Zeitschrift: Schweizerische Bauzeitung
Herausgeber: Verlags-AG der akademischen technischen Vereine
Band: 86 (1968)
Heft: 36

Artikel: Betrachtungen zur Entwicklung im Tunnelbau: Vortrag
Autor: Grob, Hans
DOI: https://doi.org/10.5169/seals-70123

Nutzungsbedingungen
Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation
L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use
The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 22.07.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

HERAUSGEGEBEN VON DER VERLAGS-AKTIENGESELLSCHAFT DER AKADEMISCHEN TECHNISCHEN VEREINE, ZÜRICH

Betrachtungen zur Entwicklung im Tunnelbau

DK 624.19

Von Prof. **H. Grob**, ETH, Zürich

Vortrag, gehalten in Baden an der Tagung vom 25. März 1966 der Schweiz. Gesellschaft für Bodenmechanik und Fundationstechnik

Einleitung

Trotz den Fortschritten der Technik steckt der Tunnelbau immer noch voller Ungewissheiten. Wohl bemühen sich die Ingenieure zusammen mit den Geologen, sich ein Bild zu machen von dem, was sie beim Bau zu erwarten haben. Trotzdem können sogar bei ganz kleiner Überlagerung schon erhebliche Fehlurteile vorkommen. Beispielsweise waren an der Walenseestrasse bei Mühlehorn zwei Tunnel zu bauen, beide etwa 200 m lang, also fast an der Oberfläche. Dazu waren genügend Felsaufschlüsse sichtbar. Der eine Tunnel kam in den untersten Teil der sog. Obstalder Sackung zu liegen, dort wo der Fels infolge Reibung auf der Unterlage durch und durch zertrümmert und mit dem Pickel zu lösen war: Kostenvoranschlag also ziemlich hoch. Der andere Tunnel sollte durch einen steilen Felskopf führen, dessen Wände wohl einen klüftigen Fels anzeigten, der aber durchaus standfest erschien, und dies um so eher, als er zum anstehenden Felsuntergrund gehörte und nichts mit der genannten Sackung zu tun hatte: Kostenvoranschlag dementsprechend normal. Die Ausführung hingegen ergab gerade das umgekehrte Bild. Im ersten Tunnel konnte mit ganz wenig Sprengstoff ein wunderschönes Vollprofil herausgeschossen werden, dessen Standfestigkeit mit Hilfe von etwas Gunit nichts zu wünschen übrig liess. Beim zweiten Tunnel zeigte es sich, dass die Klüfte viel zahlreicher und verworrener waren als angenommen worden war und dass sie zudem häufig Lehm enthielten, so dass nur ein lückenloser Einbau zum Ziele führte. Die Kosten waren entsprechend.

Es sind also auch heute noch verschiedene Risiken mit dem Tunnelbau verbunden, und es fragt sich, wer sie übernehmen soll. Ich halte dafür, dass der Bauherr besser die grösseren Risiken selber trägt und dies bereits in der Ausschreibung klarstellt. Er hat ja den Bauplatz ausgesucht und das Bauwerk entsprechend projektiert. Er wird auf diese Weise eher billiger zum Ziel kommen, als wenn er den Unternehmer alles Erdenkliche in die Preise einrechnen lässt. Dafür wird der Unternehmer seinem Namen Ehre machen und nicht sofort Nachforderungen stellen, wenn einmal auf seiner Seite etwas nicht nach Wunsch gelungen ist. Die Offerte ist ein Vertragsbestandteil, der auch für die Abrechnung gilt.

Im folgenden sollen aus der Fülle des gestellten Themas vier Probleme herausgegriffen werden, die als besonders aktuell gelten können.

1. Mechanisierung

Sie hat auch im Stollenbau seit dem Kriege bedeutende Fortschritte gemacht. Es lohnt sich aber vielleicht, zunächst einen Blick zurück zu werfen und die Leistungen unserer Vorfahren zu betrachten. In Tabelle 1 ist das Mittel der Vortriebe eingetragen, und zwar ist die Bauzeit für die Leistungsberechnung vom Vortriebsbeginn bis zum Durchschlag gerechnet. Deutlich ist der Fortschritt festzustellen von der Handbohrung des Mont Cenis zur dreifachen Leistung mit Maschinenbohrung, Stossbohrung im Gotthard und Arlberg E, Drehbohrung im Arlberg W und im Simplon, verbesserte Stossbohrung im Lötschberg bis zu den leichten Bohrhämmern teils im Lötschberg und voll im Hauenstein. Letztere konnten auch in der Ausweitung benutzt werden, während die früheren Stoss- und Dachbohrmaschinen ihres grossen Gewichtes wegen ähnlich wie unsere heutigen Jumbos auf Wagen montiert waren und praktisch nur im Richtstollen verwendet werden konnten. Haben nicht die Leute vom Mont Cenis und vom Gotthard zu ihrer Zeit einen Unternehmungsgeist an den Tag gelegt, der uns alle Anerkennung abnötigt? Wollten wir es ihnen gleichtun, so müssten wir sofort einen Basistunnel von 45 km Länge in Angriff nehmen.

Verglichen mit den damaligen Vortriebsleistungen müssen wir uns übrigens auf unseren heutigen mechanisierten Vortrieb nichts einbilden. Man wird vielleicht einwenden, dass es sich heute um Vollausbruch handelt, während der Durchschlag früher nur den Richtstollen betraf. Das ändert aber nichts an unserem Vergleich. Die Zeitspanne zwischen Durchschlag und Betriebseröffnung der früheren Tunnel betrug im Mittel 16 Monate, bei den neuen drei Tunneln, allerdings die Lüftungsinstallationen eingeschlossen, 20 Monate. Dies hängt damit zusammen, dass früher die Tunnelarbeiten hinter dem vorauseilenden Vortrieb her in zahlreiche Arbeitsstellen aufgelöst waren, so dass es durch Einsatz einer Vielzahl von Arbeitern gelang, das Tempo des Vortriebes mitzuhalten. Heutzutage kennen wir eigentlich im wesentlichen nur noch zwei Arbeitsstellen im Tunnel: Vortrieb und Betonierung. Dies macht sich in einer gewaltigen Verminderung der Arbeiterzahl bemerkbar, und darin liegt eigentlich die Leistung unserer heutigen Mechanisierung. Sie kommt auch in den Ausbruchpreisen zum Ausdruck, die sich in den letzten 50 Jahren nur unwesentlich verändert haben und heute eher wieder unter dem langjährigen Mittel liegen.

Unsere bisherige Mechanisierung hat eigentlich am Ablauf des Vortriebvorganges nichts geändert. Es wird immer noch gebohrt, gesprengt, aufgeladen und weiter hinten verkleidet. Demgegenüber scheint sich nun eine neue Welle der Tunnelbau-Mechanisierung anzubahnen, einerseits durch die vermehrte Anwendung der Schildbauweise und anderseits durch die grossen Tunnelbohrmaschinen, welche den Zyklus des Bohrens und Sprengens ersetzen durch ein kontinuierliches mechanisches Abtragen des Felsens.

Der Schild wurde bisher der höheren Kosten wegen nur für allerschwierigstes Gebirge verwendet, wo jede andere Methode versagte, oder allenfalls dort, wo unter allen Umständen Setzungen vermieden werden mussten [1]). Zurzeit sind Anstrengungen im Gange, seinen Anwendungsbereich zu erweitern auf milde und gebräche Gebirge. Dies geschieht im Sinne einer Mechanisierung nach zwei Gesichtspunkten:

1. Der Schild selbst kommt einem mechanisierten Einbau gleich, wenigstens auf die Länge des Schildrohres; es ist sofort ein Schutz für die Arbeiter vorhanden, wobei allerdings nicht zu vergessen ist, dass die Gefahr auch von der Brust her drohen kann.
2. Der Schild erlaubt die Vorfabrikation der Tunnelverkleidung, indem in seinem Schutze vorgefertigte Tübbinge zu tragfähigen Ringen zusammengesetzt werden können. Das auf lange

[1]) Siehe zum Beispiel *H. Ruppaner*, SBZ 1960, S. 215.

Tabelle 1. Übersicht älterer und neuerer Alpentunnel. Die Zahlen über Vortrieb und Belegschaft bedeuten die Summe aller Angriffsstellen

Tunnel	Baujahre	Länge m	Ausbruch m²	Vortrieb m/Mt.	Arbeit. max.
Mont Cenis	1857–71	12 849	45	16–51	4000
St. Gotthard	1872–82	15 003	45	85	4000
Arlberg	1880–84	10 270	—	125	4900
Simplon	1898–1906	19 803	40	125	3800
Lötschberg	1906–13	14 536	60	135	3200
Hauenstein	1912–16	8 135	59–67	160	2000
Mont Blanc	1959–65	11 600	75–90	140	600
Gr. St. Bernard	1959–64	5 828	61	70	600
San Bernardino	1962–67	6 596	84–91	95	500

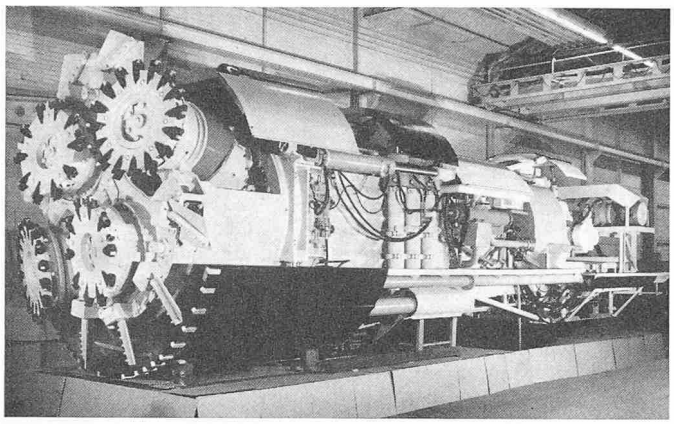


Bild 1. Tunnelbohrmaschine Habegger, Thun

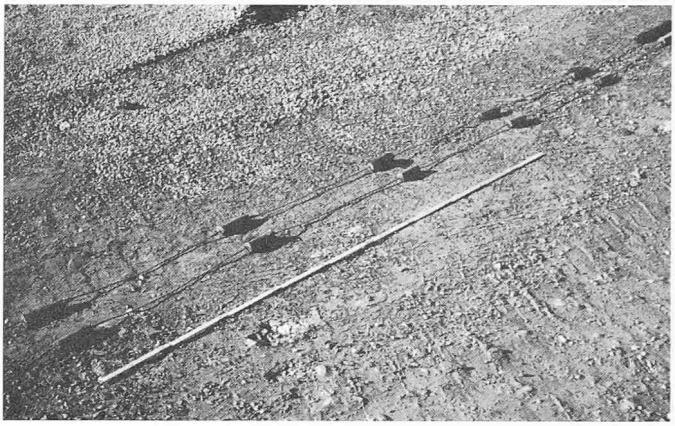


Bild 3. Sprengversuche im Steinbruch der Jura-Cement-Fabriken, Wildegg. Sprengladungen mit Knallzündschnur für schonendes «Hohlraumschiessen»

Strecken gleichbleibende Tunnelprofil fordert ja geradezu die Vorfabrikation heraus, wobei zu den bekannten Vorteilen noch der günstige Umstand kommt, dass weniger Arbeiter unter Tag beschäftigt werden müssen.

Die Tatsache, dass in der Schweiz *Stollenbohrmaschinen* laufen, und zwar mit beachtlicher Leistung von 25 bis 35 m pro Tag, zeigt, dass wir künftig ernsthaft mit diesen Geräten zu rechnen haben. Zwar scheint der Betrieb vorläufig noch etwas teurer zu sein als die herkömmliche Sprengarbeit, aber das Beispiel Amerikas mit seinen höheren Arbeitslöhnen deutet die Entwicklung in Richtung Maschinenarbeit an. Erfreulich ist, dass auch ein schweizerisches Unternehmen sich an den Bau solcher Bohrmaschinen herangewagt hat (Bild 1).

Was die Einzelheiten ihrer Arbeitsweise anbelangt, sei auf andere Veröffentlichungen verwiesen [2]). Die Kunst des Konstrukteurs besteht darin, das wegzuschaffende Gesteinsmaterial nicht etwa gänzlich zu Staub zu zermalen, sondern es abzuspalten und abzubrechen und dabei einen möglichst grobkörnigen Grus zu erzeugen, dessen Korngrösse einige Zentimeter bis zu einem Dezimeter beträgt. Naturgemäss leisten weiche oder spröde Gesteine der Zertrümmerungsarbeit weniger Widerstand, während harte und zähe Materialien mit grosser Scherfestigkeit vorläufig noch schwierig anzugreifen sind.

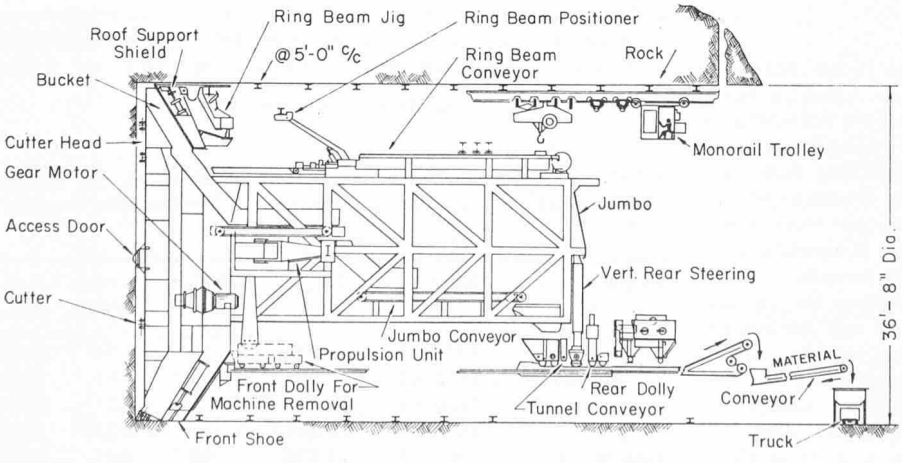
Der Abtrag des Gesteins erfolgt kontinuierlich; zweckmässig und am leistungsfähigsten ist daher auch ein kontinuierlicher Abtransport mittels Förderbändern. Bei gutem Fortschreiten der Maschinen fallen ganz gewaltige Materialmengen an (Mangla über 2000 m³ fest pro Tag), so dass der Umlad auf Schotterzüge und namentlich der Zugswechsel die Vortriebsleistung beschränkt.

Ich möchte drei wesentliche Vorteile der Bohrmaschinen hervorheben:

1. Da nicht gesprengt werden muss, kommen keine Erschütterungen vor, was in bebautem Gebiet und bei kleiner Überdeckung von ausschlaggebender Bedeutung sein kann und auch die Anwendungen in der Schweiz begünstigt hat.
2. Es entsteht praktisch kein Überprofil, was natürlich besonders den Unternehmer interessiert. Gerade in Turgi ist der Unterschied zwischen der gebohrten Strecke und dem ausgesprengten Stollenanfang eklatant.
3. Das kreisförmige Profil ohne Auflockerungszone im anstehenden Gebirge steht natürlich viel besser als ein ausgesprengter Hohlraum. Was wir dort zum Beispiel als nachbrüchig bezeichnen, wird hier plötzlich standfest, d. h. die Klassierung des Gebirges verschiebt sich um eine oder zwei Stufen.

Natürlich kann der Fall eintreten, dass trotz den günstigen Umständen das Gebirge nicht steht, so dass hinter dem Schneidkopf der Maschine eingebaut werden muss. Das bietet bei grossen Profilen keine besondere Schwierigkeit, wie das Beispiel von Mangla zeigt, wo, wie in einem Schild, ein besonderes Gerät den Einbau der Bogen besorgt (Bild 2). Schlimmer wird es in kleinen Profilen, wo die 10 bis 12 m lange Maschine das Profil fast völlig ausfüllt, so dass das Einbauen von Bogen sehr mühsam und zeitraubend ist und den Fortschritt der Bohrmaschine hemmt. Es ist zu erwarten, dass mit der Zeit auch diesem Übelstand abgeholfen wird, z. B. kann man sich mit einiger Phantasie vorstellen, dass zusammen mit dem Bohrkopf eine Spritzdüse im Kreis herumläuft und den Fels gleich gunitiert. Sollte der Rück-

[2]) *W. Rutschmann*, SBZ 1963, S. 439; 1966, S. 363 und 1968, S. 65.
O. Frey-Bär, SBZ 1965, S. 665.
H. Ruppaner, NZZ 1966, Nr. 2965.
F. P. Jaecklin und *R. Ceresola*, SBZ 1968, S. 279.



Roof Support Shield	First-Schild
Ring beam Jig	Montagering für Einbau
Ring Beam Positioner	Versetzvorrichtung für Einbauringe
Ring Beam Conveyor	Vorschieben der Bogen
Rock	Fels
Monorail Trolley	Einschienen-Kran
Jumbo	Fräsmaschine
Vert. Rear Steering	Hinteres Höhensteuer
Material	Ausbruchmaterial
Conveyor	Transportband
Truck	Lastwagen
Rear Dolly	Hinterer Rollwagen
Tunnel Conveyor	Transportband im Tunnel
Jumbo Conveyor	Transportband in der Maschine
Propulsion Unit	Vorschub-Einheit
Front Dolly for Machine Removal	Vorderer Rollwagen für Rückzug der Maschine
Front Shoe	Vorderer Gleitschuh
Cutter	Frässchneiden
Access Door	Zugangstüre
Gear Motor	Drehmotor
Cutter Head	Fräskopf
Bucket	Schöpfkübel

Bild 2. Schematischer Längsschnitt durch die Tunnelbohrmaschine Robbins, die am Mangla-Staudamm in West-Pakistan eingesetzt war. Vortriebsleistung bis 20 m/Tag

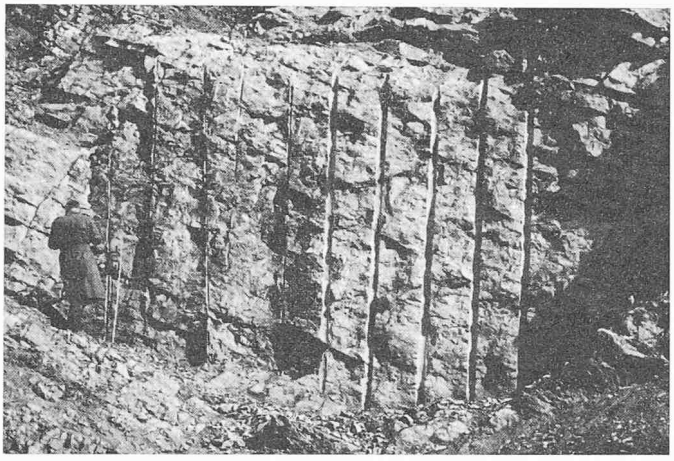


Bild 4. Abgeschossene Wand. Je fünf Bohrlöcher ⌀ 35 mm und 105 mm, alle gleich geladen, jedoch Hohlräume zwischen den Patronen in den kleinen Löchern mit Bohrmehl ausgefüllt

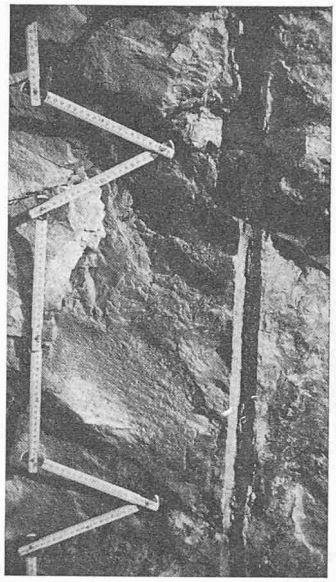


Bild 5. Im kleinen Bohrloch haben die dicht anliegenden Ladungen den Fels örtlich zerschlagen und auch auf der Verdämmungsstrecke einen senkrecht zur Wandoberfläche laufenden Riss hinterlassen

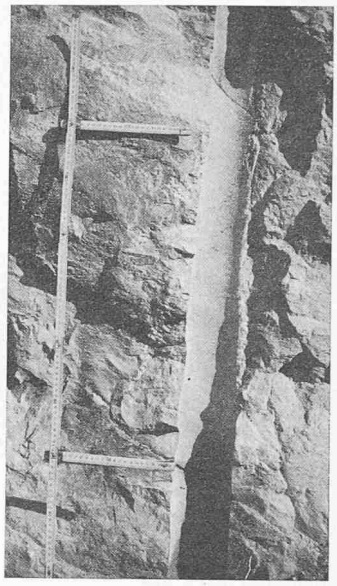


Bild 6. Im grossen Bohrloch hat das Luftpolster den Fels geschont. Die durch den Doppelmeter bezeichneten Sprengstellen waren einzig an Rauchspuren zu erkennen

prall Schwierigkeiten bereiten, so könnte vielleicht eine Glättekelle einen Schnellbinde-Mörtel auf den Fels streichen. Schliesslich wäre es auch denkbar, dass die Bohrmaschine eine Gleitschalung hinter sich her zieht, bei welcher der vorne entstehende Hohlraum ständig durch eine Betonpumpe aufgefüllt wird, wie das Ing. *Waldvogel* vorgeschlagen hat. Der Spritzbeton und das direkte Anbetonieren hat gegenüber dem Stahleinbau oder den Tübbingen zudem den Vorteil des satten Anschlusses an den Fels, der für die Tragfähigkeit eine wesentliche Rolle spielt.

In ähnlicher Weise ist ja auch die Kombination von *Schild* und *Bohrmaschine* zu verstehen, wie sie beim Bau der Untergrundbahnen verschiedener Städte anzutreffen ist. In London ist vorn im Schild eine Art Gemüseschneidmaschine angebracht, welche den Lehm abschält, während hinten Gusstübbinge eingebaut werden. In Paris ist es eine Robbins-Maschine, die sich teils durch den Kalkstein frisst, teils aber durch Alluvion, wobei wegen des Grundwassers erst noch Druckluft angewendet werden muss. Im Schild hinter der Bohrmaschine werden Betontübbinge eingebaut.

Beunruhigend für den Unternehmer ist, dass solche Maschinen Millionen kosten und dass er nicht sicher ist, auf was für eine Baustrecke er die Amortisation verteilen kann. Vereinfacht würde das Problem dadurch, dass die projektierenden Ingenieure sich auf ganz bestimmte Stollendurchmesser beschränkten. So wäre beispielsweise nur ein einziger Kreis von etwa 11 m Aussendurchmesser erforderlich für einen zweispurigen Strassen- oder Bahntunnel, dazu ein Profil für Untergrundbahnen und einige kleinere Abstufungen für Wasserstollen. Es könnte Aufgabe der Vereinigung Schweizerischer Tiefbauunternehmer sein, einen Katalog von gängigen Profilen aufzustellen und die projektierenden Ingenieure darauf aufmerksam zu machen, dass für Zwischenprofile ein Zuschlag zu bezahlen sei. Übrigens täte eine Normalisierung der Tunnelprofile bereits heute not; auch könnten Tunnelachsen ruhig aus blossen Geraden und Kreisen zusammengesetzt werden, ohne Übergangsklothoiden!

Ein besonders dankbares Anwendungsgebiet für die Stollenbohrtechnik scheint mir auf dem Gebiet der Wasserversorgung und Abwasserkanalisation zu liegen, welche beide besonders im Molassegebiet des Mittellandes ein immer grösseres Ausmass annehmen. Die dort erwünschten Stollendurchmesser sind allerdings oft so klein, dass sie die Konstrukteure der Bohrmaschinen und die Unternehmer noch vor allerhand Aufgaben stellen.

Zum Abschluss dieses Kapitels sei all den Firmen, die sich an den genannten Mechanisierungsbestrebungen aktiv beteiligen und oft ein ansehnliches Lehrgeld in solche Versuche stecken müssen, aufrichtige Anerkennung ausgesprochen.

2. Sprengen

Da vorläufig in der Schweiz immer noch mehr Stollen gesprengt als gebohrt werden, ist auf die Sprengmethoden hinzu-

Bild 7. Nach herkömmlicher Methode in massigem Gestein schön profilgerecht ausgebrochener Tunnel. Starke Stufenbildung infolge Zertrümmerung des anstehenden Felsens durch die besonders im bohrlochtiefsten satt anliegenden Ladungen

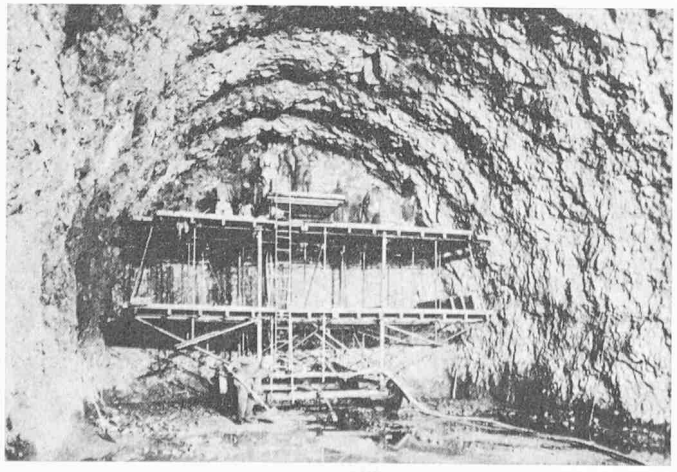
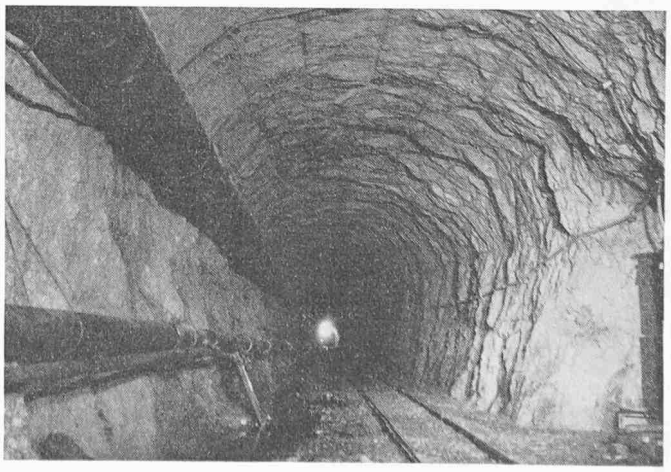


Bild 8. Stollen in klüftigem Dolomit. Kranzschüsse mit Luftpolster geschossen ergeben ein sehr schönes Profil



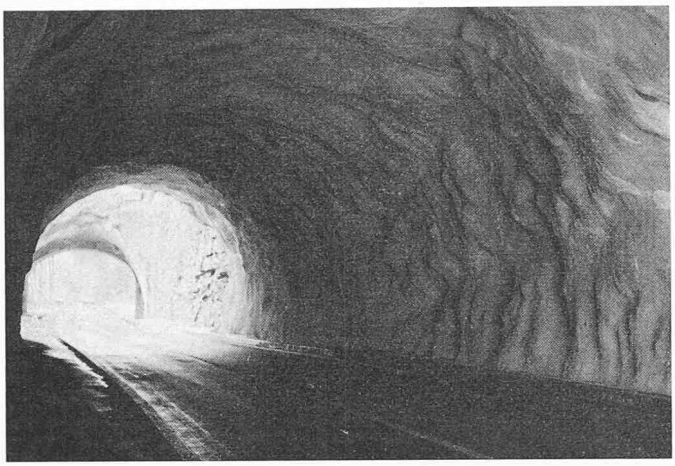


Bild 9. Tunnel an der Axenstrasse mit Gunit-Verkleidung

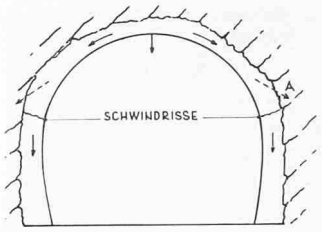


Bild 10. Schwinden der Betonauskleidung mit Bildung horizontaler Risse. A = Abstützung

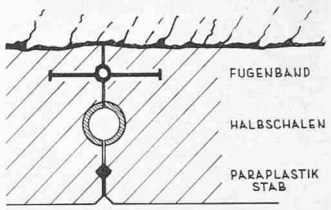


Bild 11. Dichtung von ringförmigen Arbeitsfugen. Die Hauptdichtung mittels Fugenband soll durch eine Drainage gesichert werden, welche ihrerseits wieder durch einen plastischen Streifen gedichtet ist. Die Ausführung hat sich nicht bewährt!

weisen, die von den Schweden und Amerikanern entwickelt wurden, um ebenfalls das Überprofil klein zu halten und den anstehenden Fels zu schonen [3]).

Es handelt sich einerseits um das Vorspalten (Presplitting), bei welchem zuallererst die Schussreihe an der Abtragsgrenze gezündet wird. Dabei bildet sich von Loch zu Loch ein Riss, welcher später den Abtrag sauber vom stehenbleibenden Fels trennt. Auf den Tunnelbau übertragen, würde das heissen, dass bei einem Abschlag die Kranzschüsse zuerst gezündet werden müssten. Da aber darüber in der Schweiz noch wenig eigene Erfahrungen [4]) bekannt geworden sind, sei die zweite Methode, das sog. Schonsprengen (Smooth blasting, Trimming) etwas näher betrachtet (Bilder 3 bis 8).

Dort geht es darum, die Kranzschüsse in einer besondern Weise als letzte zu sprengen, um den Abtrag zurechtzustutzen, wie das englische Wort sagt, und ihm eine saubere Form zu geben. Wichtig ist auch hier, dass die Schüsse gleichzeitig springen, weil dann am ehesten der erwünschte ebene Riss von Loch zu Loch entsteht. Dabei ist die Genauigkeit des Bohrens sehr wichtig, ferner der Lochabstand, der etwa 80 % der Vorgabe nicht übersteigen soll.

Die grösste Bedeutung kommt aber der Ladung zu. Einmal kann mit trägen Sprengstoffen wie Chlorat oder Ammoniumnitrat eine mehr spaltende als zerstörende Wirkung erzielt werden. Am besten wäre natürlich Schwarzpulver! Dieselbe Wirkung kann aber auch mit den brisanten Sicherheitssprengstoffen erreicht werden, solange die Sprengstoffsäule das Bohrloch nicht völlig ausfüllt. Der Schwede *Langefors* spricht davon, dass die Ladesäule nur etwa einen Zehntel des Bohrlochquerschnittes einnehmen soll, d. h. der Patronendurchmesser sollte etwa einen Drittel des Lochdurchmessers betragen. Die durchgehende Ladesäule kann auch in einzelne Ladungen aufgelöst werden, wobei zum Beispiel eine Knallzündschnur für die durchgehende Zündung sorgt. Im Stollenbau ist es praktischer, die einzelnen Patronen mit kleinen Abständen in Plastikrohre zu schieben oder in kleine Plastikhalbschalen zu packen, wobei die Detonationsübertragung durch die Luft für die Zündung genügt. Dann spielt das Durchmesserverhältnis weniger eine Rolle, zum Beispiel passen Löcher von 50 mm gut zu Patronen von 25 mm. Auf alle Fälle ist der Bohrlochmund zu verdämmen.

[3]) *H. U. Herrmann,* SBZ 1964, S. 873.

[4]) Neue Sprengstoffe — Neue Sprengverfahren (Versuche von Ing. R. Amberg, Sargans), «Hoch- und Tiefbau» 1968, H. 25, S. 596.

3. Abdichtung

Jeder Tunnelbauer kennt die Schwierigkeit, eine dichte Tunnelverkleidung zu bekommen, d. h. den Ansprüchen zu genügen, welche die Bauherrschaft in dieser Hinsicht stellt.

Was ist üblicherweise die Ursache von Durchsickerungen? Einigermassen anständige Betonprobewürfel zeigen in der EMPA eine beachtliche Wasserundurchlässigkeit. Erst bei grösseren Drücken von 200 m Wassersäule und mehr beginnt jeweils das Wasser durchzusickern. In der Praxis hingegen ist das Problem des wasserdichten Betons nicht ganz so einfach. Abgesehen von porösen Partien im Beton verdienen namentlich die Arbeitsfugen und Schwindrisse als Wasserstellen eine nähere Betrachtung.

Es seien einige der heute üblichen Tunnelverkleidungen auf ihre abdichtende Wirkung hin untersucht.

1. Gunit

Der in dünnen Lagen aufgespritzte Mörtel bildet einen guten Schutz gegen eindringendes Wasser. Arbeitsfugen treten nicht auf, hingegen besteht die Gefahr von Schwindrissen, die sich aber bei möglichst sparsamer Zementdosierung und Beimischung von Kalk stark vermindern lässt. Ein Gunit mit guter Vordrainage kann für kurze Tunnel auch heute noch durchaus genügen, wie das Beispiel der Axenstrasse zeigt (Bild 9). Natürlich wird die rauhe Oberfläche mit der Zeit dunkel und reflektiert nur wenig Licht. Die Tunnelbeleuchtung muss in solchen Fällen also mit eigenen Reflektoren ausgerüstet sein.

2. Einfacher Beton

Hier sind die horizontalen Abkühlungs- und Schwindrisse in den Gewölbekämpfern typisch, die sich bei möglichst frühzeitigem Ausschalen wohl zurückdämmen, aber nicht ganz vermeiden lassen, wie Bild 10 zeigt. Solche Risse sind aber fein und verheilen vielleicht von selbst unter dem Einfluss des Wassers, wenigstens solange es nicht abläuft, sondern an Ort und Stelle eintrocknet.

Schlimmer sind die ringförmigen Arbeitsfugen, die sich nach dem Abbinden öffnen und Wasser durchtreten lassen. Ein Zustreichen mit Zement nützt bekanntlich nichts, da solche Fugen immer wieder arbeiten. Spitzt man Nuten aus, um Kittfugen anbringen zu können, so entstehen hässliche Flickereien, und der Erfolg ist fraglich.

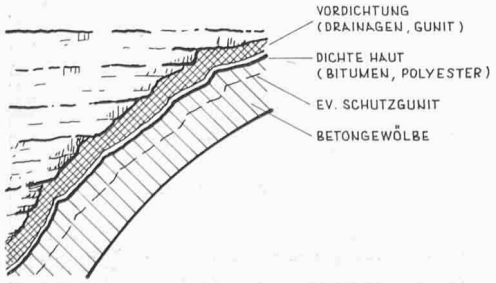
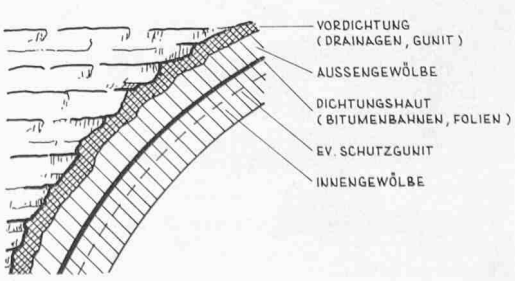


Bild 12 (links). Gespritzte Dichtungshaut

Bild 13 (rechts). Geklebte Dichtungshaut



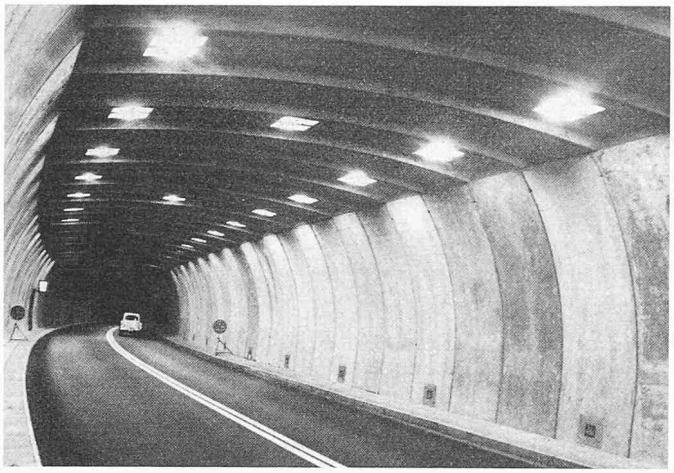


Bild 14. Innenausbau des Mositunnels mit vorfabrizierten Betonplatten seitlich und über dem Fahrraum

Die in Bild 11 dargestellte Dichtung einer ringförmigen Arbeitsfuge ist wohl sehr kunstvoll aufgebaut mit Fugenband und Fugendrainage und hätte sicher über Tag ihren Zweck erfüllt. Im Tunnel aber, zuhinterst im dunklen Winkel zwischen Fels und Schalung, konnte ihre plangerechte Ausführung nicht überwacht werden. Sie hat auf alle Fälle kläglich versagt, so dass man später bei Injektionen Hilfe suchte, wobei sich die Drainagen füllten, was die Lage eher noch verschlimmerte. Es nützt wenig, den Tunnelbau mit Apothekerarbeit zu verquicken; unter Tag führen nur einfache und massive Methoden zum Ziel.

Der Misserfolg der einfachen Betonverkleidung führte damals den Kanton und mit ihm die Bundesstellen dazu, in den später gebauten Tunneln die Verkleidung mit einer dichten Haut zu versehen.

3. Die dichte Haut

Die Haut gehört auf die Aussenseite des Gewölbes, so dass sie mit dem Wasserdruck und nicht gegen ihn dichtet. Früher wurde deshalb die Dichtung von oben her auf das von Hand gemauerte Gewölbe aufgezogen, indem die Leute in einem Hohlraum zwischen Fels und Gewölbe arbeiteten, der nachher wieder mit Mauerwerk zugepackt wurde. Heutzutage zieht man die Dichtung von innen her auf eine äussere, vorgedichtete Unterlage auf und betoniert rasch hinterher das Innengewölbe. Je nach Art der äussern Unterlage sind zwei Klassen von Dichtungen zu unterscheiden:

a) Rauhe Unterlage und gespritzte Haut (Bild 12)

Die Unterlage bildet ein Gunit, der über die Vordichtung gespritzt wird. Dessen rauhe Oberfläche führt fast notgedrungen zum Aufspritzen der Dichtungshaut. Hiezu dienen heute meist Kunstharze, welche eine widerstandsfähige Schicht ergeben, an welche ohne weiteres wieder anbetoniert werden kann. Anstelle des ziemlich teuren Kunstharzes kann aber auch geblasenes Bitumen treten, das jedoch durch eine Gunitschicht gegen das weitere Betonieren geschützt werden muss. Dieser Gunit muss sehr mager dosiert sein, damit er nicht reisst, denn die plötzlich auftretenden Risse würden sich ins Bitumen hinein fortpflanzen.

b) Geschaltes Aussengewölbe und geklebte Haut (Bild 13)

Will man Folien oder Bitumenbahnen verwenden, so sollte einfachheitshalber die äussere Unterlage eine Regelfläche bilden, d. h. sie sollte geschalt sein. Ob im Falle eines gebohrten Stollens sich solche Folien direkt auf den Fels oder auf einen darüber gespritzten Gunit aufziehen lassen, darüber liegen noch keine praktischen Erfahrungen vor. Auf alle Fälle scheint es vorteilhaft, den Gunit abzuglätten und die Folie aufzukleben, damit sie beim Betonieren des Gewölbes nicht beschädigt wird. Es ist in diesem Zusammenhang allerdings auf den Bölchentunnel zu verweisen, wo eine kräftige Folie mittels Druckknöpfen auf eine Gunitunterlage geheftet und ohne weiteren Schutz einbetoniert wurde.

4. Dichte Einbauten

Sofern der Tunnel einen Lüftungskanal in der Kalotte erhält, liegt es nahe, auf das Dichten der Tunnelverkleidung zu

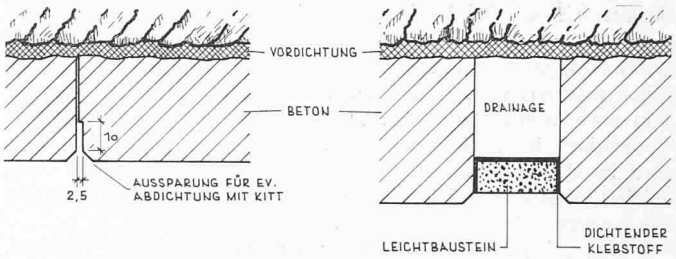


Bild 15. Vorschläge für die Abdichtung von Ringfugen

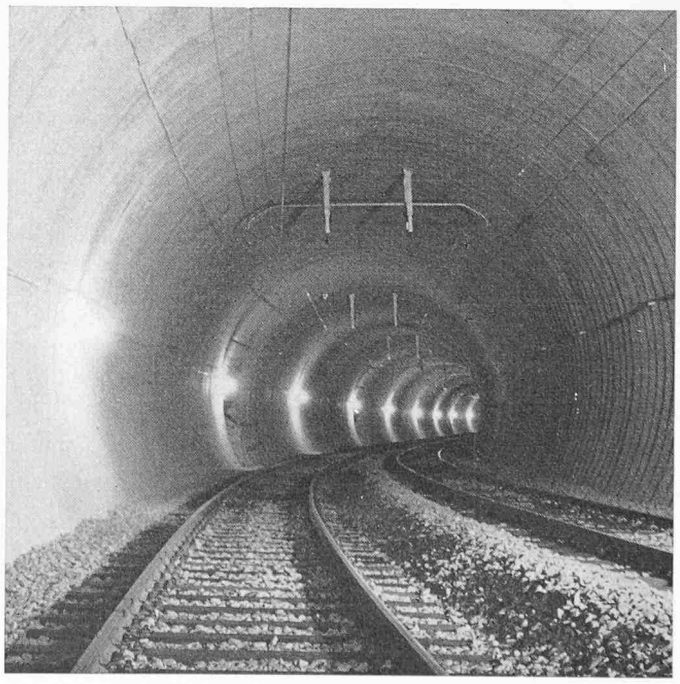
verzichten und die Dichtungsaufgabe der Zwischendecke zuzuweisen. Elegant wurde dieses Problem zum Beispiel im Mositunnel gelöst (Bild 14). Allfälliges Sickerwasser fliesst seitlich über die Zwischendecke und durch einen kleinen Raum zwischen Primärgewölbe und Wandelementen in die Drainage. Die Einbauelemente sind im Betonwerk vorfabriziert und können bei praktisch fehlendem Wasserdruck als dicht betrachtet werden (siehe «Strasse und Verkehr» 1965, Heft 13).

All die wunderschönen Dichtungsmassnahmen sind natürlich nicht gratis, sondern können ohne weiteres gegen 2000 Fr. pro Laufmeter kosten, so dass zu guter Letzt der besorgte Ingenieur des Perfektionismus angeklagt wird. Es sei deshalb noch ein Vorschlag unterbreitet, die Dichtigkeit der einfachen Betonverkleidung durch gute Ausbildung der Drainage zu gewährleisten (Bild 15). Dabei wird Gebrauch gemacht von den neuerdings entwickelten Kunstharzklebestoffen, die auch auf nassen Flächen haften und abbinden.

Einmal lässt sich ohne grosse Kosten mittels Schaumstoff in den Arbeitsfugen eine Nut aussparen, welche nachher bei Bedarf eine Fugendichtung aufnehmen kann. Zunächst wird als Drainage hinten in der Nut ein halber Plastik-Schlauch eingeklebt und darüber eine übliche Kittfuge gefertigt. So lässt sich wenigstens die teure und schädliche Spitzarbeit vermeiden.

Beim andern Vorschlag werden die Arbeitsfugen gleich etwa 30 cm offen gelassen; es ist also eine doppelte Stirnschalung erforderlich. Wo kein Wasser durchtritt, kann eine solche Fuge ohne Schaden offen bleiben. Wo Wasser vorkommt, wird sie mit Leichtbausteinen zugemauert, welche vielleicht an Ort und Stelle auf passendes Mass zugesägt werden müssen. Bedingung ist, dass der zum Aufmauern verwendete Kunstharzmörtel auf die Dauer plastisch bleibt. Ferner muss der Beton eine bestimmte Mindestqualität aufweisen, damit das Sickergefälle längs des Schwindspaltes hinter dem Gewölbe kleiner ist, als quer durch

Bild 16. Donnerbühltunnel mit unverkleideten Betontübbingen



die Verkleidung. Der Drainageraum in der Arbeitsfuge ist immerhin so gross, dass sich kein Wasserdruck aufbauen kann; auch bleibt er zugänglich und kann bei Bedarf ohne grosse Schwierigkeiten repariert werden. Sollte bei allfälligen Schwindrissen trotzdem noch Wasser durchtreten, so besteht heute die Möglichkeit, diese feinen Ritzen mit einem Kunstharz zu verheilen. Der Riss wird in kleinen Abständen durch dünne Löcher angebohrt und injiziert, während auf der Oberfläche eine temporäre Dichtung das Austreten des Injektionsgutes verhindert.

Das Dichten von Tübbingen ist ein besonderes Problem. Die Fugen folgen sich dicht aufeinander, ferner kreuzen sich Ring- und Längsfugen, so dass man auch hier, um sicher zu gehen, etwa eine dichte Haut aufbringen und ein zusätzliches Innengewölbe betonieren wird. Es ist aber zu hoffen, dass mit besonders genauer Fertigung und Verlegung der Tübbinge und durch die Anwendung gut haftender Dichtungsstreifen die Tübbingringe immer mehr roh stehengelassen werden können, was zum Beispiel im Falle des Donnerbühl-Tunnels zu einem guten Resultat geführt hat (Bild 16).

4. Lüftung

Bereits in den fünfziger Jahren hat eine Arbeitsgruppe unter Führung von Prof. *M. Stahel* das Lüftungsproblem im Stollenbau untersucht und Richtlinien für die Dimensionierung aufgestellt. Als beim Bau grösserer Tunnel Schwierigkeiten auftraten, hat sich diese Arbeitsgruppe rekonstituiert, um die Verhältnisse in den grossen Profilen zu überprüfen. Auftraggeber und Mitarbeiter sind die SUVA und die Vereinigung Schweizerischer Tiefbauunternehmer sowie ihr Unfallverhütungsdienst, Ausführende das Gaslabor der EMPA und das Institut für Strassen- und Untertagbau an der ETH. Obwohl die Arbeiten noch nicht abgeschlossen sind, lassen sich doch schon einige Schlüsse ziehen, die hier mitgeteilt werden sollen, weil doch die Lüftung für das gute Gelingen eines Tunnelbaues von grosser Bedeutung ist.

Herrscht dort ein schlechtes Klima, so wird dadurch in erster Linie die Gesundheit der Arbeiter aufs Spiel gesetzt, aber auch die Unternehmung ist leidtragend, denn die Arbeiter verlassen immer wieder ihren schlecht gelüfteten Arbeitsplatz – man hört von einer drei- bis vierfachen Rotation der Belegschaft pro Jahr – was offensichtlich einem rationellen Betrieb nicht förderlich ist.

Im folgenden seien kurz die verschiedenen Arbeitsphasen des Vortriebes in bezug auf die bei ihnen auftretende Luftverschmutzung betrachtet.

1. Bohren

Die vor 20 Jahren eingeführte Wasserspülung bewährt sich sehr gut. Auch die neueren schweren, lafettierten Bohrhämmer erzeugen mit Wasserspülung praktisch keinen Staub. Es kann aber vorkommen, dass beim Bohren in schlechtem Gestein, etwa in weichem Sandstein und Mergel, die Wasserspülung das Bohrloch aufweicht und die Bohrer sich verklemmen. Dann helfen sich die Mineure gerne damit, trocken zu bohren, was sich sofort in einer stark erhöhten Staubkonzentration bemerkbar macht. Es sind in solchen Fällen bis zu 30 mg/m³ gemessen worden, was schon sehr stark silikosegefährlich ist. Als Abhilfe käme wahrscheinlich das Drehbohren in Frage.

2. Sprengen

Der Sprengschwaden ist die bei der Detonation entstehende Mischung von Sprenggasen und Gesteinsstaub mit der benachbarten Luft. Die Sprenggase werden dabei um einen Faktor ε_0

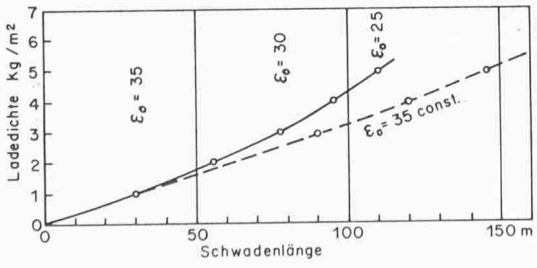


Bild 17. Schwadenlänge als Funktion der Ladedichte, d. h. des Sprengstoffaufwandes pro Quadratmeter Stollenquerschnitt

Tabelle 2. Luftverschmutzung kurz nach dem Abschlag (ohne Ventilation). MAK = maximal zugelassene Konzentration für achtstündige Arbeit

	Gemessene Konzentration	MAK	Erforderliche Verdünnung
Staub < 5 μ	250— 400 mg/m³	5	50—80
CO_2	5 000—12 000 ppm	1 000	5—12
CO	400— 500 ppm	100	4— 5
NO_2	100— 200 ppm	5	20—40

verdünnt, nehmen damit das ε_0-fache Volumen an und erfüllen den Stollen auf die in Bild 17 angegebene Schwadenlänge. ε_0 ist die primäre Verdünnung; die Schwadenlänge gibt ein Mass für die Grösse des zu belüftenden Raumes. Anlässlich der Untersuchungen vor zehn Jahren in kleinen Stollen mit kurzen Abschlägen wurde für ε_0 ein Wert von rund 35 gefunden. In grossen Profilen werden jedoch längere Abschläge angestrebt, was eine grössere Ladedichte, d. h. eine grössere Sprengstoffmenge pro Quadratmeter Querschnittsfläche erfordert. Da aber die vorhandene Luft nicht zunimmt, wird in diesem Fall die primäre Verdünnung kleiner ausfallen, die Schwadenlänge wird also nicht proportional zur Ladedichte wachsen, wie die Kurve des Diagrammes zeigt. Anhand der Messungen der CO_2-Konzentrationen kann die primäre Verdünnung bei einer Ladedichte von 5 kg/m² auf etwa 20 bis 25 geschätzt werden. Wenn allerdings noch thermische Luftströmungen dazukommen, dann wird die Verschmutzung weiterverfrachtet. Dies gilt besonders für hohe Profile mit 5 m lichter Höhe und mehr, wo der Schwaden längs der Kalotte recht weit zurückstreicht und sich allmählich mit der unteren Luft vermischt. Dann ist es eher ratsam, mit der gestrichelten Geraden zu rechnen.

Die Tabelle 2 gibt an, was für Verschmutzungs-Konzentrationen im anfänglichen Schwaden zu messen sind, dazu die sog. MAK-Werte (Maximale Arbeitsplatz-Konzentration), welche für eine achtstündige Arbeit noch zugelassen werden können. Zum Staub ist zu bemerken, dass nach neuerer Ansicht der zuständigen Mediziner jeder feine, unlösliche Staub gefährlich ist, sei es nun Quarz, Silikate oder etwas anderes. Der Ausdruck Silikose ist also nicht mehr genau zutreffend. Der MAK-Wert für nitrose Gase ist nicht ganz eindeutig; er schwankt von Land zu Land. 5 ppm ist die deutsche Vorschrift.

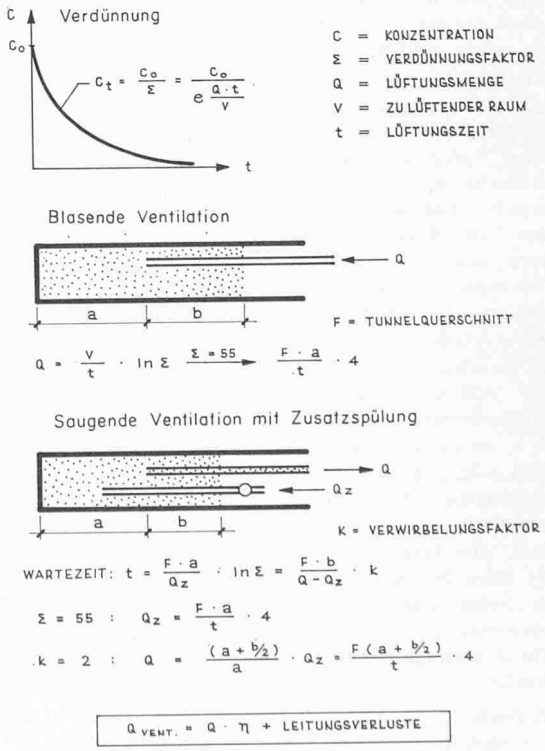


Bild 18. Dimensionierung der Ventilation

Aufgabe der Ventilation ist es, den Schwaden abzusaugen oder ihn durch Einblasen von Frischluft soweit zu verdünnen, dass die Konzentrationen unter den MAK-Wert sinken und ungefährlich werden. Die erforderliche Verdünnung ist in der Tabelle ebenfalls angegeben, und zwar ist der Staub ausschlaggebend, dann folgen die nitrosen Gase, während CO_2 und erstaunlicherweise auch CO nicht massgebend sind.

Die künstliche Verdünnung ε ist gleich $e^{\frac{Q \cdot t}{V}}$.

Der Exponent ist das Verhältnis des zugeführten Luftvolumens zu dem zu lüftenden Raum. Die Messungen haben die Abnahme der Konzentration c nach diesem Gesetz sehr schön bestätigt.

Aus den verschiedenen Lüftungssystemen seien zwei herausgegriffen, die beim praktischen Tunnelbau am aussichtsreichsten erscheinen.

a) Blasen

Durch Logarithmieren der genannten Formel erhält man die Beziehung für die erforderliche Luftmenge Q (Bild 18). Wird der Staub als massgebend betrachtet und für ε 55 eingesetzt, so wird, verglichen mit dem Raum vor dem Luttenende, das vierfache Volumen an Frischluft erforderlich (ln 55 = 4). Je nach Wartezeit t ergibt sich die Leistung der Ventilation.

Beispiel: F = 80 m², a = 40 m, b = 80 m, t = 15 min, Q = 14,2 m³/s, v = 0,18 m/s. Die Luftmenge in diesem Beispiel ist gar nicht so ungeheuerlich, doch besteht der Nachteil, dass der grössere Teil des Schwadens durch den Tunnel zum Portal zurückwandert, und zwar mit kleiner Geschwindigkeit. Sollten unterwegs noch andere Arbeiten im Gange sein, so müsste ganz wesentlich stärker ventiliert oder ein anderes Lüftungssystem benützt werden.

b) Saugen mit Zusatzspülung

Würde man nur saugen, so würde der Vorort nicht richtig gelüftet; es würde nur der hintere Teil des Schwadens abgesogen. Es braucht daher noch eine blasende Spülung, deren Luftstrahl bis zur Brust reicht. Der vorderste Teil des Vortriebes wird also durch Verdünnung belüftet, der hintere Teil des Schwadens wird abgesogen. Hauptlüftung und Zusatzventilator sollen in einer Weise dimensioniert werden, dass die beiden Schwadenteile gleichzeitig verschwinden (siehe Formel für die Wartezeit in Bild 18). Es ist noch zu beachten, dass auf der Absaugseite ein Verwirbelungsfaktor k eingeführt ist, für den im Fall grosser Querschnitte etwa 2 einzusetzen ist. Damit wird angenommen, dass die doppelte Menge des Schwaden-Volumens abgesaugt werden muss, weil der «Zapfen» nicht schön kompakt in die Lutte fliesst, sondern an den Enden sich mit der Nachbarluft vermischt, was besonders bei grossen Profilen der Fall ist. Im Bericht von Prof. Stahel wurde in den kleinen Stollen mit k = 1,5 gerechnet. Es ist noch festzustellen, dass die absaugende Lüftung unter den gegebenen Verhältnissen wirtschaftlicher ist als die blasende. Der Verwirbelungsfaktor k beträgt nur 2, der Verdünnungsfaktor jedoch 4. Die Lutte sollte also möglichst nahe an die Brust herangeführt werden.

Gleiches Zahlenbeispiel: t = 30 min, Q_z = 7,1 m³/s, Q = 14,2 m³/s. Die doppelte Lüftungszeit ergibt also gerade wieder die gleiche Ventilationsmenge, dafür ist aber am Ende der Wartezeit der Schwaden wirklich weg.

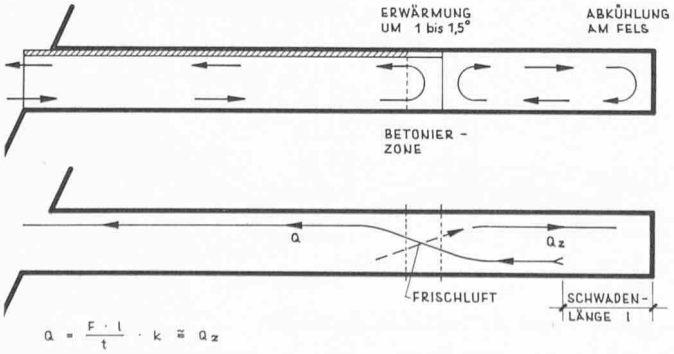


Bild 19. Natürliche Luftströmung in hohen Tunnelprofilen (oben) und entsprechende Anordnung der Ventilationsleitungen (unten)

Die berechneten Luftmengen sind diejenigen, welche vor Ort tatsächlich ankommen bzw. abgesaugt werden sollen. Was unterwegs infolge Undichtigkeit der Leitung verloren geht, muss bei der Bemessung der Ventilatoren hinzugeschlagen werden. Diese Leitungsverluste fallen ganz erheblich ins Gewicht, wie folgende tatsächlich gemessenen Beispiele zeigen:

Leitung	Φ 70 cm	Länge	500 m	blasend	Verlust	90 %
»	40 cm	»	400 m	saugend	»	85 %
»	50 cm	»	250 m	saugend	»	80 %
»	120 cm	»	250 m	blasend	»	65 %

Nach diesen Beispielen wirklich sehr unwirtschaftlicher Anlagen zu schliessen, müsste der Ventilator das fünf- bis zehnfache der oben bestimmten Luftmenge liefern! Dass aber tatsächlich auch bessere Lutten existieren, zeigen die folgenden beiden Beispiele:

Leitung	Φ 60 cm	Länge	1700 m	blasend	Verlust	15 %
»	60 cm	»	700 m	saugend	»	18 %

Selbst bei sehr sorgfältigem Unterhalt der Luftleitung erscheint ein Dimensionierungszuschlag von 20 % als angemessen.

3. Schuttern

Die mechanischen Ladegeräte bedeuten insofern eine Gefahr, als sie viel Staub aufwirbeln. Dieser lässt sich allerdings durch gutes Durchnässen des Haufwerkes stark vermindern. Doch sind immer noch gefährliche Konzentrationen angetroffen worden (10 bis 20 mg/m³). Es scheint, dass sich Schotterhaufen mit sehr viel Feinanteil nur schwer benetzen lassen. Aus den bisherigen Messungen lassen sich noch keine Richtlinien für die Ventilation ableiten. Man hält sich auf der sicheren Seite, wenn man die für den Sprengschwaden dimensionierte Ventilation auch während der Schutterzeit arbeiten lässt.

Schlimmer als der Staub ist unter Umständen der Rauch von Dieselmotoren. Natürlich haben Dieselbagger und Dieselfahrzeuge den grossen Vorteil besserer Beweglichkeit gegenüber dem Schienenbetrieb. Auch kommt dieser ja bei Steigungen über 25 ‰ sowieso nicht in Betracht. Der manchmal sehr dichte Rauch der Dieselfahrzeuge bedeutet aber eine gefährliche Sichtbehinderung für den Verkehr und ferner bewirkt sein Gehalt an Aldehyden eine unangenehme Reizung der Augen. Wichtig ist die gute Wartung der Motoren; auch gibt es neuerdings Zusätze zum Treibstoff, welche die Verbrennung im Zylinder verbessern und die Rauchplage stark vermindern.

Es ist vorläufig noch sehr schwierig, für solche Betriebszustände allgemein gültige Regeln für die Ventilation aufzustellen. Die längs des ganzen Tunnels entstehende Luftverschmutzung würde eine Querlüftung erfordern wie in Strassentunneln unter Verkehr, nur kann man eben im Tunnelbau nicht den gleichen Aufwand treiben. Bei kurzen Tunneln ist am ehesten noch eine ganz massiv dimensionierte blasende Ventilation am Platz, die erheblich über die von der SUVA vorläufig noch verlangten 2 m³/min, PS (neuerdings 4 m³/min, PS) hinaus geht. Dann ist wenigstens der Vorort sauber und die grösste Konzentration herrscht am Portal, was die Chauffeure beim Durchfahren nicht allzu stark belästigt. Sobald aber andere Arbeiten weiter hinten im Gange sind, kann es soweit kommen, dass diese während der Schotterzeit eingestellt werden müssen oder dass zum Beispiel nur nachts geschottert wird. Es ist schwierig, sich bei langen Tunneln ein wirtschaftlich vertretbares System von Querlüftung vorzustellen, wie es nötig wäre. Besser und einfacher erscheint hier der Gleisbetrieb, denn lange Tunnel sind ja kaum zu steil dafür.

4. Natürliche Luftströmung

Es bleibt noch auf eine Erscheinung hinzuweisen, die in hohen Tunnelprofilen angetroffen wurde. Es handelt sich um thermische Luftströmungen, die auf folgende zwei Ursachen zurückzuführen sind: a) Erwärmung der Tunnelluft im Bereich des frisch gegossenen Betons; b) Abkühlung der Tunnelluft durch den unverkleideten Fels im vordern Teil des Tunnels. Prof. *H. Gessner* hat im Rahmen der Arbeitsgruppe nachgerechnet, dass die Ventilation nur etwa die Hälfte der Wärmemenge abführt, die mit den Maschinen und mit der Abbindewärme des Betons in den Tunnel geschleppt wird. Der Rest wird vom Fels übernommen.

Die Folge dieser Erwärmung und Abkühlung ist die Bildung von zwei Kreisläufen: Aufstieg in der Betonierzone, Umlauf gegen das Portal, Absteigen an der Brust, d. h. geschlossener Kreislauf zwischen Betonierstelle und Vorort (Bild 19). Die gemessenen Strömungsgeschwindigkeiten betragen 0,2 bis 0,25 m/s, was auch ungefähr mit der Rechnung übereinstimmt. Diese Strömung macht sich bemerkbar, solange die künstliche Ventilation nicht wesentlich stärker ist, d. h. etwa Geschwindigkeiten von 0,3 bis 0,4 m/s erzeugt.

Ungünstig ist, dass die auf natürliche Weise einströmende Luft an der Betonierstelle wieder umkehrt und ungenützt wegstreicht. Im innern Kreislauf wird die verschmutzte Luft immer wieder neu umgewälzt. Dies ist auch ersichtlich aus den gemessenen Konzentrationen, welche sich in solchen Fällen mehrere Stunden lang fast konstant erhielten: CO rund 100 ppm, NO_2 rund 10 ppm, Staub im Mittel 5 mg/m³, bei verschiedenen Proben aber über 10, ja sogar bis 40 mg/m³. Letztes hängt wohl auch damit zusammen, dass der Staub des Abschlages sich mit der Staubbildung des Baggerns überlagert.

An diese natürliche Luftströmung ist zu denken bei der Montage der Lüftungsleitungen. Liegt nämlich die Hauptleitung im äussern Tunnelteil am Boden und verliert sie Luft, zum Beispiel auf der Druckseite eines Axialgebläses, so wird die Verunreinigung wieder in den Tunnel getragen. Am besten ist es wohl, die Leitungen so anzuordnen, dass ihre Fliessrichtung mit der natürlichen Strömung übereinstimmt, wie das Schema Bild 19 zeigt. In der Betonierzone muss ja die Leitung sowieso umgebaut werden. Weiter hinten kann bei Strassentunneln der definitive Luftkanal für die Betriebslüftung mitverwendet werden, nur ist darauf zu achten, dass alle Öffnungen und Aussparungen sorgfältig geschlossen werden. Die Luft hat nämlich wie der Mensch die unverbesserliche Tendenz, den Weg des geringsten Widerstandes einzuschlagen.

Adresse des Verfassers: Prof. *Hans Grob*, dipl. Bau-Ing., Institut für Strassen-, Untertag- und Eisenbahnbau an der ETH, 8006 Zürich, Clausiusstrasse 33.

Primarschulanlage in Möriken-Wildegg als Beispiel einer Pavillonanlage

DK 727.112

Metron-Architektengruppe: **M. Frey, A. Henz, H. Rusterholz, P. Stolz;** Mitarbeiter: **H. Anliker, F. Roth**

Zum Projekt

Das Projekt erzielte 1964 in einem Wettbewerb den ersten Preis. Anschliessend wurde es gründlich überarbeitet und 1966 von der Gemeindeversammlung zur Ausführung in drei Etappen bestimmt.

Der Bauplatz ist eine schön gelegene Auwiese in der Sohle des Bünztales. Auf der Nordostseite steigt der Hang gegen das Dorf Möriken an. Auf der Südost- und Südwestseite fliesst die Bünz zwischen dichtem Ufergehölz in sanftem Bogen um das Areal. Dieses wird durch je eine Fahrzeug- und eine Fussgängerbrücke erschlossen.

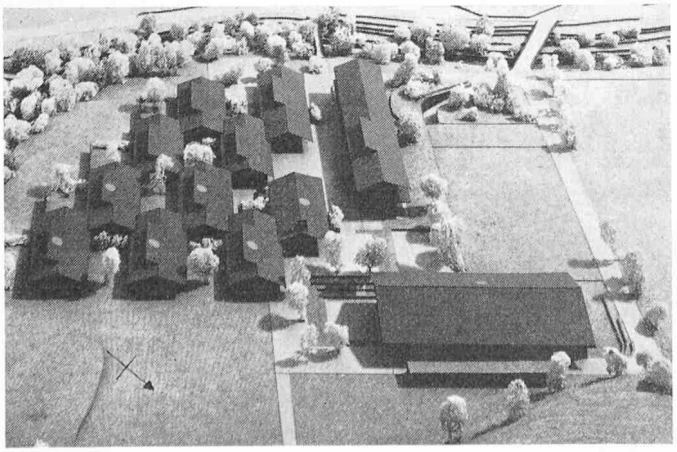
Die Anlage ist als *Pavillonschule* konzipiert, wobei jeder Klassenpavillon einem davorgelegenen Gartenhof zugeordnet ist. Gartenhöfe und Schulzimmer bilden dabei ein schachbrettartiges Muster. Die Verbindungsgänge sind gedeckt, windgeschützt, aber offen, und dienen zugleich als Pausenhallen. In einem allgemeinen Gebäude sind Handfertigkeitsräume, Schulküche und Aula untergebracht. Ein weiteres Gebäude enthält die Turnhalle und die dazugehörenden Nebenräume.

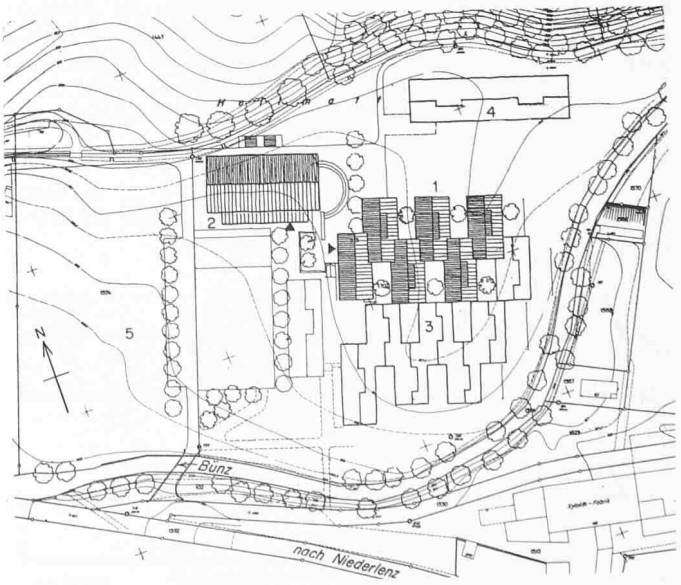
Jedes *Normal-Schulzimmer* bildet mit zugehöriger Garderobe, WC, Materialraum und Lehrerarbeitsnische eine selbständige Einheit. Die Fläche (90 m²) ist um rund 20 m² grösser gewählt worden, als dies die kantonale Vorschrift verlangt. Dadurch erhalten die heute im Kanton Aargau immer noch zu grossen Klassen (bis zu 55 Schülern . . . !) genügend Raum. Sollte aber die seit langem geforderte Reduktion der Klassenbestände auf den für Primarschulen wünschbaren Höchstbestand von 35 Schülern doch noch Wirklichkeit werden, so würde pro Schüler rund 2,5 m² Unterrichtsfläche zur Verfügung stehen, was etwa dem heutigen englischen oder amerikanischen Standard entspricht. Die Unterteilung des Raumes soll sich auch zukünftigen Anforderungen an den Unterricht anpassen können und wird deshalb durch die bauliche Konzeption nicht vorbestimmt. So können zum Beispiel ein normales Klassenzimmer und ein bis zwei offene oder geschlossene Gruppenarbeitsräume gebildet oder der Raum für programmierten Unterricht eingerichtet werden.

Die Pavillons haben Giebeldächer mit einem Oblicht (Dachschrägen im Raum sichtbar). Tiefliegende Traufen geben dem Raum eine wohnzimmerartige Atmosphäre. Jeder Gartenhof erhält einen Schattenbaum und ermöglicht einen ungestörten *Freiluftunterricht*.

Ursprünglich war das Projekt als Stahl- oder Holzbau mit Aussenwänden aus hochisolierten Leichtbauplatten konzipiert. Auf Wunsch der Gemeinde wurde es umgearbeitet: die Aussenwände werden in Sichtbackstein, die Dächer in Holz mit Eternitbedachung ausgeführt. Um die speziell für eine Pavillonschule unerwünschte Speicherfähigkeit der Aussenmauern unwirksam zu machen, werden diese auf der Raumseite isoliert. Dadurch können die Aufheizzeit und damit die Heizkosten auf ein Minimum herabgesetzt werden.

Modellansicht aus Norden (vorn die Turnhalle)





Lageplan 1:2500 mit Darstellung der Etappen:

1 Schulpavillons, erste Etappe
2 Turnhalle, erste Etappe
3 Schulpavillons, zweite Etappe
4 Bezirksschule, dritte Etappe
5 Spielwiese