch-chemische Zusammensetzung des Formsandes

In der Fraktion von 1—80 μ Korndurchmesser des verwendeten Formsandes waren neben einem Quarzgehalt von ca. 40 % Glimmer, Eisenoxyde, Tonsubstanz und wenig Feldspat sowie etwas kohlige Anteile festzustellen. In der feinsten Fraktion unter 10 μ wurde ein beträchtlich geringerer Gehalt an Quarz von nur 15—20 % festgestellt, daneben waren viel Glimmer, Tonsubstanz, Feldspat und Eisenoxyde neben kohligen Anteilen vorhanden.

Die chemischen Analysen ergaben einen Gesamtkieselsäuregehalt von 65 % in der Fraktion 10—80 μ und 45 % in der Fraktion unter 10 μ .

In den gebrauchten Formsandproben, wie sie beim Auspacken nach dem Giessen anfallen, waren mikroskopisch und chemisch keine nennenswerten Unterschiede gegenüber dem frischen Formsand festzustellen.

Der in Tridymit und Cristobalit möglicherweise umgewandelte Anteil aus dem Quarz ist nicht bestimmt worden.

c) Arbeitsbedingungen und Raumbelüftung

Die gegossenen Stücke werden mit dem anhaftenden Sand vermittels eines Krans oder auf Wagen aus der Giessereihalle in den Gussputzereiraum gebracht, wo der manchmal noch heisse, zusammengebackene Formsand vermittels pneumatischen Spitzhämmern abgeschlagen wird. Sowohl beim Spitzen wie beim Herabfallen der Formstücke ist die Staubbildung beträchtlich; die feinen Staubanteile werden durch die erwärmten Luftmassen als Schwaden im Raum hochgewirbelt.

Nach der groben Entfernung des Formsandes werden an den grösseren Gußstücken die noch anhaftenden Sandrückstände und Kerne in der Naßspritzanlage vermittels eines Wasserstrahls unter ca. 100 atü entfernt, alsdann gelangen die Stücke zu den Werkbänken, wo die Gusshaut, Überzähne usw. abgeschmirgelt werden.

Die Belüftung des Raumes erfolgt einerseits durch vereinzelte offene Fenster in ziemlich grosser Höhe und durch die häufig offenen Türen und andererseits durch die im Raum vorhandenen, an die Ventilationsanlage angeschlossenen Luftabsaugöffnungen in der im Raum befindlichen Sandstrahlkabine und an den Schleifmaschinen. Es war unmöglich, die Belüftung des Raumes durch irgendwelche Luftmengenmessungen zu ermitteln oder auch nur abzuschätzen.

d) Die Ergebnisse der Staubuntersuchung

Der stärkste Staubanfall trat jeweilen beim Ablösen des Formsandes auf, wobei deutlich sichtbare Staubschwaden mit der warmen Luft im Raume verwirbelt wurden.

Bei der Naßstrahlerei wird die Bildung eines feinen Wassernebels beobachtet, es war indessen nicht zu entscheiden, ob der Wassernebel mit Staub vermischt war oder ob in den Wassertröpfchen Staubpartikel suspendiert waren.

Die vormittags und nachmittags an verschiedenen Orten im Raum gezogenen Staubproben ergaben folgenden Befund:

| Probe Nr. | Zeit | Ort der Entnahme | Staubkonzentration | |
|--------------|-----------|----------------------|-------------------------|-------------------------------|
| | | | total mg/m ³ | davon feiner 10 μ \odot |
| 1 (J) | 1022—1107 | Nähe Naßspritzanlage | 44 * | 3,1 |
| 2 (F) | 1046—1125 | Mitte Raum | 6,8 | 4,2 |
| 3 (F) | 1412—1515 | Mitte Raum | 10,5 | 4,2 |
| 4 (F) | 1412—1515 | Mitte Raum | 16,2 | 4,9 |
| 5 (J) | 1440—1506 | Nähe Naßspritzanlage | 77 * | 4,6 |
| 6 (F) | 1517—1554 | Mitte Raum | 7,8 | 4,6 |
| 7 (F) | 1517—1554 | Mitte Raum | 11,6 | 5,9 |
| 8 (J) | 1615—1640 | Nähe Naßspritzanlage | 17,4 | 5,5 |

Arithmetisches Mittel: 4,62 mg/m³

Anmerkungen: (F) Filterproben (J) Impingerproben

* Die hohen Werte stehen nicht mit der Naßspritzanlage im Zusammenhang, sondern sind durch das Auspacken bedingt.

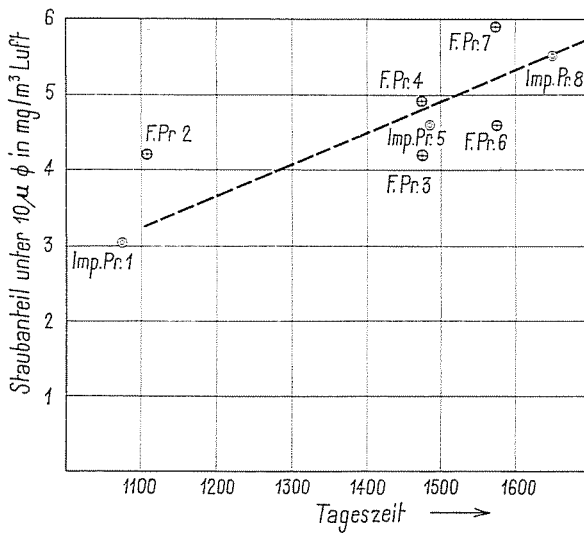


Abb. 12 Zunahme des Feinstaub-Anteiles (unter $10 \mu \varnothing$) in der Luft im Verlaufe des Arbeitstages.

Die Resultate zeigen eindeutig, dass die Gesamtstaubkonzentration sehr starken, von der Zeit unabhängigen Schwankungen unterworfen ist, während die Konzentration der Anteile unter 10μ Korndurchmesser wenig streut und eine deutliche, im Verlauf der Zeit ansteigende Tendenz aufweist.

Die Feinstaubkonzentrationen sind in Abb. 12 über der Zeit graphisch zur Darstellung gebracht.

Der Befund ist vollkommen verständlich. Die Schwankungen in der Gesamtstaubkonzentration sind direkt abhängig von der gerade herrschenden Intensität der Staubbildung beim Abschlagen des Formsandes, die angefallenen größeren Staubpartikel sedimentieren relativ rasch aus dem Raume aus (die Anteile über 10μ würden die ca. 10 m betragende ganze Raumhöhe in ca. 22 Minuten durchfallen), während dann die langsam auffallenden Feinstaubteilchen eine Anreicherung in der Raumluft erfahren.

Das arithmetische Mittel des Staubanteiles unter 10μ Korndurchmesser in den 8 Proben beträgt $4,62 \text{ mg/m}^3$, bei einem Quarzgehalt von 15—20 % würde sich somit ein massgebender Quarzgehalt von $0,75\text{—}1 \text{ mg/m}^3$ ergeben.

2. Orientierende Untersuchung eines beim Elektroschweissen auftretenden Rauches

Der beim Elektroschweissen auftretende Rauchschwaden kann Kieselsäure aus der Umhüllung der Schweißelektroden enthalten. Eingehendere Untersuchungen über die chemische Zusammensetzung derartiger Schwaden zur Abklärung der Frage, ob sie als silikosegefährlich beurteilt werden müssen oder nicht, fallen unbedingt in den Rahmen der Aufgaben unserer Arbeitsgemeinschaft.

Die Kornverteilung in Rauchschwaden ist grundsätzlich verschieden von der Kornzusammensetzung von Staubsystemen, die durch mechanische Bearbeitung groben Materials anfallen. Im Rauch handelt es sich stets um Kondensationsprodukte des bei hohen Temperaturen verdampften Materials. Die sich bildenden Primärteilchen (Tröpfchen oder feste Kondensationsprodukte) sind zunächst äusserst fein und bilden dann im eigentlichen sichtbaren Rauchschwaden bereits Aggregate.

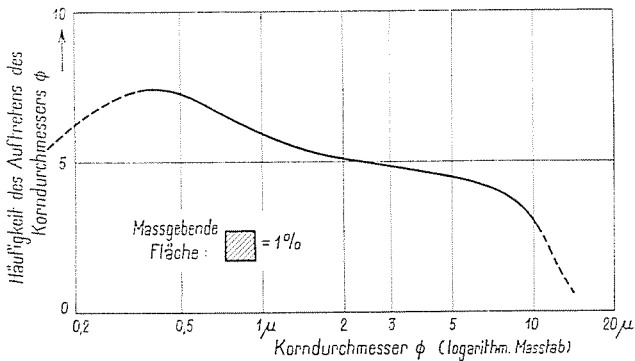


Abb. 13 Kornverteilung im Schwaden eines Schweissereirauches.

Im untersuchten Falle wurden Rauchproben einmal direkt im aufsteigenden Schwaden über der Schweißstelle und dann hinter dem Schweisserschild neben dem Kopf des Schweissers gezogen. Die Untersuchung der Proben ergab folgenden Befund:

1. Konzentration. Im Schwaden wurden Rauchkonzentrationen von 100 bis 200 mg/m³ festgestellt, hinter dem Schweisserschild 2—6 mg/m³.

2. Die Kornzusammensetzung ist in Abb. 13 zur Darstellung gebracht. Der Anteil über 10 μ Kornzusammensetzung beträgt nur einige Prozent der Gesamtprobe, 50 % waren feiner als 1 μ. Die Kornverteilung weicht ganz eindeutig von derjenigen irgendwelcher Staubproben ab; das Maximum der Kornverteilungskurve liegt unterhalb 0,5 μ Korndurchmesser.

3. Die orientierende chemische Untersuchung der Staubproben ergab einen Gehalt an:

| | |
|--|---------|
| Fe ₂ O ₃ + Spure Al ₂ O ₃ | 66—67 % |
| Der salzsäureunlösliche Anteil liess sich praktisch mit Flußsäure vollkommen abrauchen, er besteht also im wesentlichen aus SiO ₂ | 12 % |
| Die Kieselsäure-Modifikation wurde nicht bestimmt. | |

Weitere Untersuchungen sind vorgesehen.

Gruppe E. Verschiedene Anlagen

Es wird immer wieder Fälle geben, die sich nicht ohne weiteres einer der bis jetzt besprochenen Betriebsgruppen einordnen lassen. Sie werden zunächst in diese allgemeine, mit «Verschiedene Anlagen» bezeichnete Gruppe eingereiht und können jederzeit, wenn weitere ähnliche Fälle dazukommen, als neue Gruppen herausgenommen werden.

Es sollen zwei Fälle von Steinhauerarbeit, die wir zu untersuchen Gelegenheit hatten, beschrieben werden.

1. Steinhauerarbeit in einer geschlossenen Werkstätte

a) Allgemeine Situation

Es handelt sich um eine Steinhauerwerkstätte von 4,5 × 4,5 m Grundfläche, mit einer Höhe von 3 m, also um einen recht kleinen Raum von ca. 60 m³.

Im Raum besteht keine Ventilationsanlage; während der Arbeit stand die Türe meistens offen. Es kommt somit nur die natürliche Ventilation durch die offene Türe zustande.

b) Arbeitsbedingungen und Probenahmen

Eine erste Probe wurde nachmittags gezogen, während ein Steinhauer einen plattenförmigen Block von Tessinergranit grob spitzt, d.h. mit Meissel und Hammer bearbeitet. Der Stein liegt flach, auf einer Kantholzunterlage am Boden. Es wird ziemlich viel Material abgeschlagen.

Die Arbeit wurde 16.35 Uhr begonnen, eine Filterprobe Nr. 1 von 16.47—17.03 Uhr auf Kopfhöhe des Arbeiters gezogen.

Einige Tage später werden die Staubmessungen unter ähnlichen Arbeitsbedingungen wiederholt.

Ein Steinhauer spitzt die Oberfläche und Ränder eines Grabsteins aus Tessinergranit. Die Arbeit erfordert ein Abschlagen wesentlich feinerer Stücke als im ersten Falle.

Während der Arbeit werden von 15.09—15.35 Uhr und von 15.40—16.00 Uhr je 1 Filterprobe (No. 2a und 2b) gezogen, parallel dazu werden zwei Staubzählkammerproben genommen.

Eine weitere Untersuchung wurde, wiederum an einem andern Tage, bei der Bearbeitung eines Serpentin-Grabsteines durchgeführt.

Der Arbeiter meisselt von Hand ein Reliefmuster auf die obere Fläche des Steins. Er meldet bei dieser Arbeit einen subjektiv als unangenehm empfundenen Staubreiz in den Atemwegen.

Es wird eine Filterprobe Nr.3 während 20 Minuten gezogen, parallel dazu 2 Staubzählkammerproben.

c) Die Resultate der Staubuntersuchungen

sind in der folgenden Tabelle zusammengestellt.

| Arbeitsbedingung | Probe Nr. | Staubkonzentration | | Teilchenzahl |
|--|-----------|---------------------------------|--|---------------------------------|
| | | Totalstaub mg/m ³ | Anteil < 10 μ mg/m ³ | Teilchen pro cm ³ |
| 1. Grobes Spitzen eines Tessinergranites | 1 | 86,2 | 26,6 | — |
| 2. Feines Spitzen einer Tessinergranitoberfläche | 2a | 17,8 | 8,6 | 26 000 |
| | 2b | 24,2 | 11,6 | 48 000 |
| 3. Behauen eines Serpentin | 3 | 106 | 18,1 | 22 000 |
| | | | | 54 000 |

Die Kornverteilungskurven der Filterproben sind in Abb. 14 dargestellt

2. Steinhauerarbeit im Freien

Es liegen nur die Resultate einiger Staubzählkammerproben vor, die bei der Renovation einer Fassade zur Orientierung und Ergänzung der Untersuchung von Fall A gezogen worden sind. Es ergab sich folgender Befund.

a) Beim «Scharrieren» einer Sandsteinplatte (d.h. bei der Bearbeitung der Plattenoberfläche mit Spezialmeissel und Hammer zum Auebnen der rauhen Oberfläche) wurde je eine Staubzählkammerprobe unmittelbar neben dem Kopf des Arbeiters und in dem mit dem mässigen Winde von 1—2 m/s abstreichenden, deutlich wahrnehmbaren Staubschwaden gezogen. Die Oberfläche der Sandsteinplatte war befeuchtet.

| | |
|------------------------------|---------------------------------|
| Neben dem Kopf des Arbeiters | 53 000 Teilchen/cm ³ |
| Im Schwaden | 1 800 Teilchen/cm ³ |

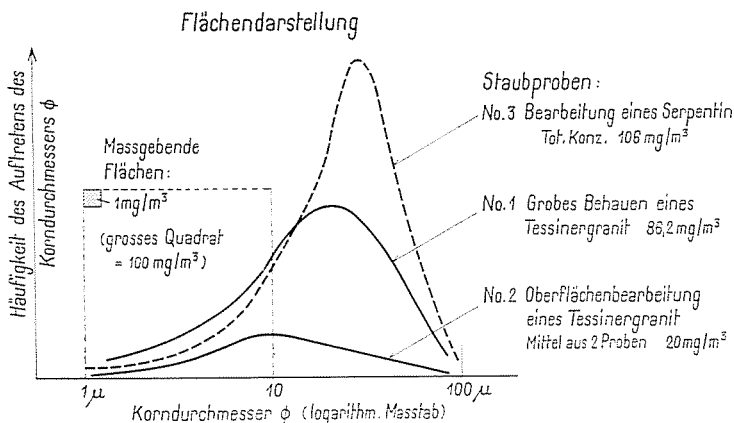


Abb. 14 Vergleichende Darstellung der Staubbildung bei Steinhauerarbeit.

b) Beim «Stocken» einer Granitoberfläche (d.h. bei der Bearbeitung der Granitoberfläche mit einem kreuzweise geriffelten Hammer zur Erzeugung einer ebenen Oberfläche) wurde ebenfalls neben dem Kopf des Arbeiters und im abstreichenden Schwaden je eine Staubzählkammerprobe gezogen.

Neben dem Kopf des Arbeiters
 Im Schwaden

$22\,000 \text{ Teilchen/cm}^3$
 $3\,200 \text{ Teilchen/cm}^3$

Es ergibt sich der auffallende Befund, dass in beiden Fällen im deutlich sichtbaren Schwaden sehr viel weniger Teilchen enthalten waren als unmittelbar neben dem Kopf des Arbeiters. Das Resultat ist dahin zu interpretieren, dass der Schwaden sichtbar wird, wenn er relativ viel grobe Teilchen enthält, während die von Auge schlecht oder nicht sichtbaren feinen Teilchen, welche beim Auszählen ins Gewicht fallen, im Schwaden weitgehend fehlen können.

Zusammenfassende Beurteilung der Staubbildung bei Steinhauerarbeiten

Die gemachten Beobachtungen über die Staubbildung bei Steinhauerarbeiten ergeben, soweit die wenigen Stichproben ein allgemeines Urteil erlauben, folgendes:

1. Die bei der Steinhauerarbeit aufgewendete Muskelarbeit ist im Vergleich zu den an stauberzeugenden Maschinen angewendeten Kräften sehr gering, entsprechend klein ist der Anfall an feinem, staubfähigem Material.

2. Die Arbeitsbedingungen sind dadurch gekennzeichnet, dass das Gesicht des Arbeiters immer nur auf die Länge eines gebogenen Arms von der Stelle entfernt ist, wo der Staub erzeugt wird. Es besteht dadurch die Gefahr, dass relativ hohe Staubkonzentrationen eingeatmet werden.

3. Bei unseren Bestimmungen im geschlossenen, kleinen Arbeitsraum wurden unmittelbar neben dem Gesicht des Arbeiters Staubkonzentrationen zwischen $8,6$ und $26,6 \text{ mg/m}^3$ an Anteilen unter 10μ Korndurchmesser bestimmt. Die parallel dazu gezogenen Zählproben ergaben sehr hohe Teilchenzahlen zwischen $22\,000$ und $54\,000/\text{cm}^3$.

Die bei der Arbeit im Freien neben dem Gesicht des Arbeiters gezogenen Staubproben ergaben in der gleichen Grössenordnung liegende Teilchenzahlen (22 000 und 53 000 Teilchen/cm³).

4. In bezug auf die zu erwartenden Schwankungen in der Konzentration des Staubes gelten grundsätzlich die gleichen Überlegungen wie sie bei den Schotterwerken und bei der Bohrarbeit im Freien angestellt worden sind.

Die in einem Raume auftretenden mittleren Konzentrationen sind von der natürlichen Belüftung (Fenster, offene Türen, Windanfall) und im Freien durch die in unmittelbarer Umgebung des Arbeitsortes herrschenden Windströmungen vollkommen abhängig.

5. Eine allgemeine Beurteilung der Silikosegefahr bei Steinhauerarbeiten dürfte sich dahin zusammenfassen lassen, dass unter ungünstigen Bedingungen (kleine, schlecht belüftete Arbeitsräume, häufiges Arbeiten mit quarzreichen Materialien, vorherrschende Arbeit im Freien nur bei windstillem Wetter) die Staubverhältnisse bedenklich werden und das Auftreten von Silikosen zu erwarten ist.

Nach den Angaben von ZOLLINGER und LANG figurieren die «Sandsteinhauer» mit 79 Silikosefällen von 1181 Fällen in den Jahren 1932—1945 an vierter Stelle (I/I).

III. Bohrversuche in der Gaszelle

Die Bohrversuche wurden in der Absicht unternommen, den Staubanfall und die Staubbedingungen beim Bohren in verschiedenen Gesteinsarten und unter verschiedenen Arbeitsbedingungen (Nassbohren, Trockenbohren, Anwendung verschiedener Bohrer usw.) zu ermitteln.

Die Versuchsreihe ist noch nicht abgeschlossen. Die bis jetzt vorliegenden Resultate erlauben indessen bereits, namentlich auch im Vergleich mit den Ergebnissen aus der Praxis, einige interessante Schlussfolgerungen; sie seien aus diesem Grunde kurz besprochen:

a) Die Versuchsanordnung

Die Versuche wurden in der Gaszelle von 4 × 5 m Grundfläche und 3 m Höhe (Rauminhalt 60 m³) durchgeführt. Die Versuchsanordnung ist in Abb. 15 schematisch dargestellt.

Während des Bohrens wurden jeweiligen Staubproben (Impinger- und Filterproben) in Kopfhöhe in ca. 1 m Abstand vom Bohrloch sowie einige weitere Proben in grösseren Abständen gezogen. Parallel dazu wurden im Verlaufe der Versuche jeweiligen mehrere Staubzählkammerproben an verschiedenen Orten im Raum entnommen.

Das während der Versuche angefallene Bohrmehl wurde ebenfalls untersucht.

b) Petrographisch-mineralogische Charakterisierung der zu den Versuchen verwendeten Gesteinsblöcke

A. Granitgneissblock (28 × 75 × 115 cm).

Der Block ist ein grobkörniger, wenig schiefriger Leventinagranitgneiss vom Bodiotypus. Dieser besteht in der Hauptsache aus 30—35 % Quarz, 50—60 % Feldspat (Kalifeldspat vorwiegend) und 10—15 % Biotit und Muskovit. Er wird in zahlreichen Steinbrüchen zwischen Biasca und Giornico abgebaut und zu Randsteinen und Treppenstufen verarbeitet.

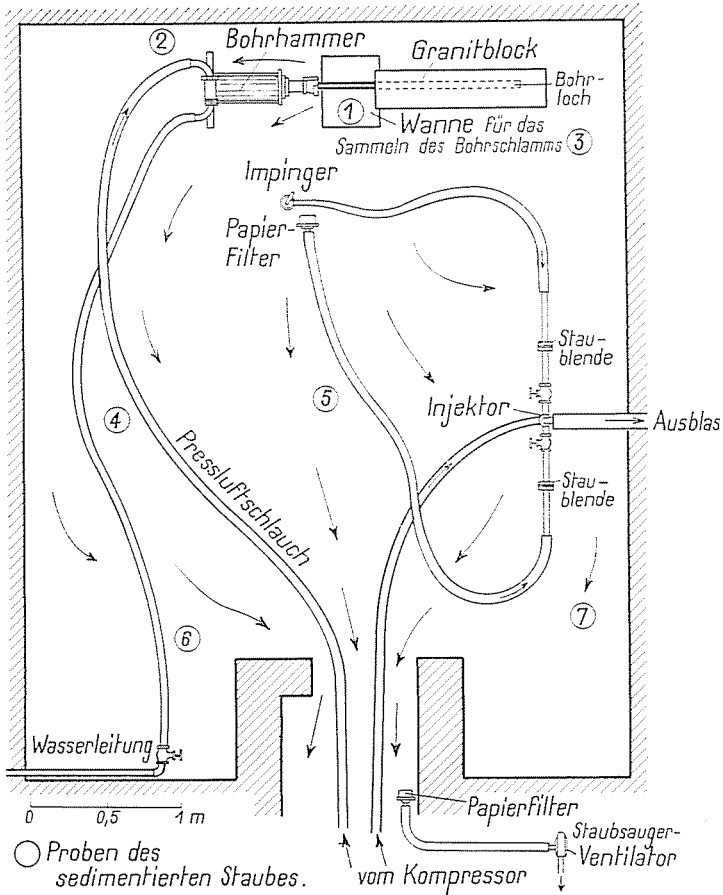


Abb. 15 Versuchsanordnung für die Bohrversuche.

B. Quarzsandsteinblock (65 × 80 × 100 cm).

Es handelt sich um einen sogenannten granitischen Sandstein der Molasse, im Handel als Bollinger Sandstein (Herkunft Obersee) bekannt. Dieser Sandstein besteht aus Körnern von Quarz (30—40 %), Feldspat (30—40 %), wenig Glimmer und Chlorit, in einem Bindemittel von etwas Kalkspat. Seine Druckfestigkeit liegt trocken um 600—800 kg/cm², die Porosität beträgt ca. 10 %.

Angaben von F. DE QUERVAÏN; vgl. auch «Die nutzbaren Gesteine der Schweiz» (3).

c) Die angewandten Bohrverfahren

Für alle Versuche stand ein Karrenkompressor mit Benzinmotorantrieb, welcher uns von der Kriegsmaterialverwaltung*) leihweise überlassen worden war, zur Verfügung.

*) Wir möchten nicht unterlassen, auch an dieser Stelle dem Chef der K.M.V., Herrn Oberstbrigadier MUNTWYLER für die kostenlose leihweise Abgabe des Kompressors unsern besten Dank auszusprechen.

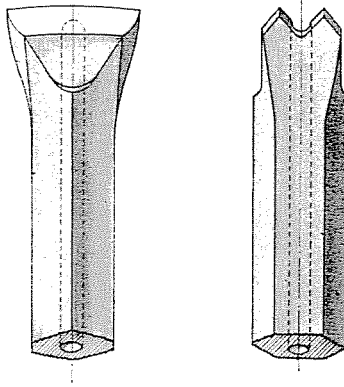


Abb. 16 Stahlbohrer mit Doppelschneide.

In jedem Versuch wurde ein pneumatischer Bohrhämmer angeschlossen, ein zweiter Druckluftanschluss diente zum Betrieb des Injektors zum Ansaugen der Impinger- und Filterproben.

Im Granit wurden Bohrstähle mit Biduritschneiden verwendet (Schneiden aus Hartmetallegerung, vgl. auch die Ausführungen S. 128), im Sandstein gewöhnliche Stahlbohrer mit Doppelschneiden, wie sie Abb. 16 dargestellt zeigt.

Die Anwendung dieser Bohrstähle entsprach den Verhältnissen in der Praxis.

Das Bohrverfahren wurde an beiden Gesteinsarten in der gleichen Weise variiert:

- α) Trockenbohren,
- β) Trockenbohren mit Staubabsaugvorrichtung nach BÜHLER,
- γ) Nassbohren.

α) Das Trockenbohren führte zu ähnlichen Staubbedingungen, wie sie beim Trockenbohren in einem relativ weiten Stollen auftreten müssen; die gesamte Menge des erzeugten Bohrmehls wird mit der durch den Bohrstahl austretenden Druckluft in den Raum hinausgeschleudert, wo die gröberen Anteile rasch sedimentieren, während die feineren Anteile einen dichten Staub bilden.

Zum eigentlichen Ausblasen der Bohrlöcher kann die Druckluft durch Öffnen eines Hahns stossartig kräftiger durch den Bohrer geleitet werden; während jedes Versuches wurde jeweilen mehrmals «ausgeblasen».

β) Beim Trockenbohren mit der von H. BÜHLER konstruierten Staubabsaugvorrichtung wurde der grösste Anteil des erzeugten Bohrmehls unmittelbar am Bohrloch abgesaugt und in einem Abscheider ausgeschieden, der Rest, d. h. die nicht ausgeschiedenen Anteile wurden ins Freie abgeblasen.

Die Versuchsanordnung ist in Abb. 17 dargestellt, in welcher die Detailzeichnungen den Absaugkasten (A) und den behelfsmässig eingerichteten Staubabscheider (B) zeigen.

Der Absaugkasten besteht aus einem gegen hinten offenen zweiteiligen Blechkasten von $30 \times 20 \times 15$ cm, dessen oberer Teil aufgeklappt werden kann. In der vorderen Wand befindet sich eine Öffnung zum Einführen des Bohrers, seitlich der Luftansaugstutzen, an welchen der Schlauch angeschlossen wird.

Für die Versuche war der Absaugkasten mit zwei ausziehbaren Stativbeinen versehen, so dass er in beliebiger Höhe gegen die Steinoberfläche angestellt werden konnte.

Die Anwendung des Absaugkastens im Stollen ist in der Weise gedacht, dass er vermittels einer Spannsäule mit einem in Scharnieren beweglichen Arm an beliebiger Stelle gegen die Felsoberfläche angestellt werden kann. Die Anordnung ist schematisch in Abb. 18 dargestellt.

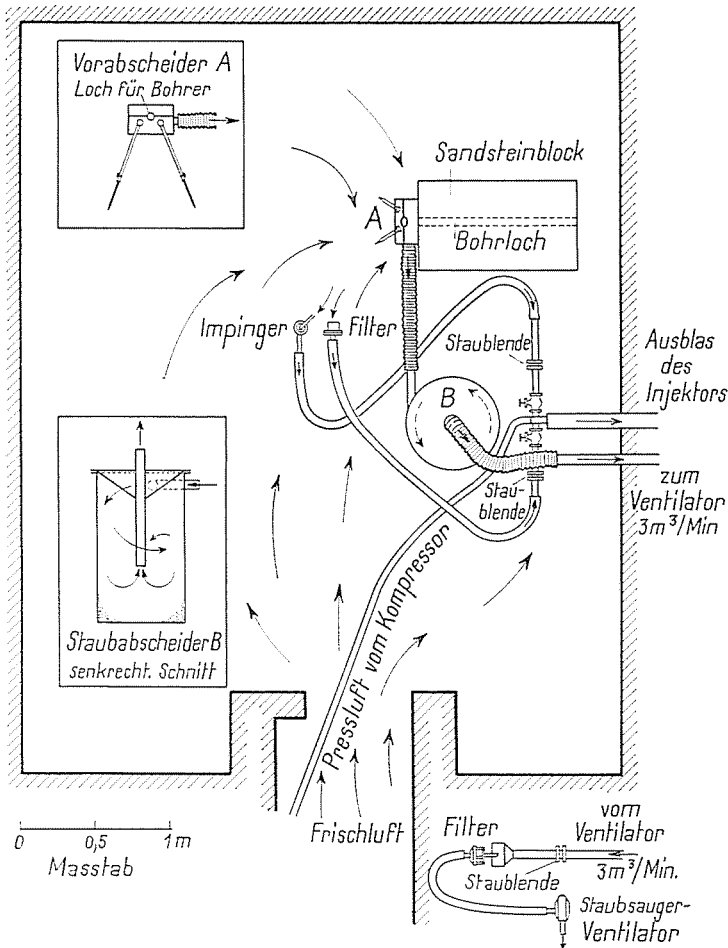


Abb. 17 Versuchsanordnung für Trockenbohren mit Staubabsaugvorrichtung.

Das Ansetzen des Bohrers und der Beginn der Bohrarbeit muss bei geöffnetem Kasten erfolgen, bis der Bohrer durch das Bohrloch eine Führung erhält.

Während der Versuche wurde eine Luftmenge von ca. $3 \text{ m}^3/\text{min}$ mittels eines Ventilators abgesaugt; in der Praxis kann das Absaugen mit einem Druckluftinjektor vorgenommen werden.

Die Staubabsaugung kann überall da in Frage kommen, wo Nassbohren aus irgendeinem Grunde nicht möglich ist.

;) Das Nassbohren wurde in der Weise vorgenommen, wie es in der Praxis üblich ist. Die Wasserdosierung wurde bei allen Versuchen vorschriftsgemäß eingestellt (ca. $1,5 \text{ l}$ pro min). Es ist dazu zu bemerken, dass in der Praxis mit dem Wasser häufig gesparrt wird und, namentlich beim Bohren schräg aufwärts, die Spülung überhaupt ganz abgestellt wird.

d) Die Belüftungsverhältnisse

Eine Belüftung des Raumes kam durch die Versuchsanordnung zustande, beim Trocken- (α) und Nassbohren (γ) durch die beim Bohrer austretende Druckluft. Die Luftmenge be-

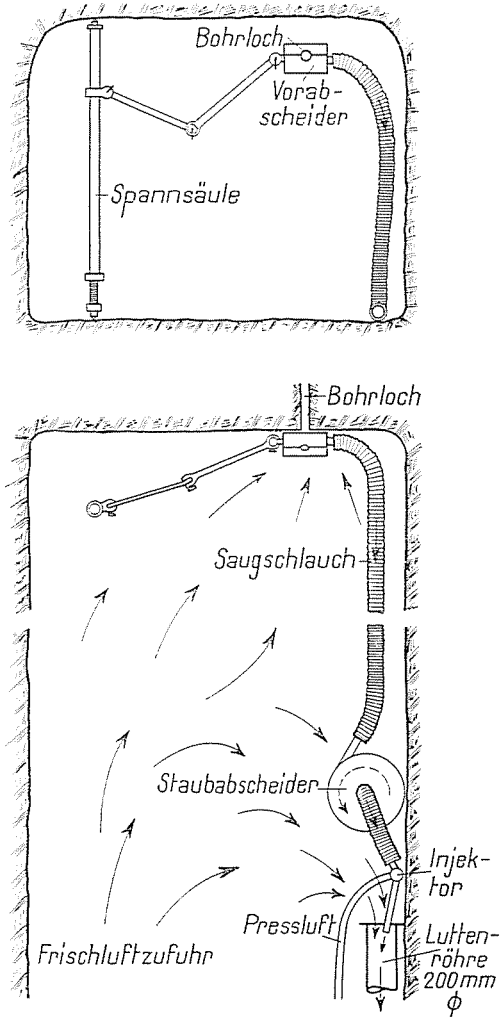


Abb. 18 Schema der Staubabsaugvorrichtung im Stollen.

trug etwa $1,5 \text{ m}^3/\text{min}$. Es war durch das Bohren also ungefähr eine einmalige Belüftung (Umwälzung) des 60 m^3 fassenden Raumes in 40 Minuten vorhanden. Die zugeführte Luft konnte durch die offen gehaltene Türe der Gaszelle abfließen. Die Belüftungsverhältnisse entsprachen damit ungefähr den Verhältnissen beim Bohren in der Praxis im unbelüfteten Stollen von nicht allzu kleinem Querschnitt ($\sim 10 \text{ m}^2$).

Beim Trockenbohren mit Absaugvorrichtung (β) wurde eine Luftmenge von ca. $3 \text{ m}^3/\text{min}$ abgesaugt, so dass zu den $1,5 \text{ m}^3/\text{min}$ beim Bohren austretende Druckluft eine zusätzliche Belüftung der Gaszelle durch Frischluft von der Türe aus zustande kam. Im ganzen kann für diese Versuche mit einer einmaligen Luftumwälzung des Rauminhaltes in 20 Minuten (dreifache Umwälzung pro Stunde) gerechnet werden. Die Belüftungsverhältnisse entsprechen damit einer schwach belüfteten Stollenbrust.

e) Die Resultate der Bohrversuche

Die Resultate der Versuche sind in den folgenden Tabellen II und III zusammengestellt und in den Abb. 19 und 20 zur Darstellung gebracht. Es ergibt sich folgendes:

Im ersten Teil (a) von Tabelle II sind die Versuchsdauer und die Bohrerleistungen angegeben.

1. Die Versuchsdauer ist durchweg relativ kurz (10—20 min, Versuch VIII nur 5½ min); die auftretenden Staubbedingungen entsprechen somit den unmittelbar nach dem Beginn der Bohrarbeit auftretenden Verhältnissen in der Praxis; der Gleichgewichtszustand zwischen Stauberzeugung, Sedimentation und Belüftung konnte in erster Annäherung in der Nähe des Bohrers, nicht aber im ganzen Raum von 60 m³, erreicht sein (vgl. auch Angaben über die Belüftungsverhältnisse).

2. Die Bohrerleistung (Bohrgeschwindigkeit) ist eindeutig vom Gestein und vom Bohrverfahren abhängig und — soweit aus Parallelproben erkannt werden kann — unter gleichen Bedingungen sehr konstant.

Sie beträgt beim Trockenbohren (α und β) im Granit 5,5 cm Bohrloch pro Minute, im Sandstein $20 \pm 0,15$ cm/min, beim Nassbohren (γ) im Granit $12,45 \pm 0,15$ cm/min und im Sandstein 25,7 cm/min.

Auffallend ist die mehr als doppelte Leistung beim Nassbohren im Granit gegenüber dem Trockenbohren.

3. Der Bohrmehl-anfall ist aus dem Volumen der Bohrlöcher (deren Durchmesser je nach dem verwendeten Bohrer zwischen 30 und 35 mm schwankte) berechnet. Es wird später untersucht, welche Zusammenhänge zwischen Bohrmehl-anfall und Staubbildung bestehen.

Tabelle II Zusammenstellung der Ergebnisse von den Bohrversuchen in der Gaszelle
a) Übersicht über Versuchsdauer¹⁾, Bohrerleistung und Bohrmehl-anfall

| Bohrverfahren | A. Granit | | | | | B. Sandstein | | | | |
|--|---------------------|--|---------------------------------------|---|-----------------------------------|---------------------|--|---------------------------------------|---|----------------------------------|
| | Ver- such Nr. | Dauer des Ver- suchs Minuten | Länge der Bohr- löcher cm | Bohrge- schwin- digkeit cm/min | Bohr- mehl- anfall g/min | Ver- such Nr. | Dauer des Ver- suchs Minuten | Länge der Bohr- löcher cm | Bohrge- schwin- digkeit cm/min | Bohr- mehl anfall g/min |
| Trockenbohren | I | 15 | 82 | 5,5 | 160 | V | 20 | 407 | 20,3 | 517 |
| | | | | | | VIII | 5,5 | 110 | 20,0 | 510 |
| Trockenbohren mit Absaugvorrichtung | II | 13 | 72 | 5,5 | 155 | VI | 9 | 180 | 20,0 | 510 |
| | | | | | | VII | 10 | 201 | 20,1 | 512 |
| Nassbohren | III | 19 | 240 | 12,6 | 279 | XI | 15 | 385 | 25,7 | 655 |
| | IV | 13 | 160 | 12,3 | 265 | | | | | |

¹⁾ Als Versuchsdauer ist die Zeit vom Einsatz bis zum Abstellen der Bohrer, inklusive allfällige Pausen durch Verkleben, Bohrlochwechsel und dgl. notiert.

b) Übersicht über die Probenahmen und Staubkonzentrationen

| Bohrverfahren | A. Granit | | | | | B. Sandstein | | | | |
|-------------------------------------|-------------------|-------------------|----------------------|---------------------------|---------------------------|-------------------|-------------------|----------------------|-------------------------|---------------------------|
| | Versuch Nr. | Probe | Staubkonzentrationen | | | Versuch Nr. | Probe | Staubkonzentrationen | | |
| | | | Total | Anteile feiner 10 μ | | | | Total | Anteile feiner 10 μ | |
| | | | | i. d. Probe | Mittelwerte ²⁾ | | | | i. d. Probe | Mittelwerte ²⁾ |
| mg/m ³ | mg/m ³ | mg/m ³ | mg/m ³ | mg/m ³ | mg/m ³ | mg/m ³ | mg/m ³ | | | |
| Trockenbohren | I | Imp. 1 | 630 | 296 | 346 | V | Imp. 1 | 1220 | 708 | — |
| | | Fpr. 1 | 941 | 423 | | | Fpr. 1 | 2950 | 1090 | — |
| | | Arithm. Mittel | 786 | 360 | | | Fpr. 2 | 1950 | 885 | 800 |
| | VIII | Fpr. 3 | | | Fpr. 3 | 1130 | 675 | — | | |
| | | Arithm. Mittel | | | Arithm. Mittel | 1812 | 820 | | | |
| | | Fpr. 1 | | | Fpr. 1 | 905 | 425 | 425 | | |
| | | | | Arithm. Mittel (V + VIII) | 1358 | 622 | 755 | | | |
| Trockenbohren mit Absaugvorrichtung | II | Imp. 1 | 25,9 | 15,0 | 17,6 | VI | Imp. 1 | 48,5 | 22,3 | 23,3 |
| | | Fpr. 1 | 32,1 | 12,8 | | | Fpr. 1 | 55,3 | 24,3 | |
| | | Fpr. 2 | 77,4 | 36,4 | | | Arithm. Mittel | 51,9 | 23,3 | |
| | VII | Arithm. Mittel | 45,1 | 18,7 | Fpr. 1 | 76 | 33,5 | 33,5 | | |
| | | Fpr. 1 | | | Arithm. Mittel (VI + VII) | 64 | 28,4 | 26,4 | | |
| | | Arithm. Mittel | | | | | | | | |
| Nassbohren | III | Imp. 1 | 5,6 | 4,5 | 4,0 | IX | Imp. 1 | 5,3 | 3,8 | 5,0 |
| | | Fpr. 1 | 4,7 | 3,8 | | | Fpr. 1 | 8,2 | 6,0 | |
| | | Fpr. 2 | 4,1 | 3,3 | | | Arithm. Mittel | 6,8 | 4,9 | |
| | IV | Arithm. Mittel | 4,8 | 3,9 | | | | | | |
| | | Imp. 1 | 5,6 | 4,7 | | | | | | |
| | | Fpr. 1 | 9,9 | 8,2 | | | | | | |
| | | Fpr. 2 | 5,5 | 4,6 | | | | | | |
| | | Arithm. Mittel | 7,0 | 5,8 | — | | | | | |
| Arithm. Mittel (III + IV) | 5,9 | 4,8 | 4,8 | | | | | | | |

²⁾ Die Mittelwerte in dieser Kolonne sind aus der Summe der Staubgewichte auf die Summe der Luftvolumina der Staubproben berechnet, also nicht arithmetische Mittel der Einzelproben.

Tabelle III Bohrversuche in der Gaszelle
Ergebnisse der Zählungen in den Staubzählkammerproben

| Bohrverfahren | A. Granit | | | | | | B. Sandstein | | | | | | | | | | |
|-----------------------------|-----------|-----------|---------------------------------------|--------|--------------|-----|--------------|-----------|---------------------------------------|--------|--------------|-----|-----|---|------|-----|--|
| | Vers. Nr. | Probe Nr. | Teilchenzahl 1000 pro cm ³ | | | | Vers. Nr. | Probe Nr. | Teilchenzahl 1000 pro cm ³ | | | | | | | | |
| | | | Einz. | Mittel | Vers. mittel | | | | Einz. | Mittel | Vers. mittel | | | | | | |
| α Trockenbohren | I | 1 | 34 | 38,5 | 60 | 60 | V | 1 | 18,5 | | | 28 | 24 | | | | |
| | | 2 | 43 | | | | | 2 | 9,2 | | | | | | | | |
| | | 3 | 63 | 57,5 | | | | 60 | VIII | | | | | 3 | 38,0 | | |
| | | 4 | 52 | | | | | | | | | | | 4 | 46,6 | | |
| | | 5 | 84 | 84,5 | | | | | | | | | | 1 | 18 | | |
| | | 6 | 85 | | | | | | | | | | | 2 | 24 | | |
| | | | | | | 3 | 18,5 | | | | | | | | | | |
| β Trockenbohren mit Absaug. | II | 1 | 8,0 | 7,5 | 7,6 | 7,6 | VI | 1 | 1,9 | 2,2 | | 2,3 | 3,5 | | | | |
| | | 2 | 7,0 | | | | | 2 | 2,4 | | | | | | | | |
| | | 3 | 8,7 | 6,5 | | | | | | | | | | 3 | 3,5 | | |
| | | 4 | 4,3 | | | | | | | | | | | 4 | 1,6 | | |
| | | 5 | 9,6 | 8,9 | | | | | VII | | | | | 1 | 5,6 | | |
| | | 6 | 8,2 | | | | | | | | | | | 2 | 3,7 | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| γ Nassbohren | III | 1 | 1,1 | | 7,0 | | IX | 1 | 1,5 | 1,4 | | 2,5 | 2,5 | | | | |
| | | 2 | 8,6 | | | | | 2 | 1,3 | | | | | | | | |
| | | 3 | 4,6 | | | | | 3,5 | | | | | | | 3 | 4,2 | |
| | | 4 | 3,5 | | | | | | | | | | | | 4 | 3,1 | |
| | | 5 | 11,5 | | | | | 12,8 | | | | | | | | | |
| | | 6 | 12,8 | | | | | | | | | | | | | | |
| | IV | 1 | 1,5 | 1,8 | 9,4 | | | | | | | | | | | | |
| | | 2 | 2,2 | | | | | | | | | | | | | | |
| | | 3 | 9,1 | 7,5 | | | | | | | | | | | | | |
| | | 4 | 5,9 | | | | | | | | | | | | | | |
| | | 5 | 10,7 | 10,7 | | | | | | | | | | | | | |
| | | 6 | 17,6 | 17,6 | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | |

Bemerkungen: 1. Alle Mittelwerte sind arithmetische Mittel.

2. Im Falle Ba waren sehr viele Aggregate und im Falle Bβ einzelne Aggregate vorhanden.

Die Resultate der Staubuntersuchungen sind im zweiten Teil (b) von Tabelle II zusammengestellt. Es ergeben sich daraus die folgenden weiteren Punkte.

4. Zur Probenahme ist zu bemerken, dass die Impingerprobe in allen Versuchen über die ganze Versuchsdauer gezogen wurde, während die Filterproben jeweilen neu angesetzt wurden, wenn die Filter zu verstopfen begannen.

Die Impingerproben stellen somit einen Mittelwert über die ganze Versuchsdauer dar, während die Filterproben die nacheinander aufgetretenen Staubzustände während der Versuche erfassen.

Die aus dem Gewicht aller Proben eines Versuchs oder einer Versuchsgruppe und den angesaugten Luftmengen berechneten Mittelwerte weichen jeweilen wenig von den arithmetischen Mitteln der untersuchten Einzelproben ab.

5. Die festgestellten Staubkonzentrationen. Ein Überblick ergibt eindeutig folgendes:

Beim Trockenbohren ohne Staubabsaugung (α) treten sehr hohe Staubkonzentrationen auf, beim Bohren im Sandstein mehr als doppelt so hoch wie beim Bohren im Granit. Die verschiedene Härte der beiden Gesteinsarten kommt darin deutlich zum Ausdruck.

Mit dem Einschalten von Staubbekämpfungsmassnahmen fallen die Staubkonzentrationen sofort stark ab, beim Absaugen des Staubes mit der Absaugvorrichtung (β) auf einige Prozent (3—6 %), beim Nassbohren (γ) auf ca. 1 % der beim Trockenbohren festgestellten Werte. Die Unterschiede in der Staubbildung beim Bohren im Granit einerseits und im Sandstein andererseits werden kleiner. Mit der Absaugvorrichtung wird das Verhältnis noch wie 3 : 4; beim Nassbohren waren die festgestellten Staubkonzentrationen im Granit und im Sandstein ungefähr gleich gross.

6. Die massgebenden Staubkonzentrationen, d. h. die Anteile unter 10 μ Korndurchmesser, geben zu folgenden Bemerkungen Anlass:

Die beim Trockenbohren (α) auftretenden Mengen von 346 (Granit) und 755 mg/m³ (425—1090 mg in den Einzelproben beim Sandstein) sind ganz enorm hoch. Wir haben in der Praxis analoge Konzentrationen nie festgestellt. Es ist aber gar keine Frage, dass beim Trockenbohren in unbelüfteten Stollen ganz ähnliche Verhältnisse auftreten müssen⁹⁾.

Mit der Absaugvorrichtung nach BÜHLER (β) ist die massgebende Staubkonzentration auf 17,6 (12,8—36,4) mg/m³ im Versuch mit Granit und auf 26,4 (22,3—33,5) mg/m³ beim Sandstein herabgesetzt.

Die Konzentrationen entsprechen Verhältnissen, wie sie an verschiedenen Orten in der Praxis festgestellt worden sind (Schieferbergwerk, Stollen im Bündnerschiefer, wo allerdings nass gebohrt wurde; vgl. den früheren Bericht I/II).

⁹⁾ Die Verhältnisse dürften etwa den Bedingungen entsprechen, wie sie zu den von LANG (8) beschriebenen «akuten» Silikosen geführt haben.

Beim Nassbohren (γ) wird mit relativ geringen Streuungen (zwischen 3,3 und 8,2 mg/m³) ein Mittelwert um 5 mg/m³ beim Bohren in beiden Gesteinsarten festgestellt.

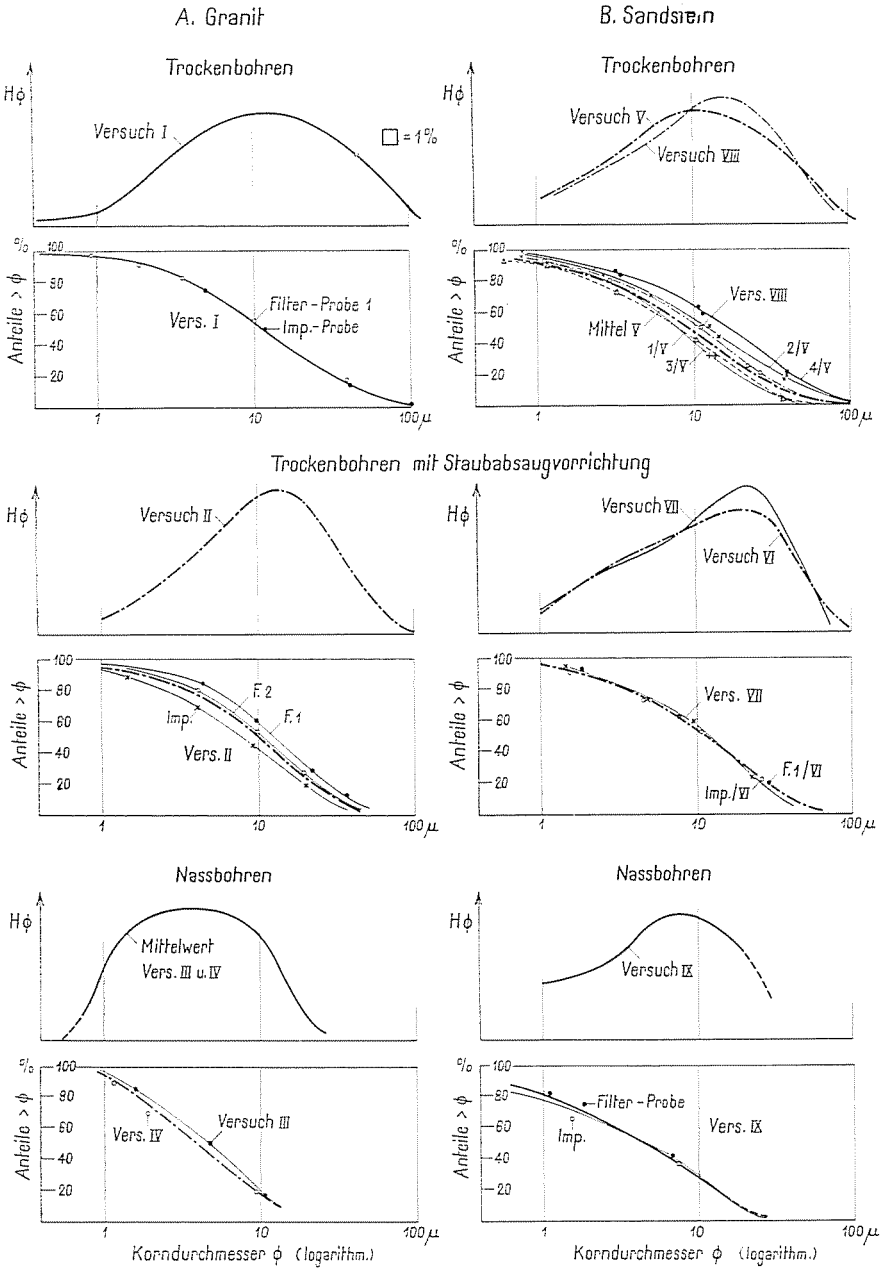


Abb. 19 Zusammenstellung der Ergebnisse der Bohrversuche.

Die Zahl stimmt mit unsern Beobachtungen beim Nassbohren im Stollen recht gut überein; in dem S. 131 beschriebenen Fall 1 wurde an der Stollenbrust beim Arbeiten von zwei Bohrern etwa die doppelte Staubkonzentration festgestellt.

7. Die Kornverteilungskurven der erhaltenen Staubproben sind in Abb. 19 zur Darstellung gebracht; die Kurven zeigen die relative (prozentuale) Kornverteilung, die Unterschiede in der Konzentration kommen darin noch nicht zum Ausdruck.

Die Kurven der Abb. 19 lassen folgendes erkennen: Der beim Trockenbohren anfallende Staub ist deutlich gröber als beim Nassbohren. Die Maxima der Kornverteilungskurven beim Trockenbohren liegen im Bereich zwischen 10 und 20 μ Korndurchmesser, beim Nassbohren unter 10 μ .

Der Granitstaub ist bei gleichem Bohrverfahren feiner als der Staub aus dem Sandstein (Ausnahme Versuch V, 20 Minuten Trockenbohren im Sandstein gegenüber nur 15 Minuten Trockenbohren im Granit bei Versuch I, daher deutliche Anreicherung der feinen Anteile, vergleiche auch Kurven von Versuch VIII, wo nur 5,5 Minuten im Sandstein trocken gebohrt wurde).

Beim Nassbohren liegt das Maximum der Kornverteilungskurve des Granitstaubes bei ca. 4 μ , beim Sandsteinstaub bei ca. 8 μ . Da beide Staubproben ungefähr die gleiche Konzentration der Anteile unter 10 μ aufweisen (4,8 für Granit und 5,0 mg/m³ für Sandstein), muss der Granitstaub in bezug auf die Silikose als wesentlich gefährlicher beurteilt werden als der Sandsteinstaub.

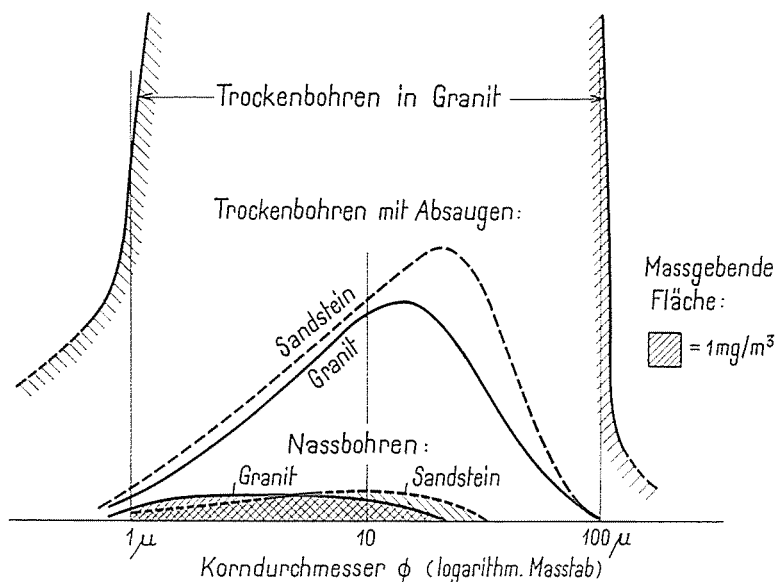


Abb. 20 Vergleichende Darstellung der Staubkonzentration bei den Bohrversuchen.

Im übrigen sind die Unterschiede zwischen den verschiedenen Bohrverfahren in den Gesamtkonzentrationen und deren Anteilen an Staub unter 10μ so gross, dass die relativ geringfügigen Abweichungen in der Kornzusammensetzung nicht mehr ins Gewicht fallen können.

8. Der absolute Vergleich der Staubzustände ist graphisch in Abb. 20 gezogen.

Die in Abb. 19 dargestellten relativen Kornverteilungskurven sind in Abb. 20 derart in das gleiche Koordinatensystem eingetragen, dass die unter den Kurven liegenden Flächen die effektiv in den Staubproben festgelegten Mengen (in mg/m^3) als Funktion des Korndurchmessers darstellen.

Massgebend ist die in Abb. 20 dargestellte Fläche, die $1 \text{ mg Staub}/\text{m}^3$ entspricht.

Die hohen Staubkonzentrationen, die beim Trockenbohren ermittelt wurden, konnten in der Zeichnung nur durch die unter 1μ und über 100μ auslaufenden Äste der Kurve angedeutet werden, das Maximum der Kornverteilungskurve vom Trockenbohren im Granit würde $38,5 \text{ cm}$, und dasjenige vom Sandstein mehr als doppelt so hoch über der Abszissenachse liegen!

Die übrigen Unterschiede zwischen den festgestellten Staubzuständen ergeben sich aus den Kurven eindeutig. Die Bohrversuche beim Trockenbohren mit der Staubabsaugvorrichtung ergaben im Sandstein etwas über der Granitstaubkurve liegende Werte, im Bereich unter 10μ Korndurchmesser betragen die Unterschiede nur etwa 10% , während sie über 10μ deutlich grösser werden.

Das Verhältnis der massgebenden Staubkonzentrationen beim Nassbohren gegenüber den Staubzuständen beim Trockenbohren mit Absaugen ist aus der Abbildung ebenfalls deutlich ersichtlich, im Granit beträgt es $17,6 : 4,8 \text{ mg}/\text{m}^3$, im Sandstein $26,4 : 5 \text{ mg}/\text{m}^3$.

Ähnliche Resultate beim Vergleich des Nassbohrens mit dem Trockenbohren ergaben Versuche des Bureau of Mines (USA), vgl. (9).

9. Weitere, insbesondere für die kritische Beurteilung der angewandten Untersuchungsmethoden aufschlussreiche Beobachtungen sollen in einer späteren Publikation ausgewertet werden. Es sei an dieser Stelle nur auf die Resultate der Staubkammerauszählungen (Tabelle III) hingewiesen, die in keiner Weise den Befunden aus den Filter- und Impingerproben proportional gehen und nicht einmal eindeutig im gleichen Sinne verlaufen. So ergaben die Staubzählungen beim Nassbohren im Granit höhere Werte als die Proben vom Trockenbohrversuch mit Absaugen.

In den meisten Zählreihen ist ein Ansteigen der Teilchenzahlen im Verlaufe der Versuche eindeutig zu erkennen.

10. Der Vergleich der erhaltenen Ergebnisse mit den Untersuchungen aus der Praxis wird im nächsten Kapitel gezogen.

IV. Die Staubbildung als Funktion der Betriebsbedingungen

Die im II. und III. Kapitel mitgeteilten Resultate unserer Untersuchungen sind als Stichproben zu werten. In ähnlichen Betrieben weisen die Staubkonzentrationen unter sich immer recht grosse Schwankungen auf, die auf Unterschiede in den Betriebsbedingungen zurückgeführt werden müssen.

Es soll nun untersucht werden, inwieweit sich aus dem erhaltenen Zahlenmaterial bei einer allgemeinen Betrachtung der Stauberzeugung und der Staubbildung, Begriffe, die im folgenden noch genauer zu definieren sein werden, Gesetzmässigkeiten ergeben, durch welche die Bildung eines bestimmten Staubzustandes gegeben ist, bzw. vorausgesagt werden kann.

Im weiteren soll die Frage geprüft werden, welche messbaren Grössen für die Bildung eines Staubes entscheidend ins Gewicht fallen und welche Anforderungen an die technisch regulierbaren Bedingungen (wie etwa die Belüftung) im Sinne der Silikosebekämpfung zu stellen sind und wie weit solche Forderungen wirtschaftlich tragbar seien.

Der Staubzustand in einem Betrieb und dessen Veränderungen, die er im Verlaufe des Arbeitsprozesses, also mit der Zeit erfährt, ist das Ergebnis einer Reihe von Vorgängen, die sich wie folgt zusammenstellen lassen:

1. Die Stauberzeugung oder Staubproduktion, welche als die in der Zeiteinheit in die Luft abgegebene Menge staubfähigen Materials definiert sei, also eine Grösse von der Dimension Masse/Zeit darstellt, ist abhängig:

- a) von der Gesamtmenge des in einem Betrieb in der Zeiteinheit produzierten oder verarbeiteten losen Materials,
- b) von den im losen Material a) enthaltenen oder gebildeten staubfähigen feinen Anteilen und deren Kornverteilung,
- c) vom Arbeitsprozess, durch welchen immer nur ein Teil des gebildeten staubfähigen Materials effektiv in die Luft verwirbelt wird. Es tritt also ein dimensionsloser Faktor kleiner als 1, als Funktion der am Arbeitsprozess beteiligten Massen, Kräfte und Geschwindigkeiten auf, welcher angibt, wieviel von der Gesamtmenge des verarbeiteten Materials als Staub in die Luft geht.

2. Die Staubbildung, welche als die Verteilung des erzeugten Staubes in den umgebenden Luftmassen zu definieren ist.

Die Staubbildung ist abhängig vom Luftvolumen, in welchem sich der erzeugte Staub verteilt, also von den Raumverhältnissen und den Belüftungsbedingungen.

Die Staubbildung führt nun zur Grösse einer Konzentration (Masse pro Volumen).

3. Das Verhalten des gebildeten Staubes (Sedimentationsverhältnisse, unter gewissen Bedingungen Verwirbelung des Schwadens) ist eine Funktion der Zeit, der Kornverteilung und der Luftströmungsverhältnisse.

Die für die silikogenen Eigenschaften eines Staubes ebenfalls massgebende mineralogische - petrographische bzw. chemische Zusammensetzung steht an dieser Stelle noch nicht zur Diskussion.

Die einzelnen angeführten Punkte seien im folgenden etwas eingehender betrachtet:

1. Die Stauberzeugung

a) Die Gesamtmenge des losen Materials, welche in einem Betrieb produziert, verarbeitet oder auch nur transportiert wird, ist eine Grösse, welche meistens recht genau bekannt ist.

Es können dabei Grossbetriebe mit verschiedenen Arbeitsoperationen, z. B. ein Steinbruch mit angeschlossenem Schotterwerk und den zugehörigen Transporten, zusammengefasst betrachtet werden, oder die einzelnen Teiloperationen, wie Bohren, Sprengen, Brechen, Mahlen, Baggern usw., werden für sich untersucht.

Es ist zu erwarten, dass bei gleichen Arbeitsvorgängen die Stauberzeugung in erster Annäherung der Menge des produzierten oder verarbeiteten Materials proportional geht, dass aber zwischen den verschiedenen Arbeitsoperationen erhebliche Unterschiede auftreten werden.

Die Gesamtmengen des erzeugten oder verarbeiteten Materials in den von uns untersuchten Betrieben sind jeweils — soweit sie bekannt waren — bei der Beschreibung der einzelnen Betriebe angegeben; sie schwanken zwischen 155 g/min (Bohrmehlanfall, Bohrversuch II) und 1 t/min (Schotterwerk, Fall C) in den kontinuierlichen Arbeitsprozessen und können bei der schlagartigen Zertrümmerung durch Sprengschüsse die Masse von mehreren Tonnen innert Minuten oder, beim gleichzeitigen Abschiessen einer grösseren Serie von Ladungen, innert Bruchteilen von Sekunden erreichen.

Die Zahlen sind in der Übersichtstabelle IV eingetragen und werden weiter unten mit den andern Werten noch in Beziehung zu setzen sein.

b) Die Kornzusammensetzung des losen Materials. Für die Staubbildung interessiert das im verarbeiteten losen Material bereits vorhandene oder bei der Bearbeitung entstehende feine Material, das zur Staubbildung infolge seiner geringen Korngrössen überhaupt befähigt ist.

Wir betrachten im folgenden die Anteile unter 100μ Korndurchmesser als zur Staubbildung befähigt; gröbere Teilchen sedimentieren, auch wenn sie in die Luft gelangen, so rasch, dass sie aus der Betrachtung ausscheiden können. Es ist indessen festzuhalten, dass eine scharfe Grenze zwischen «staubfähigem» und «nicht staubfähigem» Korn nicht besteht und dass Fälle denkbar sind, wo die Anteile über 100μ Korndurchmesser ebenfalls berücksichtigt werden müssen.

Es wird auf alle Fälle interessant sein, die vollständige Granulometrie (Stückgrössen- bzw. Kornverteilung) des gesamten Systems an losem Material

zu betrachten und zu untersuchen, ob der Anteil an Korn unter 100μ für die verschiedenen Arbeitsprozesse und für verschiedene Materialien einen charakteristischen Wert erreicht, und dann weiter zu prüfen, in welcher Beziehung dieser Wert mit der effektiven Stauberzeugung steht.

Zusammenhänge zwischen den Kornverteilungskurven des Gesamtsystems an losem Material und der Kornverteilung des Staubes

In den Abb. 3, 11 und 21 sind einige Beispiele graphisch zur Darstellung gebracht, in welchen die Kornverteilungskurven des losen Materials einerseits und der Staubproben aus dem zugehörigen Betrieb andererseits im gleichen Koordinatennetz eingetragen sind. Zunächst sind beide Kurven im gleichen Relativmaßstab gezeichnet, in welchem sowohl die ganze vorhandene Material- wie auch die Staubmenge 100% gleichgesetzt und durch die gleiche Fläche dargestellt ist.

Aus den beiden Kurven lässt sich der Anteil in der Gesamtmenge des losen Materials ermitteln, der als Staub von der gleichen Kornzusammensetzung wie die zugehörige Staubprobe in die Luft übergehen könnte, wenn das feinste Material der losen Trümmer vollständig als Staub in die Luft austreten würde (Abb. 21).

Es zeigt sich nämlich in allen untersuchten Fällen, dass im Bereiche zwischen etwa 1μ und 5μ das Verhältnis der Ordinaten (Häufigkeit des Auftretens der zugehörigen Durchmesser) der beiden Kurven ziemlich gut konstant bleibt. Dies bedeutet, dass von dem feinen Material im angegebenen Korngrößenbereich ($1-5 \mu$) durchweg der gleiche Anteil in die Luft ausgetreten ist; über 5μ ändert sich das Verhältnis, es ist mit zunehmender Korngröße ein immer kleiner werdender Anteil als Staub in die Luft ausgetreten.

Reduziert man nun die Kornverteilungskurve des Staubes in der Weise, dass der linke Ast der Staubkurve mit der Kurve des Trümmermaterials zusammenfällt, so ergeben sich die in den Abbildungen schraffierten Flächen, welche den «staubfähigen Anteil», d. h. den Anteil an Korn von der gleichen Korn-

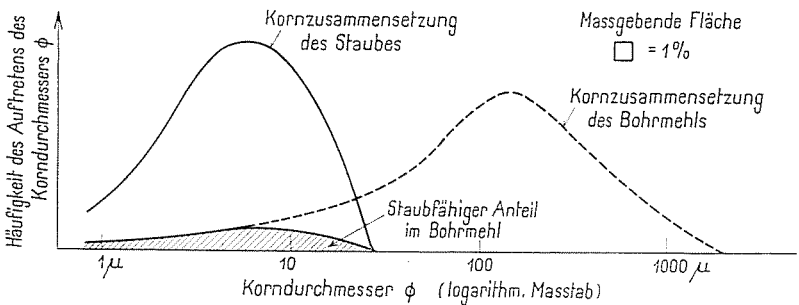


Abb. 21 Vergleich der Kornzusammensetzung des Bohrmehls im Bohrversuch III (Nassbohren in Granit) mit der Kornzusammensetzung des Staubes.

zusammensetzung wie der zugehörige Staub im Trümmermaterial, darstellen.

Aus der vorgenommenen Reduktion der Ordinaten der Kornverteilungskurven des Staubes ergibt sich zahlenmässig der Anteil an staubfähigem Material im Gesamtsystem der losen Masse (Trümmer, Bohrmehl, Schotter usw.).

Es wird im nächsten Abschnitt noch eingehend darzulegen sein, dass in der Praxis der effektiv als Staub in der Luft gefundene Anteil immer nur einen häufig ganz kleinen Bruchteil des aus dem Vergleich der Kurven ermittelten «staubfähigen Anteiles» ausmacht.

In Tabelle IV ist die Granulometrie des losen Materials durch die Angabe der Anteile $< 100 \mu$ und $< 10 \mu$ angedeutet, und in der mit « A_{St} » bezeichneten Kolonne sind die Werte der «staubfähigen Anteile» für alle Untersuchungen, die sich auswerten liessen, eingetragen; in den hinteren Kolonnen sind dann die Werte für die «Stauberzeugung», d. h. die effektiv in die Luft übergegangenen Staubmengen, in g/min zusammengestellt und in Prozenten des gesamten losen Materials M und des staubfähigen Anteils A_{St} angegeben.

Bemerkenswert sind folgende Ergebnisse:

Der staubfähige Anteil des beim Bohren entstehenden Bohrmehls ist ganz beträchtlich, er streut zwischen 5,7 und 17 %; die Übereinstimmung zwischen der Untersuchung im Stollenbau im Granit und beim Bohrversuch im Granit (Nassbohren) ist befriedigend.

Viel geringer ist naturgemäss der Anteil an staubfähigem Material im Schotter, wie er aus den Brechern anfällt; in den beiden ausgewerteten Beispielen beträgt er nur 2,5 und 1 %.

Im einzigen bis jetzt untersuchten Fall einer Gussputzerei war der staubfähige Anteil im Formsand ca. 4 %. Die Gesamtmenge des verwendeten Formsand und die Stauberzeugung in der Zeiteinheit konnten nicht ermittelt werden, vgl. S. 150.

Die «Kornzusammensetzung» der beim Sprengen anfallenden Trümmermasse ist nicht bekannt, wir kommen bei der Besprechung des Staubanfalles beim Sprengen darauf zurück (vgl. S. 175).

c) Die eigentliche Stauberzeugung (Staubproduktion). Als Stauberzeugung ist die in der Zeiteinheit in die Luft austretende Staubmenge definiert worden. Das am Vorgang beteiligte Luftvolumen wird zunächst nicht berücksichtigt. Es handelt sich um einen recht komplizierten Vorgang, indem einerseits die kinetische Energie der bewegten losen Massen zu einem Ausschleudern der Einzelteilchen in den Luftraum führen kann und andererseits die Teilchen durch die herrschenden Luftströmungen, bei denen es sich meistens um rasch bewegte, turbulente Luftmassen handelt, mitgerissen und in den Luftraum verfrachtet werden.

Es dürfte kaum gelingen, die verwickelten Vorgänge durch einfache (oder auch komplizierte) Formeln zu erfassen, man ist auf die Resultate der Messungen angewiesen, um einige praktisch brauchbare, generelle Regeln statistisch zu gewinnen.

Es wurde schon erwähnt, dass immer nur ein recht geringer Anteil des vorgebildeten, an sich staubbildungsfähigen Materials in den Staubzustand über-

Tabelle IV Vergleich der Gesamtmenge des erzeugten oder bearbeiteten losen Materials und dessen Granulometrie mit der Stauberzeugung

| | Erzeugtes oder bearbeitetes, loses Material | | | | Effektive Stauberzeugung | | | |
|--|---|--|--|--|--|--------------------------|--|--|
| | Gesamtmenge M | Granulometrie | | Anteil von der Korn- zusammen- setzung des zugehörigen Staubes As ₁ % von M | Staub- erzeugung Masse/Zeit g/min | In Prozenten von M | In Prozenten von As ₁ | Anteile < 10 μ in Prozenten von A ₁₀ |
| | | Anteile feiner 100 μ A ₁₀₀ % von M | Anteile feiner 10 μ A ₁₀ % von M | | | | | |
| I. Gruppe: Bohrarbeit | | | | | | | | |
| 1. Bohrarbeit in Granit Fall 1, Stollen Nassbohren, 2 Bohrer in Betrieb | 500 | 45 | 12 | 12,5 | 0,03 | 0,006 | 0,05 | 0,034 |
| 2. Bohrversuch Nr. I Trockenbohren Granit | 160 | 45 | 4 | 7,5 | 4,25 | 2,65 | 35,5 | 30 |
| 3. Bohrversuch III Nassbohren Granit | 279 | 45 | 10 | 11,0 | 0,024 | 0,0085 | 0,08 | 0,07 |
| 4. Bohrversuch IV, Granit | 265 | 42 | 9 | 5,7 | 0,043 | 0,02 | 0,28 | 0,15 |
| 5. Bohrversuch V Trockenbohren Sandstein | 517 | 35 | 8 | 13 | 8,1 | 1,55 | 12 | 11 |
| 6. Bohrversuch VIII, Sandstein | 510 | wie bei Versuch V | | 17 | 11,2 | 2,2 | 13 | 13 |
| 7. Bohrversuch IX Nassbohren Sandstein | 655 | 26 | 6,5 | 9 | 0,027 | 0,004 | 0,045 | 0,045 |

II. Gruppe: Schotterwerke
(Brecher mit Sortieranlagen)

1. Fall A (vgl. S. 145)
2. Fall B (vgl. S. 147)
3. Fall C (Grossbetrieb, vgl. S. 149)

| kg/min | ~ 5 | ~ 1 | g/min | ~ 2 | ~ 0,0025 | 0,1 |
|---------------------------|------|-----------|-------|------------|----------------------|------|
| 67—92 | | | | ~ 2 | | |
| 92—116 | ~ 2 | | | 15—25 | ~ 0,025 | 0,03 |
| ~ 1000 | | unbekannt | | ~ 5 kg/min | 0,5 | |
| unbestimmt | 12 % | 2 % | | | | |
| abgesprengte Felsmasse | | | | | | |
| ~ 25 t | | unbekannt | | | 0,00005 % | |
| ~ 500 t | | unbekannt | | | ~ 1 kg ²⁾ | |

III. Gusspulzerei
(vgl. S. 150)

IV. Beobachtungen beim Sprengen

1. Stollenbau im Granit (vgl. S. 127)
2. Aussprengung im Verucano (vgl. S. 132)

¹⁾ Bei der Ventilation ausgeblasen.
²⁾ Eine Stunde nach dem Sprengen; der Anteil über 10 μ beträgt noch 6 %. Die beim Sprengen effektiv erzeugte Staubmenge muss mindestens 10mal grösser angenommen werden, als die getundenen Zahlen angeben.

geht. In diesem Zusammenhange kann auch die Erfahrungstatsache aus dem Laboratorium angeführt werden, dass es praktisch die allergrösste Mühe bereitet, eine bestimmte Menge feinsten, an sich durchaus staubfähigen Materials quantitativ in die Aerosolform, also in den Staubzustand überzuführen.

In Tabelle IV sind die Werte für die Stauberzeugung eingetragen, soweit sie sich aus den Staubuntersuchungen errechnen liessen. Sie mussten in jedem Falle aus den Resultaten der Untersuchung des bereits gebildeten Staubes durch Multiplikation der (experimentell bestimmten) Staubkonzentration mit der Luftmenge, in welcher der Staub pro Zeiteinheit verteilt worden war, zurückgerechnet werden.

Für die Staubbildung beim Bohren an der Stollenbrust wurde z. B. die Luftmenge angenommen, welche in der Minute aus den Bohrern austritt. Die Stauberzeugung berechnete sich dann nach der Formel $P = n \cdot L \cdot c$, wo P die Stauberzeugung (Produktion) in g (oder mg) pro Minute, n die Anzahl Bohrer, L die pro Bohrer in der Minute austretende Luftmenge in m^3/min und c die gefundene Staubkonzentration in g (oder mg) pro m^3 bedeuten.

Bei den relativ kurz dauernden Bohrversuchen wurde als massgebende Luftmenge die Bohrerluft und der Rauminhalt der Gaszelle zusammengezählt.

In ähnlicher Weise wurde die Stauberzeugung für die übrigen Beispiele ermittelt; bei der Detailbeschreibung der einzelnen Fälle ist jeweils darauf hingewiesen worden.

Die in Tabelle IV eingetragenen Zahlen ergeben folgendes:

Bei der Bohrarbeit, wo die Kornzusammensetzung beim Nassbohren und beim Trockenbohren unwesentlich voneinander abweicht (vgl. die Kurven von Abb. 19), ist die beim Trockenbohren abgehende Staubmenge ganz beträchtlich, sie beträgt im Granit 35,5 %, beim Sandstein 12 und 13 % des staubfähigen Anteils im Bohrmehl, während beim Nassbohren die Stauberzeugung auf 0,05 (Stollen) und 0,08 bis 0,28 % (im Bohrversuch) des staubfähigen Anteiles abgefallen ist.

Bei den Schotterwerken sind die beiden Fälle A und B miteinander vergleichbar. Die aus den Sieben (Vibrationssieb in Fall A, Trommelsieb in Fall B) austretende Staubmenge beträgt 0,1 % und 0,03 % des staubfähigen Anteils im gebrochenen Schotter.

Anders liegen die Verhältnisse im Fall C, wo der Staub durch den kräftigen Luftstrom der Staubabscheideranlage direkt am Entstehungsort abgesaugt wird. Die Kornzusammensetzung des gebrochenen Schotters ist zwar nicht bekannt, dagegen zeigt die auf die Gesamtmenge des verarbeiteten Schotters berechnete Stauberzeugung den sehr hohen Wert von 0,5 % gegenüber 0,0025 und 0,025 % in den Fällen A und B.

In dem untersuchten Falle einer Gussputzerei fehlen die notwendigen Unterlagen zur Berechnung der Stauberzeugung, wie bereits S. 151 erwähnt worden ist.

Für den Staubanfall beim Sprengen geben die beiden untersuchten Fälle zu folgenden Bemerkungen Anlass:

Beim Stollenbau im Reusstal (vgl. S. 127) wurden zweimal während den Perioden nach dem Sprengen, in welchen der Ventilator auf Stollenentlüftung durch Absaugen eingestellt war, am Ausblas hinter dem Ventilator Staubproben gezogen und die Konzentration in der abgesaugten Stollenluft nach dem Sprengen bestimmt.

Es ergaben sich Staubkonzentrationen von 43 mg/m^3 (davon $8,6 < 10 \mu$) und $21 (4,2 < 10 \mu) \text{ mg/m}^3$.

Die vom Ventilator aus dem Stollen abgesaugten Luftmengen waren 340 und 450 m^3 , die hinter dem Ventilator ins Freie abgeblasenen Staubmengen also im ganzen nur 16 und 9 g . Die abgeschossene Felsmasse lag pro Attacke in der Grössenordnung von $10\text{--}12 \text{ m}^3$, war somit etwa $25\text{--}30 \text{ t}$, so dass die vermittels der Staubuntersuchung gemessene Staubmenge nur $0,6$ bzw. $0,3$, im Mittel einen halben Millionstel der beim Sprengen erzeugten Trümmer ausmachte.

Dieser Wert stellt nicht den vollen Betrag des effektiv erzeugten Staubes dar; denn es kann kein Zweifel darüber bestehen, dass durch die in ca. 20 m von der Brust angebrachte Ansaugöffnung (vgl. Abb. 1) nur ein relativ geringer Teil der Luftmasse im Stollenende angesaugt werden konnte. Ferner muss angenommen werden, dass im Ventilator ein Teil des angesaugten Staubes ausgeschleudert wird.

Interessant ist der Vergleich des geschilderten Befundes mit den Zahlen aus dem Stollenbau im Verrucano (vgl. S. 132). Dort wurde eine Stunde nach dem Sprengen im Stollen eine Konzentration von 80 mg/m^3 bestimmt (vgl. S. 136). Die Gesamtstaubmenge, die in der $13\,000 \text{ m}^3$ fassenden Kammer in dieser Zeit noch vorhanden war, betrug somit etwa 1 kg .

Die abgeschossene Felsmasse hatte ein Volumen von rund 200 m^3 bzw. ein Gewicht von ca. 500 t . Die nach einer Stunde festgestellte Staubmenge war also ungefähr 2 Millionstel dieser Masse.

Im Zeitpunkt der Probenahme, eine Stunde nach dem Sprengen, waren die gröberen Anteile aus dem ursprünglich erzeugten Staub bereits aussedimentiert, zudem war der Staub durch die vorhandene Ventilation ungefähr auf 75% der Anfangskonzentration verdünnt worden.

Der Anteil an aussedimentiertem Staub über 10μ Durchmesser konnte leicht den zehnfachen Betrag des Anteils unter 10μ ausmachen.

Den angeführten Untersuchungsergebnissen kommt durchaus nur orientierender Charakter zu; sie zeigen aber übereinstimmend, dass beim Sprengen unter den Bedingungen, wie sie anlässlich der durchgeführten Untersuchungen geherrscht haben, die Stauberzeugung nur in der Grössenordnung zwischen $0,001$ und $0,01$ Prozent der abgesprengten Felsmassen liegen kann.

Eine systematische Untersuchung über die bei Sprengungen anfallende Trümmersmasse und ihre Granulometrie (Verteilung der Stückgrössen vom grössten Block bis zu den feinsten Staubteilchen) müsste nicht nur vom Standpunkt der Staubuntersuchung, sondern auch im Hinblick auf Produktion, Transporte und Sprengstoffverbrauch das allergrösste Interesse bieten. Es wären die Einflüsse der Gesteinsart, der Ladung und des verwendeten

Sprengstoffes zu erfassen. Systematische Untersuchungen in der angedeuteten Richtung sind uns nicht bekannt; dagegen wird natürlich jeder Praktiker im Steinbruch usw. den für seine Zwecke geeignetsten Sprengstoff und die günstigsten Ladeverhältnisse durch einige Sprengversuche empirisch ermitteln.

2. Die Staubbildung

Unter Staubbildung haben wir S. 168 die Verteilung des erzeugten Staubes in die umgebende Luftmasse definiert.

Es handelt sich also um den Übergang von dem dauernd raschen Veränderungen unterworfenen bewegten System bei der Stauberzeugung in ein zwar nicht vollkommenes, aber bei kürzer dauernder Betrachtung im Gleichgewicht erscheinendes Stoffsystem, den Staub im eigentlichen Sinne.

Die Staubkonzentration, das ist die in der Volumeneinheit der Atmosphäre enthaltene Menge feinsten Partikel, ist die Grösse, welche durch die vorgenommenen Untersuchungen jeweils bestimmt wird. Während in der Praxis die Stauberzeugung aus der experimentell ermittelten Konzentration errechnet werden muss, ist es für die theoretische Betrachtung der Staubbildung zweckmässig, auf Grund allgemeiner Überlegungen umgekehrt die Staubbildung von der Stauberzeugung aus zu betrachten, wobei für die Stauberzeugung zunächst beliebige Werte eingesetzt werden können.

Der Vorgang ist, wenn wir vorerst vom Einfluss der Sedimentation der Staubteilchen absehen, ganz analog wie bei der Vermischung von Gasen und Dämpfen in der Atmosphäre¹⁰⁾.

Es sind folgende Fälle zu unterscheiden:

- a) die s p o n t a n e (explosionsartige oder in kurzer Zeit auftretende) Staubbildung (wie z. B. beim Sprengen),
- b) die k o n t i n u i e r l i c h e, über längere Zeiten konstant verlaufende Staubbildung.

In beiden Fällen unterscheidet sich die Staubbildung grundsätzlich, je nachdem sie

¹⁰⁾ Der wesentliche Unterschied zwischen der Bildung eines Gas- oder Dampfgemisches in der Luft gegenüber der Staubbildung besteht darin, dass in der Regel die ganze bei chemischen Reaktionen oder bei einer Verdampfung entstandene gasförmige Phase in die umgebende Atmosphäre übergeht und dass die Gaserzeugung durch die chemische Reaktionsgleichung oder durch die Verdampfungsgeschwindigkeit gegeben ist, ferner, dass für Dämpfe ein bestimmter, von der herrschenden Temperatur abhängiger Dampfdruck und damit eine genau definierte Sättigungskonzentration gegeben ist, während beim Staub, wie im vorangegangenen Abschnitt gezeigt worden ist, immer nur ein Teil, und zwar häufig ein sehr kleiner Teil des an sich staubfähigen Materials effektiv in die Luft übergeht und eine maximale Grenzkonzentration nicht definiert ist.

In kinetischer Betrachtungsweise kann die Stauberzeugung aus einem staubfähigen, losen Material einem Verdampfungsvorgang gleichgesetzt werden, wobei an Stelle der Moleküle die Staubteilchen und an Stelle der zugeführten Wärme die mechanische Energie des Staubbildungsvorganges treten würde.

- aa) im unbelüfteten (geschlossenen) Raum,
- bb) im belüfteten Raum, oder schliesslich
- cc) im Freien erfolgt.

Für alle Fälle lassen sich recht einfache Formeln, wie sie in der Belüftungstechnik üblich sind, anwenden, durch welche die in einer bestimmten Zeit auftretenden Konzentrationen berechnet werden können. Allerdings müssen dazu einige vereinfachende, schematische Annahmen gemacht werden, die in der Praxis nie in idealer Weise erfüllt sein werden.

- a) Beim einmaligen, spontanen Staubanfall.
- aa) Im geschlossenen, unbelüfteten Raum wird die mittlere Konzentration durch die einfache Formel

$$C = \frac{P}{V} \quad [1]$$

gegeben. C ist die Konzentration (Masse/Volumen), P die erzeugte Staubmenge (Masse), V das Raumvolumen.

- bb) Ist der Raum belüftet, so fällt die durch die Formel [1] gegebene Konzentration, die nun nur im ersten Moment vorhanden ist, als Funktion der Belüftung und der Zeit ab.

Bei der idealen Belüftung, die dadurch gekennzeichnet ist, dass die zugeführte Frischluftmenge sich relativ rasch und gleichmässig mit der staubhaltigen Raumluft vermischt, wird die zur Zeit t vorhandene Staubkonzentration C_t im Raum durch die folgende Formel [2] (Belüftungs- oder Verdünnungsformel) ausgedrückt:

$$C_t = C_0 \cdot e^{-\frac{L}{V} \cdot t} \quad [2]$$

C_0 ist die zur Zeit $t = 0$ vorhandene Konzentration, e die Basis der natürlichen Logarithmen, V das Raumvolumen, L die pro Zeiteinheit zugeführte Frischluftmenge, t die Zeit.

Die Zeit $t = 0$ kann den Zeitpunkt der Staubbildung (z. B. beim Sprengen) bedeuten, es kann aber jeder beliebige Punkt der $C(t)$ -Kurve als Anfangspunkt genommen werden, z. B. der Beginn einer Messung, für t ist dann natürlich die Zeit von der Messung an einzusetzen.

Ein Beispiel für eine derartige Rechnung findet sich S. 138, wo die Staubabnahme in der grossen Kammer im Verrucano berechnet worden ist. t_0 war in dieser Rechnung der Zeitpunkt eine Stunde nach dem Sprengen.

Für den Zustand einer «nicht idealen Belüftung», d. h. bei nicht gleichmässiger Vermischung der zugeführten Frischluft mit der Staubluft, treten Zonen rascher, kräftiger Durchlüftung mit steilem Konzentrationsabfall neben schlecht belüfteten Zonen (sogenannten Taschen) auf, wo die ursprüngliche Staubkonzentration lange bestehen bleibt bzw. nur langsam abfällt.

Bei der gleichmässigen Durchspülung eines Stollens mit Frischluft, in welchem irgendwo, aber nicht am Ende des Stollens, eine Staubwolke er-

zeugt wird, wird die staubhaltige Luftmasse, in der Praxis als «Zapfen» bezeichnet, mit der Strömung durch den Stollen abfließen, dabei an den Wänden durch die stets vorhandenen Unregelmässigkeiten verwirbelt werden, so dass die in der nachfolgenden Abb. 22 dargestellte Situation entsteht.

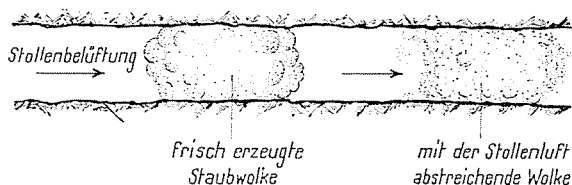


Abb. 22 Verlagerung einer Staubwolke mit der Stollenbelüftung ohne wesentliche Konzentrationsabnahme.

Die Konzentration im Kern der Staubwolke wird nur ganz langsam abnehmen.

cc) Im Freien wird eine entstandene Staubwolke durch die bewegten Luftmassen der Umgebung erfasst, verwirbelt und mit dem herrschenden Wind über das Gelände abgetrieben. Es entsteht dabei eine relativ rasche Verdünnung.

b) Bei kontinuierlicher Stauberzeugung nimmt die Staubkonzentration

aa) im unbelüfteten Raum proportional der Zeit zu.

$$C_t = \frac{p \cdot t}{V} \quad [3]$$

p ist die pro Zeiteinheit erzeugte Staubmenge, die übrigen Zeichen sind bekannt.

bb) Im gleichmässig belüfteten Raum ist die Staubkonzentration dadurch gekennzeichnet, dass sie zunächst nahezu gleich stark ansteigt wie im unbelüfteten Raum, dann in immer schwächerer Masse zunimmt und sich schliesslich einem konstanten Wert nähert. Das Gleichgewicht ist dann erreicht, wenn mit der Abluft gleich viel Staub weggeführt wird, wie durch die Stauberzeugung neu in den Raum hineinkommt.

Theoretisch ist dieses Gleichgewicht zwar erst nach unendlich langer Zeit eingestellt; in der Praxis ist indessen bei kräftigen Belüftungen eine sehr gute Annäherung relativ rasch erreicht.

Die Gesetzmässigkeit ist durch die folgende Formel ausgedrückt:

$$C_t = \frac{p}{L} \left(1 - e^{-\frac{L}{V} \cdot t} \right) \quad [4]$$

Die Zeichen haben die gleiche Bedeutung wie in den vorangegangenen Formeln [1—3]¹¹⁾.

¹¹⁾ Bei der praktischen Anwendung der Formel ist darauf zu achten, dass für p , L und t die gleichen Zeiteinheiten eingesetzt werden!

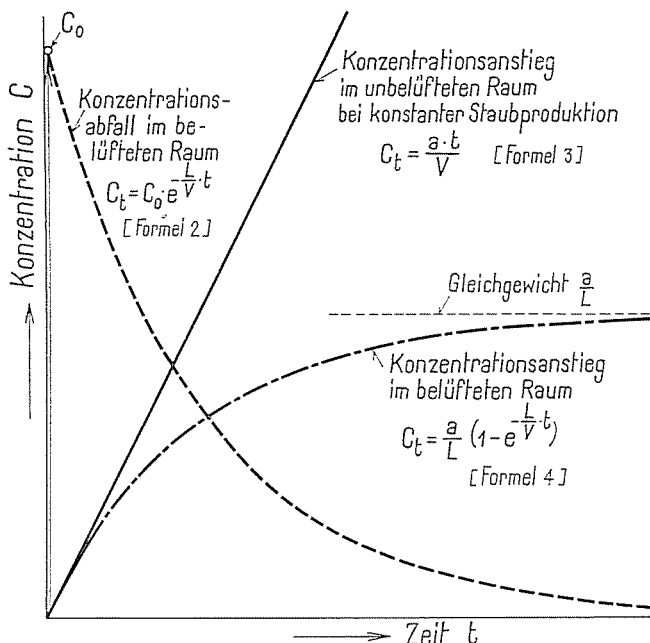


Abb. 23 Schematische Darstellung der Konzentrationsveränderungen unter verschiedenen Bedingungen.

In Abb. 23 ist der Konzentrationsverlauf für die verschiedenen Bedingungen der Formeln [2—4] graphisch dargestellt.

Von Bedeutung ist die Tatsache, dass in vielen Stollenbauten die Belüftung im Verhältnis zum Rauminhalt des belüfteten Stollensystems ausserordentlich gering ist. In den beiden S. 127 u. 132 angeführten Fällen war die Belüftung derart, dass die ganze Stollenluft in 1,5 und in 3 Stunden ein mal umgesetzt (umgewälzt) war, während in ventilierten Räumen der Industrie eine mehrfache Luftumwälzung pro Stunde die Regel bildet.

Bei längerem, kontinuierlichem Betrieb nähert sich die Staubkonzentration, wie die Formel [4] für die Bedingung $t = \infty$ zeigt, der Gleichgewichtskonzentration, d. h. dem Wert $C_{(t = \infty)} = \frac{p}{L}$, wird also vom Rauminhalt unabhängig.

Je grösser der Raum bei «idealem» Belüftungsverhältnis ist, um so länger dauert es, bis der Gleichgewichtszustand in erster Annäherung erreicht ist.

Die Gleichgewichtskonzentration kann lokal relativ rasch erreicht werden, wenn der anfallende Staub sofort in der zugeführten Frischluft verwirbelt und abtransportiert wird. Dies ist z. B. der Fall an der unbelüfteten Stollenbrust, wo der Bohrstaub in der beim Bohrer austretenden Luft vermischt wird und dann langsam, im ganzen Stollenquerschnitt verteilt,

abfließt. Die Konzentration wird dann sehr rasch p/L_B , wenn mit L_B die beim Bohrer austretende Luftmenge bezeichnet wird.

- cc) Die Staubbildung im Freien ist durch die Bildung eines Staubschwadens gekennzeichnet, der mit dem Winde abgetrieben wird. Die Verhältnisse sind im Abschnitt II, S. 141, eingehend besprochen.

3. Das Verhalten des gebildeten Staubes

Die Überlegungen im vorangehenden Abschnitt 2 wurden unter der ausdrücklichen Voraussetzung durchgeführt, dass der Einfluss der Sedimentation der Staubteilchen zunächst nicht berücksichtigt werde; sie gelten also nur für sehr feine Staubfraktionen, deren Teilchen praktisch keine ins Gewicht fallende Sedimentationsgeschwindigkeiten aufweisen.

In allen natürlichen Stäuben spielt die Sedimentation der Teilchen eine entscheidende, für die Einstellung der Staubkonzentration massgebende Rolle, da alle Teilchen mit der von ihrer Korngrösse abhängigen Fallgeschwindigkeit aus dem Raum aussedimentieren. Die Verhältnisse sind in unserer früheren Arbeit (1/II) ausführlich beschrieben worden und benötigen an sich keiner Ergänzung mehr.

Dagegen soll an dieser Stelle die Frage geprüft werden, in welcher Weise die im vorangegangenen Abschnitt besprochene Abhängigkeit der Staubkonzentration von der Belüftung von den Sedimentationserscheinungen überlagert wird und unter welchen Bedingungen der eine oder der andere Faktor ausschlaggebend wird.

Während die Belüftungsgesetze die Sedimentation nicht berücksichtigen und die Konzentration durch Staubanfall, Rauminhalt, Belüftung und Zeit geben, sind die Konzentrationsänderungen infolge der Sedimentation von den Fallzeiten, also von der Fallgeschwindigkeit und der Raumhöhe und von der Zeit abhängig. Da die Fallgeschwindigkeit eine Funktion der Teilchengrösse ist, müssen die Gesetzmässigkeiten zunächst an den einzelnen Fraktionen gleicher Korngrössen untersucht werden.

Die Veränderung der Konzentration bei kontinuierlichem Staubanfall im nicht belüfteten Raum ist durch die folgenden Formeln gegeben (vgl. auch S. 25 unserer früheren Arbeit [1/II]).

Solange der Gleichgewichtszustand noch nicht erreicht ist, d. h. solange noch mehr Staub anfällt als infolge der Sedimentation aus dem Raum verschwindet, ist die Staubkonzentration für die Kornfraktion mit dem Radius r

$$C_m = \frac{p \cdot t}{V} \left(1 - \frac{1}{2} \frac{v_r}{H} t \right) \quad [5]$$

wo C_m die mittlere Konzentration im ganzen Raum für die betrachtete Kornfraktion mit dem Radius r ist, p der Staubanfall, d. h. die Menge der betrachte-

ten Fraktion pro Zeiteinheit, t die Zeit, V das Raumvolumen, v_r die Fallgeschwindigkeit des Teilchens mit dem Radius r , H die Raumhöhe.

Für die Zeit $t > \frac{H}{v_r}$, d. h. nach der Zeit, in welcher das Teilchen mit dem Radius r die ganze Raumhöhe H durchfallen hat, ist das Gleichgewicht erreicht, die Konzentration bleibt (in bezug auf die betrachtete Kornfraktion) konstant:

$$C_m = \frac{1}{2} \frac{V}{p} \cdot \frac{H}{v_r} \quad [6]$$

Für jede Kornfraktion erhält man also eine Zeit $\frac{H}{v_r}$, nach welcher das Gleichgewicht erreicht ist.

Eine Zusammenfassung der Sedimentationsformeln mit den Belüftungsformeln, d. h. eine theoretische Berechnung der Konzentration, wenn beide Einflüsse zusammenwirken, ist nicht vollkommen einwandfrei, weil die für die Gültigkeit der Formeln aufgestellten Bedingungen einander ausschliessen. Für die Gültigkeit der Sedimentationsformel einerseits ist vollkommen ruhige Luft im betrachteten Raum Voraussetzung, wobei von oben nach unten eine Konzentrationszunahme von 0 auf $2 C_m$ angenommen werden muss, während die Belüftungsformeln auf der Bedingung «einer raschen, gleichmässigen Durchmischung der zugeführten Frischluft mit der Raumluft» basieren.

In Tabelle V sind nun die Konzentrationen für eine gegebene Situation, die sich aus den Sedimentationsformeln einerseits für verschiedene Korngrössen berechnen und die Konzentrationen, die ohne Sedimentationseffekt nur durch die Belüftung erreicht würden, zusammengestellt.

Tabelle V Vergleich des Einflusses der Sedimentation und der Belüftung auf die Staubkonzentration

Es wird ein Beispiel im Raum von $V = 100 \text{ m}^3$ Rauminhalt und 3 m Raumhöhe (H) betrachtet, in welchem ein kontinuierlicher Staubanfall a von je 1 g Staub pro Minute in jeder der betrachteten Kornfraktion anfallt:

a) Ohne Sedimentation und ohne Belüftung

würde für jede Fraktion die Konzentration $C = \frac{a \cdot t}{V}$

| Nach $t =$ | 15 min | 30 min | 60 min | 2 h | 4 h | 8 h |
|---|--------|--------|--------|------|------|------|
| Konzentration in mg/m^3 | 150 | 300 | 600 | 1200 | 2400 | 4800 |

b) Der Einfluss der Sedimentation:

Infolge der Sedimentation wird für jede Fraktion nach der Zeit $\frac{H}{v_r}$ ein Gleichgewicht und damit eine konstante Konzentration erreicht; $C = \frac{1}{2} \frac{a}{V} \frac{H}{v_r}$

| Für die Korngrösse ($2r$ in μ) | 100 | 50 | 10 | 5 | 2 | 1 |
|--|---------|----------|----------|--------|-----------|-----------|
| beträgt die Fallgeschwindigkeit v_r in cm/Sek. | ~ 50 | 20 | 0,8 | 0,2 | 0,036 | 0,01 |
| der Gleichgewichtszustand ist erreicht nach der Zeit $H/v_r =$ | 0,1 min | 0,25 min | 6,25 min | 25 min | 2h 20 min | 8h 20 min |
| die Konzentration bleibt konstant auf mg/m^3 | 0,5 | 1,25 | 31 | 125 | 700 | 2500 |

c) Die Wirkung der Belüftung

α) Bei einer Belüftung von $L = 0,5 \text{ m}^3/\text{min}$ ($30 \text{ m}^3/\text{h}$) würde die Staubkonzentration ohne Einwirkung der Sedimentation in allen Fraktionen sich dem Wert $\frac{a}{L} = 2000 \text{ mg/m}^3$ annähern;

| Nach den oben angegebenen Zeiten H/v_r würde für die Fraktion $\mu \text{ } \circ$ | 100 | 50 | 10 | 5 | 2 | 1 |
|--|-----|------|----|-----|------|------|
| folgende Konzentration erreicht mg/m^3 | 1 | 2,5 | 60 | 240 | 1000 | 1840 |
| bei der Einwirkung der Belüftung und der Sedimentation würde erreicht $C = \frac{a}{\left(2 \frac{V}{H} v_r + L\right)} \text{ mg/m}^3$ | 0,5 | 1,25 | 31 | 118 | 515 | 1100 |
| β) bei $L = 2 \text{ m}^3/\text{min}$ ($120 \text{ m}^3/\text{h}$), $a/L = 500 \text{ mg/m}^3$ ohne Sedimentation nach $t = H/v_r$ | 1 | 2,5 | 55 | 195 | 470 | 500 |
| bei Einwirkung beider Einflüsse mg/m^3 | 0,5 | 1,25 | 29 | 100 | 290 | 416 |
| γ) bei $L = 4 \text{ m}^3/\text{min}$ ($240 \text{ m}^3/\text{h}$), $a/L = 250 \text{ mg/m}^3$ ohne Sedimentation nach $t = H/v_r$ | 1 | 2,5 | 55 | 158 | 249 | 250 |
| bei Einwirkung beider Einflüsse mg/m^3 | 0,5 | 1,25 | 28 | 83 | 184 | 228 |

Ferner sind die Endkonzentrationen angegeben, die sich bei der gleichzeitigen Einwirkung beider Effekte ergeben würden, wenn sie sich gegenseitig nicht stören würden¹²⁾).

In Abb. 24 sind einige der Zahlen aus Tabelle V graphisch zur Darstellung gebracht.

Aus der Tabelle und aus den Kurven von Abb. 24 lässt sich folgendes erkennen:

1. Die Korngrößen über 10 μ Durchmesser durchfallen den 3 m hohen Raum innert Minuten, die grösseren Partikel innert Bruchteilen von Minuten und führen bei kontinuierlichem Staubanfall zu konstanten Konzentrationen, die im Vergleich zur anfallenden Staubmenge ausserordentlich gering sind.
2. Der Einfluss der Belüftung ist für die groben Staubfraktionen von geringer Bedeutung. Unter den angenommenen Bedingungen erreicht die endgültige Staubkonzentration der Fraktion von 10 μ Durchmesser bei einer Belüftung von 4 m³/min im 100 m³ grossen Raum (4,8fache Luftumwälzung pro Stunde) einen um 10 % kleineren Wert als ohne Belüftung.
3. Der Effekt der Belüftung beginnt sich erst auf die Fraktionen unter 10 μ Durchmesser auszuwirken; er nimmt mit abnehmender Korngrösse deutlich zu und fällt dann erst bei den Fraktionen von 2 und 1 μ Durchmesser entscheidend ins Gewicht.
4. Die oben (Ziffer 2 und 3) mitgeteilten Zahlen sind die «theoretischen Konzentrationswerte», die sich ergeben würden, wenn die Sedimentation durch die Belüftung nicht gestört würde. Dies ist in der Praxis nicht der Fall. Je kräftiger die Ventilation, um so stärker muss sich die Störung geltend machen. Die «ideale Belüftung», welche eine rasche und gleichmässige Durchmischung der zugeführten Frischluft voraussetzt, wird also eine Verzögerung der Sedimentation zur Folge haben; die Konzentrationen der mittelfeinen und gröberen Anteile werden ständig etwas

¹²⁾ Die Endkonzentrationen können berechnet werden, wenn man für den Gleichgewichtszustand folgende Formel anwendet:

$$C_m = \frac{p}{\left(2 \frac{V}{H} v_r + L\right)} \quad [7]$$

Es wird für die Formel von der Endbedingung ausgegangen, dass durch die Belüftung und durch die Sedimentation zusammen gerade soviel Staub aus dem Raum verschwindet, wie neu erzeugt wird,

$$p = 2 C_m \frac{V}{H} \cdot v_r + C_m L \quad [8]$$

C_m ist die mittlere Staubkonzentration im Raum, die in der Sedimentationsformel nur in der mittleren Raumböhe herrscht, während unten die doppelte Konzentration vorhanden ist. v_r , die Fallgeschwindigkeit des Teilchens von Radius r , muss mit den gleichen Längen und Zeiteinheiten wie die übrigen Grössen eingesetzt werden, für unser in Tabelle V gerechnetes Beispiel, also in m/min; die übrigen Zeichen sind bekannt.

größer bleiben als die Werte, die sich aus der schematischen Rechnung ergeben.

Bei den feinen Fraktionen kommt die Belüftung auf alle Fälle voll zur Auswirkung, während die nur in geringem Masse vorhandene zusätzliche Verminderung der Konzentration durch die Sedimentation teilweise oder auch ganz wegfällt.

In vielen Fällen der Praxis wird es möglich sein, die Belüftungsanlage in der Weise anzuordnen, dass die Sedimentation durch die Luftströmung nicht ge-

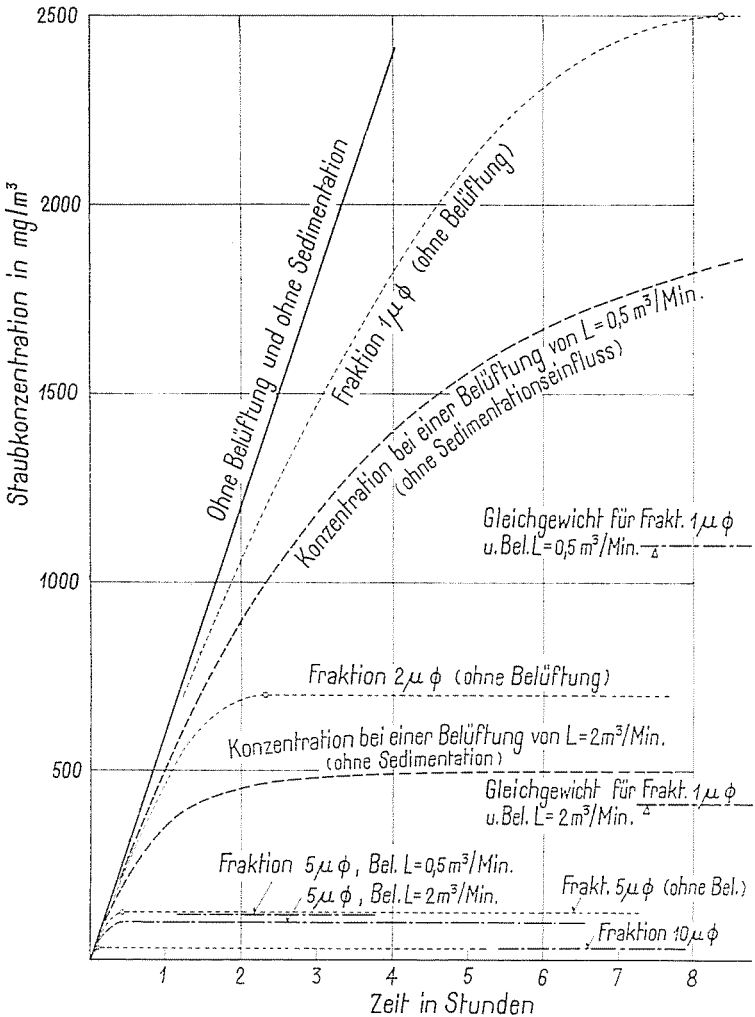


Abb. 24 Verlauf der Konzentrationsänderungen mit der Zeit unter verschiedenen Bedingungen bei einem konstanten Staubeinfall a von 1g pro Minute im 100m^3 fassenden Raum von 3m Höhe.

stört wird. Dies ist grundsätzlich in einfacher Weise möglich, wenn die Staubluft unten abgesaugt wird und die Frischluft in oberen Teile des Raumes wirbellos einfließen kann. Eine derartige Anordnung wird in Gebäuden häufig ohne Schwierigkeiten durchführbar sein, während sie in Stollenanlagen nicht ohne weiteres anwendbar ist.

V. Zusammenfassung und Schlussfolgerungen

1. Im I. Kapitel wurde über das Ziel unserer Untersuchungen orientiert; es sollten aus den experimentell ermittelten Resultaten der Staubuntersuchungen und aus der Aufnahme der Betriebsbedingungen die Zusammenhänge zwischen den Betriebsbedingungen und der Staubbildung erfasst werden.

2. Im II. Kapitel werden die Resultate der Untersuchungen in einer grösseren Anzahl technischer Betriebe und im III. Kapitel die Ergebnisse der laboratoriumsmässig durchgeführten Bohrversuche mitgeteilt.

3. Im IV. Kapitel werden die Vorgänge, die zur Staubbildung führen und das Verhalten des gebildeten Staubes im Verlaufe der Zeit etwas eingehender analysiert.

Die Resultate, die sich aus den allgemeinen theoretischen Überlegungen ergeben, können an Hand der experimentell festgestellten Zahlen, welchen der Charakter von Stichproben zukommt, kontrolliert und belegt werden.

4. Zusammenfassend lassen sich die Ergebnisse unserer Untersuchung folgendermassen formulieren:

Die Bildung von Staub, d. h. das Austreten von Mineralpartikeln mit Korngrössen unter 100μ in die Atmosphäre wird beobachtet, wenn festes Material zertrümmert (mechanisch zerkleinert) oder an sich loses Material bewegt wird, wobei es sich sowohl um die Neubildung feiner staubförmiger Anteile als auch lediglich um das Aufwirbeln bereits vorhandener feiner Teilchen handeln kann.

Als eine massgebende Grösse für die Staubbildung wurde der Begriff der Stauberzeugung oder Staubproduktion geprägt, welche als die Masse (ausgedrückt als Gewicht, technische Masse) definiert ist, die pro Zeiteinheit in den Staubzustand übergeht, bei der einmaligen spontanen Staubbildung (z. B. beim Sprengen), die Masse, die im Zeitmoment (Δt) in die Luft austritt.

Die Stauberzeugung hat also definitionsgemäss die Dimension einer Masse/Zeit; es kommt dadurch zum Ausdruck, dass zunächst das Luftvolumen, in welchem sich der erzeugte Staub verteilt, nicht berücksichtigt wird. Die (vorläufige) Beschränkung der Betrachtung auf diese Grösse ist deswegen notwendig, weil die Stauberzeugung unter bestimmten Betriebsbedingungen eine gegebene Grösse darstellt, wobei dann aber der sich bildende Staub im weiteren durchaus von den Raum- und Belüftungsbedingungen abhängig ist, also zu ganz verschiedenen Staubzuständen führen kann.

Die Stauberzeugung ist eine Funktion der Gesamtmenge des erzeugten, verarbeiteten oder auch nur transportierten losen Materials, deren Kornzusammensetzung (Granulometrie), und der bei ihrer Erzeugung, Bearbeitung oder Transport beteiligten Kräfte und Massenbewegungen (Bewegungen der losen Massen und der unmittelbar umgebenden Luftmassen), ferner ist sie von den räumlichen Bedingungen, unter welchen sich die Vorgänge abspielen, abhängig. Formelmässig ist die Stauberzeugung nicht zu erfassen; dagegen können qualitativ folgende Zusammenhänge erkannt werden:

Die Stauberzeugung muss in erster Annäherung beim gleichen Material und unter sonst gleichen Betriebsbedingungen der Gesamtmenge der erzeugten (bearbeiteten) losen Masse proportional sein. Von den in einem losen Material (Bohrstaub, Schotter, abgesprengte Felsmasse usw.) enthaltenen feinen Partikeln (Korn unter 100μ Durchmesser), die an sich infolge ihrer Grösse zur Staubbildung befähigt wären, geht immer nur ein Teil, häufig ein kleiner Bruchteil von Prozenten, als Staub in die Luft. Am schwierigsten zu erfassen sind das Kräftespiel und die Bewegungsabläufe, die zur eigentlichen Stauberzeugung führen. Sie sind bei jedem Staubbildungsvorgang verschieden und müssten für eine genauere Analyse von Fall zu Fall in den Einzelvorgängen untersucht werden.

Infolge der verschiedenen Bedingungen kommt es zu den ausserordentlich grossen Unterschieden in der Stauberzeugung, wie sie in Tabelle IV (im IV. Kapitel, S. 172) zusammengestellt sind.

Als wesentliche Ergebnisse können zusammengefasst werden:

Beim **Trockenbohren**, wo die Erzeugung des losen Materials in der Grössenordnung um 200 g Bohrmehl pro Minute liegt, beträgt die Stauberzeugung pro Bohrer mehrere Gramm pro Minute, während beim **Nassbohren** bei ungefähr gleicher Bohrmehlproduktion nur einige Hundertstelgramm Staub pro Minute in die Luft austreten.

Bei den **Schotterwerken**, wo eine Materialmenge in der Grössenordnung von 100 kg/min gebrochen und gesiebt wird, ist die Stauberzeugung 2—25 g/min, bei einem untersuchten Grossbetrieb mit einer Verarbeitung von 1 t Schotter pro Minute gehen 5 kg Staub pro Minute in den Staubabscheider.

Beim **Sprengen im Fels**, wo pro Sprengung 25 bzw. 200 t Fels-trümmer erzeugt wurden, konnte aus den Staubuntersuchungen (welche den Staub erst nach einem längeren Transportweg bzw. erst längere Zeit nach den Sprengungen erfasst hatten) eine Staubproduktion in der Grössenordnung von 0,001—0,01 % der abgeschossenen Felsmasse geschätzt werden.

Die Zusammenstellung zeigt, dass das Zahlenmaterial durch weitere Untersuchungen vervollständigt werden muss.

Die **eigentliche Staubbildung**, d. h. die Verteilung des erzeugten Staubes in der Luft, wo es nun zur Bildung des quasistationären Zustandes, des Staubes im eigentlichen Sinne kommt, ist von den Raumverhältnissen und den darin herrschenden Luftbewegungen abhängig.

Wenn die Stauberzeugung und der Inhalt des Raumes, in welchem der Staub erzeugt wird, sowie die im Raume herrschenden Luftbewegungen, d. h. die Belüftungsverhältnisse, bekannt sind, so lassen sich die Staubkonzentrationen, die auftreten müssen, berechnen.

Es wurden im IV. Kapitel die Möglichkeiten der Berechnung der Konzentrationsverhältnisse als Funktion der Stauberzeugung, der Raum- und Belüftungsverhältnisse und der Zeit gegeben, wobei zunächst vom Einfluss der Sedimentation der Staubteilchen abgesehen wurde.

Im letzten Abschnitt des Kapitels wurde der Einfluss der Sedimentation, wie er bereits in unserer früheren Arbeit (I/II) beschrieben worden ist, in Konkurrenz mit der Belüftung untersucht.

Es zeigt sich — im besonderen für den Fall einer kontinuierlichen Stauberzeugung untersucht —, dass in bezug auf die groben Teilchen über 10μ die Sedimentation für die sich einstellende Konzentration entscheidend ist und dass die Belüftung praktisch nicht ins Gewicht fällt. Erst bei den langsamer fallenden Teilchen unter 10μ Durchmesser beginnt sich die Belüftung auszuwirken, ihr Einfluss nimmt mit abnehmender Teilchengröße zu und wird für die feinsten Teilchen unter 2μ massgebend, indem nun die Sedimentation keine Rolle mehr spielt.

5. Schlussfolgerungen für die Praxis der Staubbekämpfung. Jede Staubbekämpfungsmassnahme muss die Herabsetzung der Staubkonzentration in der Atemluft anstreben, wobei für die Silikosebekämpfung im besonderen die feinen und feinsten Teilchen erfasst werden müssen.

Jede Massnahme, die vorgeschlagen wird, ist auf ihre Wirksamkeit und auf ihre technische Durchführbarkeit zu prüfen, ferner muss jede Massnahme wirtschaftlich tragbar sein.

Es seien im folgenden die einzelnen an der Staubbildung beteiligten Faktoren unter dem Gesichtspunkt der Staubbekämpfung kurz betrachtet:

a) Die Gesamtmenge der erzeugten, verarbeiteten oder transportierten losen Massen wird ganz allgemein mit der technischen Entwicklung der Betriebe eine deutliche Tendenz zur Steigerung aufweisen. Es wird überall das Bestreben vorhanden sein, die Leistungsfähigkeit der bestehenden Anlagen zu verbessern; es werden leistungsfähigere Bohrer und Bohrmaschinen mit mehreren Bohrern (Dschumbo) angewandt, dementsprechend wird mehr Fels herausgesprengt, gebaggert und transportiert; bei den Schotterwerken und auch in andern produzierenden Betrieben wird die Tendenz zur Erhöhung der Produktion bestehen.

Die Intensivierung der mechanischen Arbeit und die Erhöhung der Produktion wird die Stauberzeugung ebenfalls vermehren, wenn nicht gleichzeitig die Staubbekämpfung mindestens in gleichem Masse intensiviert wird.

Die allgemeine Situation zwingt dazu, die Staubbekämpfung theoretisch weiter zu verfolgen und vor allem in der Praxis vermehrt anzuwenden.

b) Die Vorgänge bei der Stauberzeugung können häufig in der Weise beeinflusst werden, dass der Staubanfall in die Aussenatmosphäre

(Atemluft), trotz einer grossen Produktion an sich staubfähigen Materials, gering bleibt.

In ausgezeichnetem Masse ist das der Fall, wenn die Zerkleinerung des groben Materials unter Wasser vorgenommen werden kann oder wenn bei der Bearbeitung von bereits losem Material dasselbe feucht oder nass gehalten wird. Die Ergebnisse der Staubuntersuchungen bei Nass- und Trockenbohren zeigen den Effekt eindeutig.

Auch bei einem relativ geringen Feuchtigkeitsgehalt in losen Massen ist die Staubbildung bei der mechanischen Bearbeitung weitgehend herabgesetzt. Die feinsten Teilchen haften am größeren Korn und gehen nicht in die Luft.

Das Besprengen von losem Material mit einem Wasserstrahl, bevor es bearbeitet oder verlagert (gebaggert usw.) wird, erscheint uns eine so einfache, zweckmässige und billige Massnahme, dass es grundsätzlich überall da, wo es die Betriebsbedingungen erlauben, gefordert werden kann. Merkwürdigerweise wird diese einfachste aller Staubbekämpfungsmassnahmen bei uns — im Gegensatz zu den USA — recht selten angetroffen.

Das Absaugen des staubfähigen Materials vor dem Austritt in den Raum erfordert immer besondere Anlagen. Die Stelle, wo das staubfähige Material entsteht oder rasch bewegt wird, muss vom übrigen Raum abgetrennt und an eine kräftige Luftabsaugleitung angeschlossen werden.

Die Bedingungen, die dabei auftreten, sind dann meistens so, dass eine wesentlich grössere Staubmenge abgesaugt wird, als ohne Absaugung in den Raum austreten würde.

In der Regel wird an die Staubabsauganlage ein Staubabscheider angeschlossen werden müssen, bevor die Abluft ins Freie abgeblasen werden darf. Eine Verwendung der Abluft nach dem Abscheider zur Raumbelüftung (Kreislauf, sog. Luftumwälzung) ist nur dann zulässig, wenn der Staubabscheider eine weitgehende Abscheidung auch der feinsten Staubanteile gewährleistet.

c) Nachdem eine bestimmte Staubzeugung unter bestimmten Bedingungen einmal gegeben ist, kommt es zur eigentlichen Staubbildung im Raum.

Diese ist, wie oben gezeigt wurde, von der Raumgrösse und den darin herrschenden Luftbewegungen abhängig.

Im geschlossenen Raum werden immer, sofern keine Belüftung vorhanden ist, recht hohe Staubkonzentrationen auftreten. Je kleiner der Raum, um so schlimmer werden die Verhältnisse.

Der Einfluss der Belüftung ist ausführlich dargetan worden. Die Belüftung ist diejenige Massnahme, durch welche der Staubzustand bei einer gegebenen Stauberzeugung allein noch reguliert werden kann¹³⁾.

¹³⁾ Wir sehen hier von der Möglichkeit ab, den Staub durch einen feinen Wassersprühregen niederzuschlagen, wie es gelegentlich vorgeschlagen wird. Nach Untersuchungen der Bureau of Mines (Pittsburgh PA) (10) sind die Ergebnisse mit feinen Strahldüsen auffallend günstig. Das Verfahren kann für besondere Fälle durchaus in Frage kommen und verdient Beachtung.

Grundsätzlich muss die Forderung gestellt werden, dass alle Räume, in welchen Staub erzeugt wird oder anfällt, zu belüften seien.

Die sog. « natürliche Belüftung » durch Offenhalten der Fenster oder durch eigens dazu angebrachte Belüftungsöffnungen ist schwer zu kontrollieren und bei ungünstigen Witterungsbedingungen nicht regulierbar.

In industriellen Betrieben von einigem Ausmass ist die Erstellung von motorisch betriebenen Belüftungsanlagen nicht zu umgehen.

d) Die Anforderungen an die Belüftung. Die Grösse einer Belüftungsanlage ist in erster Linie durch die Stauberzeugung bedingt¹⁴⁾; die Raumgrösse spielt eine untergeordnete Rolle. Die endgültige Gleichgewichtskonzentration im Raum mit kontinuierlichem Staubanfall ist durch die Grösse a/L (d. i. die pro Zeiteinheit erzeugte Staubmenge a durch die in der gleichen Zeiteinheit wegtransportierte Luftmenge L) gegeben. Voraussetzung für die Gültigkeit dieser Beziehung ist allerdings die richtige Anordnung der Frischluftzuführungen.

Das in der Praxis geübte Verfahren, die Belüftung nach der in einem Betrieb eingesetzten Anzahl Arbeitskräfte zu bemessen, ist grundsätzlich falsch und hat nur insofern einen Sinn, als die Stauberzeugung unter sonst gleichbleibenden Bedingungen der Anzahl der eingesetzten Arbeitskräfte in erster Annäherung proportional gehen wird. Bei einer Veränderung der Arbeitsbedingungen (z. B. bei der Einführung leistungsfähigerer Maschinen, bei welchen womöglich noch Arbeitskräfte eingespart werden) müsste dann der Grundansatz abgeändert werden.

Es stellt sich an die Belüftung — wie natürlich auch an die übrigen Staubbekämpfungsmassnahmen — die prinzipielle Forderung, die Staubkonzentration dauernd unterhalb der für die Silikose kritischen Grenze zu halten.

Als kritische Grenze muss diejenige Staubkonzentration bezeichnet werden, die auch auf die Dauer, d. h. bei einem täglichen Aufenthalt von 8 bis 10 Stunden eingeatmet, zu keinen ernsthaften Schädigungen führt. Die Festlegung dieser Grenze ist grundsätzlich Aufgabe der Medizin.

Nun ist es aber so, dass aus dem ungeheuren Material der medizinischen Literatur und aus den Akten der SUVA genaue Angaben über die Konzentrationen der Staubmilieus, in welchen die von medizinischer Seite registrierten Silikosen erworben worden sind, praktisch vollkommen fehlen, trotzdem die Zahl der untersuchten Fälle auf der ganzen Welt in die Hunderttausend geht.

¹⁴⁾ Andere Quellen der Luftverunreinigungen, wie etwa Dieselmotoren im Stollenbau usw., stehen hier nicht zur Diskussion. Selbstverständlich ist jede Belüftungsanlage im Einzelfall unter Berücksichtigung aller Quellen, die zur Luftverunreinigung führen, zu rechnen und dabei die schädlichste Komponente als massgebend zu betrachten (z. B. der CO-Anfall bei Benzinmotoren).

Es sei aus diesem Grunde den Technikern gestattet, in einem letzten Abschnitt der vorliegenden Arbeit, auf Grund des eigenen Untersuchungsmaterials einen Beitrag an diese Frage zu leisten.

6. Die Beurteilung der Silikosegefährlichkeit einer Staubkonzentration. In unserer früheren Arbeit (I/II) haben wir als Maßstab für die Beurteilung der Silikosegefährlichkeit eines Staubes die Kieselsäuremenge im Staubanteil unter $10\ \mu$ Durchmesser angenommen. Die Frage, ob es auf den Gesamtkieselsäuregehalt oder nur auf die Menge der freien Kieselsäure (Quarz, Tridymit, Cristobalit, amorphe Kieselsäuremodifikationen) ankomme, ist seinerzeit offen gelassen worden, ebenso die Frage nach dem allfälligen Einfluss der andern Staubkomponenten.

Die in der Folge gemeinsam mit RÜTTNER durchgeführten Untersuchungen (5) über die Kornverteilung der aus Lungen verstorbener Silikotiker isolierten Staubproben ergaben in allen bis jetzt untersuchten Fällen immer nur einen sehr kleinen Anteil an Korn über $10\ \mu$ Durchmesser im Betrage von wenigen Prozenten des in den Lungen abgelagerten Staubes. Es zeigte sich, dass das Maximum der Kornverteilungskurven im abgelagerten Staub um $1\ \mu$ Korndurchmesser liegt und dass der «relative Abscheidungsgrad» in der Lunge für die verschiedenen Korngrößen in den Betriebsstäuben erst unter $1\ \mu$ Durchmesser ein Maximum erreicht.

Die als kritische Korngrösse angenommene Grenze von $10\ \mu$ stellt gerade ungefähr die oberste Korngrösse dar, welche mit einem nur sehr geringen relativen Anteil in der Lunge überhaupt abgelagert wird. Man könnte sich fragen, ob nicht richtiger eine feinere Korngrösse als kritische Grösse zu wählen sei.

Wir halten es aus praktischen Gründen für zweckmässiger, vorläufig für die Beurteilung eines Betriebsstaubes bei der Korngrösse von $10\ \mu$ zu bleiben.

In bezug auf die Rolle der Kieselsäure scheint sich mehr und mehr die Ansicht durchzusetzen, dass dem Quarz an erster Stelle und ohne jeden Zweifel eine entscheidende Wirkung zugeschrieben werden müsse, während die Wirkung der gebundenen Kieselsäure sehr umstritten ist und ihre Schädlichkeit von den meisten Autoren als sehr viel geringer als beim Quarz angenommen oder überhaupt negiert wird. Auch in der «Silikoseverordnung» vom 3. September 1948 sind die Massnahmen zur Verhütung und Bekämpfung der Silikose anzuwenden, «sofern die Materialien oder der Staub unter den Festbestandteilen mehr als 10 % Quarz enthalten . . .». Es ist also nur vom Quarz die Rede.

Im deutschen Silikoseatlas (7) wird bei der Bewertung der Mineralien auf ihre Silikoseschädlichkeit dem Quarz das Gewicht 1 zugemessen, während für die Silikate kleinere Werte (für Feldspat 0,7, für Serizit [je nach der «Vergesellschaftung» mit Quarz!] 0,3—0,7 und für Ton 0,2) eingesetzt werden.

Wir halten es für die in den technischen Betrieben und insbesondere auf unsern Baustellen vorherrschenden Mischstäube von Quarz und Sili-

katen wiederum aus praktischen Gründen für einfacher, den aus der petrographisch-mineralogischen Untersuchung resultierenden Quarzgehalt als massgebende Grösse in die Bewertung einzusetzen.

Es soll nun untersucht werden, ob sich Beziehungen zwischen den Resultaten unserer Staubuntersuchungen und den verschiedenen medizinischen Befunden erkennen lassen.

Eine erste Gruppe lässt sich mit Sicherheit aussondern. Die Staubbedingungen, wie wir sie anlässlich der Bohrversuche beim Trockenbohren ohne Belüftung festgestellt haben, entsprechen den Zuständen, wie sie beim Festungsbau zu den Fällen geführt haben, die F. LANG als sog. «akute Silikosen» beschrieben hat (8).

Die Staubbedingungen sind durch enorm hohe Konzentrationen von mehreren hundert Milligramm Feinstaub (Anteile unter 10μ) pro Kubikmeter gekennzeichnet, der Quarzgehalt in den von LANG beschriebenen Fällen schwankte zwischen 20 und 50 %.

Der Verlauf der Silikosen, über deren Einzelheiten die Originalarbeit (8) Aufschluss gibt, führte in vielen Fällen bei Expositionszeiten von nur $\frac{3}{4}$ bis 3 Jahren innert 5—8 Jahren zum Tode, und zwar auch bei sehr jungen Mineuren, die vorher nicht während längerer Zeiten unter andern Bedingungen dem Staub ausgesetzt gewesen sein konnten.

Für den grössten Teil der übrigen von der SUVA festgestellten Silikosen bei Mineuren sind die Betriebsbedingungen unbekannt. Zweifellos haben alle in verschiedenen Betrieben unter stark wechselnden Staubbedingungen gearbeitet.

Wenn man annimmt, dass der grösste Teil dieser Mineure teils im belüfteten Stollen trocken gebohrt haben, teils auf moderner eingerichteten Baustellen mit Nassbohren beschäftigt waren, so müssten die durchschnittlichen Staubkonzentrationen innerhalb des sehr weiten Bereiches zwischen den beim Trockenbohren auftretenden mittleren Staubkonzentrationen und den Bedingungen beim Nassbohren liegen.

Dieser Bereich schwankt zwischen etwa 10 mg und 100 mg Staub (Anteile $< 10 \mu$) im Kubikmeter, und wir halten es für wahrscheinlich, dass für die meisten der beschriebenen Silikosefälle bei Mineuren die mittlere Staubkonzentration, die während der ganzen Arbeitszeit im Stollen eingeatmet worden ist, innerhalb dieses Bereiches liegt.

Für die in den Jahren 1932—1945 festgestellten 135 Silikosefälle aus Sandstrahlereien (vgl. ZOLLINGER und LANG I/I) liegt als einzige Stichprobe eine Untersuchung aus einem Betrieb vor (vgl. unsere frühere Arbeit I/II), welcher damals neu erstellt war und wo Silikosefälle noch nicht aufgetreten sein konnten.

In diesem Betrieb wurde während des eigentlichen Strahlens eine enorm hohe Gesamtstaubkonzentration von 1800 mg/m^3 mit 37 mg Feinstaub unter 10μ , davon 23 mg Quarz, festgestellt.

Es ist dazu zu bemerken, dass der Sandstrahler in der Regel während des Strahlens selber durch den Strahlerhelm mit Frischluftzufuhr geschützt ist, dass er den Helm aber ablegt, sobald er die eigentliche Strahlarbeit beendet hat. In dieser Zeit sinkt die Staubkonzentration je nach den Belüftungsverhältnissen rascher oder langsamer ab. Es kann mit Sicherheit angenommen werden, dass in älteren Betrieben mit ungenügender Belüftungsanlage relativ hohe, wesentlich über 10 mg/m^3 liegende Staubkonzentrationen während des grössten Teils der Arbeitszeit, auch während der Zeit, wo nicht gestrahlt wird, auftreten.

In drei Einzelfällen konnten Lungen verstorbener Silikotiker aus Betrieben untersucht werden, in welchen wir Betriebsuntersuchungen durchgeführt hatten¹⁵⁾.

Der erste Fall betrifft das S. 145 beschriebene Schotterwerk, wo bei mittleren Windgeschwindigkeiten im natürlich belüfteten Raum mit offenen Fenstern im eigentlichen Staubschwaden $12,8$ und $16,8 \text{ mg}$ Staub unter $10 \mu/\text{m}^3$ festgestellt worden waren, während in den übrigen Raumteilen nur 2 und 3 mg/m^3 gefunden wurden. Im schlechter belüfteten, tiefer liegenden Raum wurden $37,7 \text{ mg/m}^3$ ($< 10 \mu$) festgestellt. Das arithmetische Mittel der Einzelproben ergibt $\sim 15 \text{ mg}$ Staub feiner $10 \mu/\text{m}^3$. Es handelt sich um das Resultat einer Stichprobe im Sommer; in der kalten Jahreszeit, wo die Fenster schon wegen der Frostgefahr der nass arbeitenden Anlage geschlossen gehalten werden müssen, ist mit einer wesentlich höheren Staubkonzentration zu rechnen. Es ergibt sich als Mittel über das ganze Jahr ein bestimmt über den festgestellten Konzentrationen liegender Wert.

Der Quarzgehalt des verarbeiteten Schotters ist $40\text{--}45 \%$.

Die Anamnese des in diesem Betrieb erfolgten Silikosefalles ergab, dass der betreffende Arbeiter während 10 Jahren als Brecherwart darin gearbeitet hatte.

Im zweiten Falle handelt es sich um einen Arbeiter aus dem in unserer ersten Arbeit (I/II) beschriebenen Schieferbergwerk.

Die im natürlich belüfteten Bergwerk durchgeführten Staubuntersuchungen ergaben in den Schwaden der Bohr- und Schrämhämmer Konzentrationen von $42,5$ und $30,5 \text{ mg}$ Staub unter $10 \mu/\text{m}^3$ und in der umgebenden Stollenluft ca. 5 mg/m^3 ; als Mittel kann unter Berücksichtigung der effektiven Bohr- bzw. Schrämzeiten eine massgebende Staubkonzentration von $10\text{--}15 \text{ mg}$ ($< 10 \mu$) pro m^3 angenommen werden.

Der Quarzgehalt des gewonnenen Schiefers ist $25\text{--}27 \%$.

In diesem Betrieb ist ein Arbeiter, welcher während 45 Jahren als Schrämer angestellt war, an einer mittelschweren Silikose gestorben.

Der dritte Fall betrifft einen Arbeiter aus dem gleichen Werk, welcher während 36 Jahren als Feiler in der Schieferbearbeitungs-

¹⁵⁾ Über den Befund der Staubuntersuchungen aus diesen Lungen soll demnächst an anderer Stelle berichtet werden.

werkstätte angestellt war und dann an einer schweren Silikose gestorben ist.

In der Feilerei hatten wir im Sommer bei offenen Fenstern einen sehr feinen Staub (Kornmaximum unterhalb 1μ Durchmesser) in der sehr geringen Konzentration von nur 4 mg/m^3 (alles unter 10μ) festgestellt.

Im Winter muss bei geschlossenen Fenstern ein mehrfaches der im Sommer festgestellten Konzentration auftreten; das für das ganze Jahr gültige Mittel liegt wahrscheinlich wesentlich über 10 mg/m^3 .

Der Quarzgehalt des Staubes kann gleich wie oben (25—27 %) angenommen werden.

Die drei untersuchten Fälle ergeben übereinstimmend, dass im Konzentrationsbereich von 10—20 mg Feinstaub ($< 10 \mu$) pro Kubikmeter bei langen Expositionszeiten Silikosen auftreten können; die rascher eingetretene Silikose im Schotterwerk nach 10 Jahren stimmt mit dem höheren Quarzgehalt und der wahrscheinlich höheren mittleren Konzentration gegenüber den Arbeitszeiten von 36 und 45 Jahren in den beiden andern Fällen überein.

Es kann an dieser Stelle auch auf die S. 143 bereits ausgesprochene Vermutung hingewiesen werden, wonach Konzentrationen unter dem wahrscheinlichen, aber nicht sicher belegten Wert von $5\text{--}10 \text{ mg/m}^3$ bei der Bohrarbeit im Freien nicht mehr als schädlich zu gelten haben.

Trotzdem nur sehr wenige und teilweise nicht besonders gut gesicherte allgemeine Mittelwerte zu unserer Untersuchung herangezogen werden konnten, ergibt sich doch im Sinne einer Arbeitshypothese die folgende Abstufung der Silikosegefährlichkeit für einen mittleren Quarzgehalt von 40 %:

Feinstaubkonzentrationen (Anteile feiner als 10μ)

über 100 mg/m^3 führen innert weniger Jahre zu sehr schweren Silikosen.

$100\text{--}20 \text{ mg/m}^3$ sind silikosegefährlich.

$20\text{--}10 \text{ mg/m}^3$ können nach längeren Expositionszeiten (Jahrzehnte) zu Silikosen führen.

$10\text{--}5 \text{ mg/m}^3$ müssen als unsichere Grenze angenommen werden.

weniger als 5 mg/m^3 sind wahrscheinlich auch bei längeren Expositionszeiten nicht mehr als schädlich zu beurteilen.

Da der Quarzgehalt in den für unsere Betrachtung herangezogenen Fällen im Bereiche zwischen 20 und 60 % streuen, haben wir als Bedingung für die Gültigkeit der oben angeführten Zahlen einen mittleren Quarzgehalt von 40 % festgelegt; für geringere Quarzgehalte können entsprechend höhere Grenzwerte eingesetzt werden, bei höheren Quarzgehalten sind die Zahlen entsprechend zu reduzieren.

Wir betonen an dieser Stelle noch einmal ausdrücklich, dass die Zahlen

vorläufige Ergebnisse sind, deren Gültigkeit durch weitere Untersuchungen gesichert werden muss.

Das letzte Wort hat der Mediziner zu sprechen.

Als Grundlage für die Anforderungen an die technischen Staubbekämpfungsmassnahmen ergibt sich, dass die Staubkonzentration bei einem mittleren Quarzgehalt auf die Dauer unterhalb der kritischen Grenze von 5 mg Feinstaub unter 10 μ Durchmesser im Kubikmeter zu halten sei.

Wir stellen auch diese Forderung vorläufig zur Diskussion!

Literaturverzeichnis:

(im Text aufgeführte Nummern)

- (1) ZÜRCHERISCHE ARBEITSGEMEINSCHAFT ZUR ERFORSCHUNG UND BEKÄMPFUNG DER SILIKOSE IN DER SCHWEIZ, «Über die Silikose», Vierteljahrsschrift der Naturf. Ges. Zürich, Jahrgang 92, Beihefte Nr. 3/4, Dez. 1947, mit folgenden Beiträgen:
 - (1 / I) F. ZOLLINGER und F. LANG: Stand und Bedeutung der Silikose in der Schweiz auf Grund des Materials der SUVA.
 - (1 / II) H. GESSNER (mit Beiträgen von F. DE QUERVAIN und H. BÜHLER): Die Ergebnisse der Staubuntersuchungen in silikosegefährdeten Betrieben (im Sonderdruck als Mitteilung der EMPA, 1948).
 - (1 / III) P. H. ROSSIER, H. BUCHER und K. WIESINGER: Studien über die Patho-Physiologie der Atmung bei der Silikose. 1. Die Lungenfunktion in Ruhe bei der Silikose.
 - (1 / IV) H. R. SCHINZ und H. EGGENSCHWYLER: Die Silikose im Röntgenbild.
 - (1 / V) A. V. ALBERTINI, E. BRANDENBERGER und J. R. RÜTTNER: Kombinierte pathologisch-anatomische und mineralogisch-röntgenographische Untersuchung an Silikoselungen.
- (2) P. NIGGLI, F. DE QUERVAIN und R. U. WINTERHALTER: Chemismus Schweizer Gesteine. Beiträge z. Geologie d. Schweiz, Geol. Serie, XIV. Lieferung.
- (3) F. DE QUERVAIN: Die nutzbaren Gesteine der Schweiz. Verlag Kümmerly & Frey, 1949.
- (4) F. P. UEHLINGER: Untersuchungen über die Silikose in einem Grossbetrieb der Metallindustrie. Diss. Uni. Zürich, 1949. (Mitt. Naturf. Ges. Schaffhausen, Bd. 23, 1949/50.)
- (4a) E. OBRIST: Die Giessereisilikose in der Schweiz. Diss. Uni. Zürich, 1949. (Zeitschr. f. Unfallmedizin u. Berufskrankheiten, III, 1949.)
- (5) H. GESSNER, J. R. RÜTTNER und H. BÜHLER: Zur Bestimmung des Korngrössenbereiches von silikogenem Staub. Schweiz. Med. Wochenschr. 79 (1949), Nr. 51 und 52.
- (6) H. GESSNER: Einige Ergebnisse von Staubuntersuchungen im Rahmen der Silikoseforschung. Kolloid-Zeitschr. 115 (1949).
- (7) Atlas zur Charakteristik der Silikosegefährlichkeit von Gesteinen und nutzbaren Mineralien deutscher Lagerstätten. Herausg. v. d. Bergbau-Berufsgenossenschaft, Essen 1947.
- (8) F. LANG: Akute Mineursilikosen nach einem Stollenbau. Zeitschr. f. Unfallmedizin u. Berufskrankheiten, II (1949), S. 122.
- (9) C. E. BROWN and H. H. SCHRENK: Relation of Dust to Water Flow through Rock Drills. Bureau of Mines, U.S.A. Report of Investigation, April 1933, 3393.
- (10) C. E. BROWN and H. H. SCHRENK: Control of Dust Blasting by a Spray of Water Mist. Bureau of Mines, U.S.A. Report of Investigation, March 1933, 3388.

