

Zeitschrift: Schweizerische Bauzeitung
Herausgeber: Verlags-AG der akademischen technischen Vereine
Band: 90 (1972)
Heft: 36: Internationales Symposium für Untertagebau in Luzern, 11. bis 14. September 1972

Artikel: Erdgasvorkommen im Seelisbergtunnel
Autor: Pfister, Rudolf
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-85303>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. 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. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

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. [Voir Informations légales.](#)

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. [See Legal notice.](#)

Download PDF: 06.02.2025

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

Von Rudolf Pfister, Zürich

Beim Vortrieb eines Sondierstollens für den 9,3 km langen Seelisbergtunnel wurden Methangas-Austritte in den Stollen festgestellt. Die wichtigsten Eigenschaften von Methan werden zusammenfassend wiedergegeben und die Untersuchungen zur Abklärung von Herkunft und Umfang der Gaszuflüsse beschrieben. Abschliessend folgt ein Überblick über die für den Bau des Tunnels getroffenen Sicherheitsmassnahmen.

1. Feststellung von Methan im Sondierstollen

Im Zuge der Nationalstrasse N2 entsteht am linken Ufer des Vierwaldstättersees der 9,3 km lange Seelisbergtunnel. Mit seinen zwei doppelspurigen Röhren, den vier Lüftungszentralen, einem Luftschacht und einem Luftstollen stellt er ein Bauwerk von gleicher Grössenordnung dar wie der Gotthard-Strassentunnel. In technischer Hinsicht bietet er ebenso viele, zum Teil aber ganz anders gelagerte Probleme, von denen im folgenden nur dasjenige des Erdgasaustrittes behandelt werden soll.

Die heutige Linienführung (Bild 2) ist erst in einem späten Stadium der Projektierung aus einer ursprünglichen Variante mit zwei kürzeren Tunnels hervorgegangen, nachdem vertiefte geologische Studien eine permanente Bedrohung des Trassees im offenen Zwischenstück durch eine latente Rutschzone aufzeigten. Mit der ins Berginnere verschobenen Linienführung muss eine Durchquerung der zwischen Axen- und Drusbergdecke gelegenen Valanginienmergel bei teilweise recht beträchtlicher, d. h. gegen 1000 m ansteigender Überdeckung in Kauf genommen werden. Die Kenntnis der bautechnischen Eigenschaften dieser Gesteinsformation ist verhältnismässig bescheiden, da in ihr bisher nur wenige Stollenbauten unter vergleichbaren Verhältnissen erstellt worden sind.

Zwecks geologischer Prospektion wie auch aus programmlichen Gründen wurde 1970 – vorgängig der Vergebung der Bauarbeiten – in Huttegg bei Bauen ein rund 675 m langer Sondier- und Erschliessungstollen bis in den Bereich der künftigen Lüftungszentrale vorgetrieben. Diese Arbeit erfolgte ohne nennenswerte Schwierigkeiten mit einer Vortriebsmaschine von 3,5 m Durchmesser (Bild 1).

Im Februar 1971, nachdem der Vortrieb bereits seine Endlage erreicht hatte und die Maschine in Demontage be-



Bild 1. Beginn der Bohrarbeiten für den Sondierstollen Huttegg

griffen war, kam beiläufig die Meldung von der Baustelle, dass es an einer Stelle im Stollen nach Schwefelwasserstoff («faulen Eiern») rieche. Da H_2S ein Indikator für die Anwesenheit anderer Gase, vornehmlich Methan, sein kann, wurde als erste Sofortmassnahme die permanente Inbetriebhaltung der Stollenventilation angeordnet und die Durchführung von Gasmessungen veranlasst.

Schon die erste Messung zeigte, dass Methan in nicht vernachlässigbaren Mengen in den Stollen einströmen musste. Jetzt war auch zu vernehmen, dass schon seit einiger Zeit das Austreten von Gas aus einer Ritze nahe dem Stollentiefst beobachtet, jedoch für harmlos gehalten worden war. Probeweise hatte man sogar diese Gasquelle angezündet. Nur dank der guten Stollenventilation wurde ein Unglück dabei vermieden. Bei der Vorbereitung zur pyrotechnischen Sprengung einer kleinen Nische war es dann zu einer Abflammung an der Brust gekommen. Auch dieses Ereignis war offenbar vom betreffenden Polier zunächst nicht als meldewürdig empfunden worden. Eine gewisse Sorglosigkeit gegenüber dem Erdgas oder eine Unkenntnis der damit verbundenen Gefahren scheint leider selbst bei stollengewohnten Leuten noch verbreitet zu sein.

Es ist allerdings zu bemerken, dass die Gasvorkommen im Hutteggstollen alle Beteiligten überraschten. Nach geologischem Gutachten waren zwar Gasvorkommen im Seelisbergtunnel nicht auszuschliessen. Die Aufmerksamkeit konzentrierte sich aber hauptsächlich auf die Flyschschiefer und die Altdorfer Sandsteine. In der gleichen Formation hatte sich im Jahre 1964 beim Bau des Druckstollens des Kraftwerkes Bürglen eine Methangasexplosion ereignet.

Ganz allgemein sind Erdgasaustritte in der Schweiz, namentlich in der subalpinen Molasse und im Flysch, nicht ganz so selten, wie man gemeinhin annimmt. So hatte man sich zum Beispiel schon beim Stollenbau für die Kraftwerke Wägital, Etzel, Sernf-Niederbach, Bürglen, Hongrin und neuerdings im Rothornstollen der Transitgas AG mit diesem Phänomen zu befassen (Bild 3). Am bekanntesten sind wohl die beim Bau des Rickentunnels 1903/10 angefahrenen, zum Teil heute noch nicht versiegten Gasquellen. Aufschlussreich für die Auffassung jener Zeit ist in diesem Zusammenhang die Bemerkung im Gutachten des damaligen Experten, T. Gruner: «Als Hindernis für die Fortsetzung der Arbeiten, als Fall von höherer Gewalt (force majeure) aber kann das Auftreten der Gase nicht betrachtet werden, wenn sie nicht in bedeutend grösserer Menge als jetzt vorkommen. Die heute herrschenden Verhältnisse finden sich in gleicher Weise in vielen bergmännischen Betrieben.»

Die Anstrengungen zur Bewältigung der neuen Situation im Seelisbergtunnel richteten sich in folgender Dringlichkeit auf:

- Sofortmassnahmen zur gefahrlosen Fertigstellung der begonnenen Arbeiten im Erschliessungstollen
- Abklärung der Herkunft des Erdgases und des zu erwartenden Umfangs der Gasvorkommen
- Sicherheitsmassnahmen für die Bauarbeiten des Tunnels
- Erforderliche Projektanpassungen und -ergänzungen zur Gewährleistung eines gefahrlosen Tunnelbetriebes.

Diese Abklärungsarbeiten standen unter Zeitdruck. Im Zeitpunkt der Feststellung der Erdgasvorkommen war die Submission für alle Bauarbeiten des Seelisbergtunnels bereits im Gange. Vergabung und Aufnahme der Arbeiten sollten nach Möglichkeit keine Verzögerung erfahren.

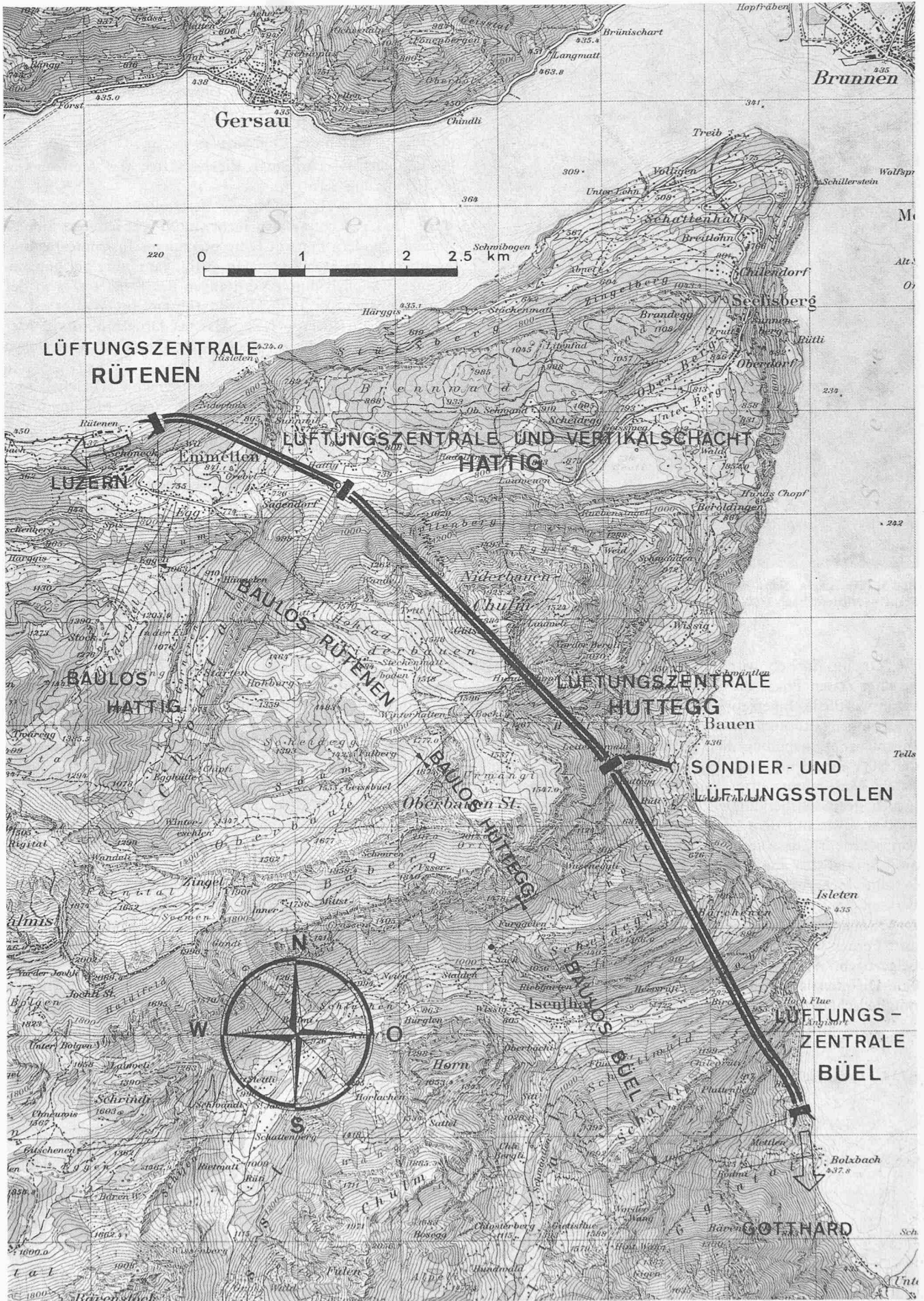


Bild 2. Übersichtskarte des Seelisbergtunnels 1: 50 000. Reproduktion mit Bewilligung der Eidg. Landestopographie vom 1. September 1972

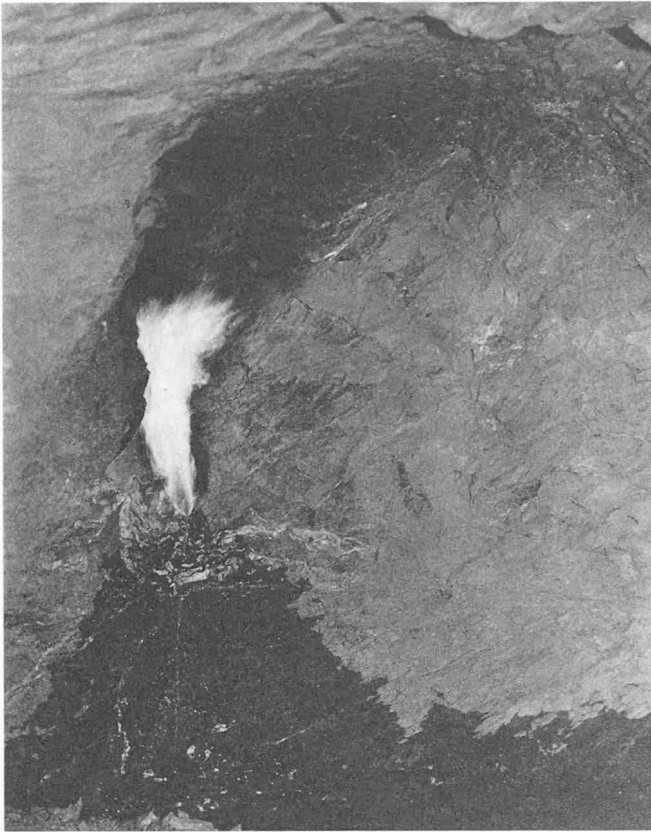


Bild 3. Abfackeln eines Bläfers in einem Stollen des Kraftwerkes Sernf — Niederenbach 1930 (Photo Schönwetter)

Organisatorisch wurde die Arbeit so angepackt, dass in einer ersten Phase die für Projektierung und Bauleitung verantwortliche Ingenieurgemeinschaft Seelisberg (Elektrowatt Ingenieurunternehmung AG, Zürich und Suselectra Ingenieurunternehmung AG, Basel) in Zusammenarbeit mit der SUVA und mit Ingenieur *Amberg*, Sargans, die dringlichen Massnahmen traf. Im Einvernehmen mit den Bauherren des Seelisbergtunnels, den Kantonen Uri und Nidwalden sowie mit dem Eidg. Amt für Strassen- und Flussbau wurde später diese Arbeitsgruppe unter Beizug von zwei Spezialisten aus dem westfälischen Steinkohlenbergbau in eine Sicherheitskommission umgewandelt. Als Berater wirkten das Eidg. Starkstrominspektorat sowie die Geologen Dr. T. Schneider, Männedorf/ZH und Dr. U. Büchi, Zürich, mit. Ferner wurden auch die betroffenen Unternehmungen beigezogen. Aus formalrechtlichen Gründen wurde später eine Differenzierung in der Bezeichnung der Kommissionsmitgliedschaft vorgenommen, was aber für die praktische

Bearbeitung von untergeordneter Bedeutung ist. Die Aufgabe der Kommission besteht in der Erarbeitung aller erforderlichen Weisungen zur Verhinderung von Unfällen durch Erdgas bzw. in der sicherheitstechnischen Begutachtung der von Bauleitung und Unternehmung unterbreiteten Vorschläge.

2. Eigenschaften des Methangases

Zunächst seien einige Eigenschaften des Methangases in Erinnerung gerufen.

Methan (CH₄), wichtigster Bestandteil des Erdgases, ist farb- und geruchlos, also nicht durch menschliche Sinnesorgane, sondern nur mit Hilfe besonderer Instrumente, feststellbar. Es ist brennbar, nicht giftig, kann aber bei höheren Konzentrationen durch Verdrängen des Sauerstoffes in der Luft trotzdem zu Erstickungen führen. Im Wasser ist es wenig löslich, aber doch so, dass bei Druckentlastung oder Erwärmung merkbare Mengen in die Luft entweichen können.

Ein Methan-Luftgemisch ist bei einem CH₄-Gehalt zwischen 5 und 14 % explosibel, mit einem Maximum bei 9,5 %. Bei Anwesenheit anderer Gase, etwa Spuren der höheren Kohlenwasserstoffe Aethan (C₂H₆), Propan (C₃H₈), wird der Explosionsbereich nach oben und unten erweitert. Unterhalb der Explosionsgrenze ist das Gemisch in einem beschränkten Bereich noch brennbar, wobei sich die Flamme mit einigen Metern pro Sekunde ausbreiten kann. Dieser Vorgang kann im Modell nachgebildet werden und wird den angehenden Bergbaufachleuten des Ruhrgebietes jeweils in einer Versuchsgrube vordemonstriert.

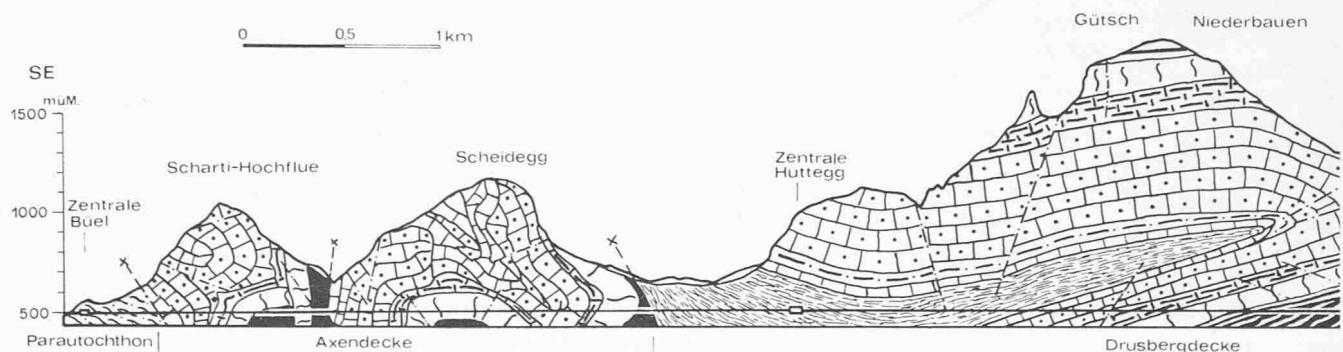
Die Explosion verläuft bei normalen Druckverhältnissen etwa nach der Formel: CH₄ + 2O₂ + 8N₂ = CO₂ + 8N₂ + 2H₂O.

Der Volumenausdehnung infolge Temperaturanstiegs bis 2650 °C folgt eine rasche Abkühlung und Volumenverminderung. Sie wird durch Kondensation des Wasserdampfes noch verstärkt (Reduktion von ursprünglich elf auf neun Raumteile). Auf den Detonationsschlag folgt also ein Rückschlag in Gegenrichtung, daher die Bezeichnung «schlagende Wetter» oder «Schlagwetter».

Je nach örtlichen Druckverhältnissen schwankt die Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Explosion von weniger als 1 m/s bis gegen 330 m/s. Entsprechend kann die zerstörende Kraft nur gering oder aber ganz erheblich sein und selbst massive Installationen demolieren. Die Nachschwaden weisen regelmässig einen hohen CO-Gehalt (1000 bis 1500 ppm) auf und sind begleitet von Sauerstoffmangel; sie sind also äusserst gefährlich.

Die Entzündungstemperatur eines explosiblen Methan-Luftgemisches liegt bei etwa 650 °C. Zu den häufigsten Zündquellen zählen: offene Flammen (zum Beispiel An-

Bild 4. Geologisches Profil in der Achse des Seelisbergtunnels 1 : 40 000 nach Dr. T. Schneider



zünden von Rauchzeug), elektrische Funken, Verbrennungsmotoren, Explosionen von gewöhnlichen Sprengstoffen, allenfalls auch elektrostatische Entladungen (Gefahr bei Verwendung von Plastikbauteilen). Massgebend ist aber nicht nur die Temperatur, sondern auch die Einwirkungszeit, so dass zum Beispiel das Verglühen eines Drahtes nicht unbedingt zur Zündung führen muss.

Methan hat ein spezifisches Gewicht von $0,717 \text{ kg/Nm}^3$, ist also wesentlich leichter als Luft und sammelt sich deshalb an der Decke und in obenliegenden Hohlräumen. Am Übergang zur darunterliegenden Luft entsteht irgendwo eine explosible Grenzschicht. Die gefährliche Schichtenbildung ist deshalb in unterirdischen Hohlräumen sorgfältig zu vermeiden. Nach erfolgter Durchmischung mit Luft kann jedoch eine Entmischung nicht mehr von selbst stattfinden.

3. Herkunft und Umfang der Gaszuflüsse

Methan entsteht durch Umwandlung organischer Stoffe unter Luftabschluss, wobei Druck und Temperatur eine entscheidende Rolle spielen. Nach neuerer Auffassung ist jedes Sediment ein potentielles Gasgestein. Das Methan wird entweder in den Poren des Muttergesteins zurückgehalten oder wandert über durchlässige Zonen in poröse Speichergesteine und unterirdische Hohlräume oder aber entweicht an die Oberfläche. Bei Kompression des Gesteins, zum Beispiel im Gefolge der Gebirgsbildung, kann das Gas unter Druck geraten.

Die Freisetzung des Gases erfolgt

- durch Diffusion dank der Permeabilität des Gesteins; Erscheinungsform: flächenhafte Ausgasung, Ausmass eher gering
- über lokale Inhomogenitäten; Erscheinungsform: örtliche Gasquellen (sogenannte «Bläser»), Ausgasungsmengen grösser
- beim Anschneiden von gasführenden Hohlräumen, Klüften oder Spalten; Erscheinungsform: Bläser, oft grosse Gasmengen, allenfalls abhängig vom Barometerdruck.

Ein Blick auf das Längenprofil in Bild 4 zeigt die Komplexität der geologischen Verhältnisse im Bereich des Seelberg隧nells. Die Durchquerung der stark verfalteten Axen- und Drusbergdecken führt in ständigem Wechsel durch die ganzen Gesteinsserien der helvetischen Kreide bis zum Alttertiär. Die Interpretation der Beobachtungen im Huttleggstollen und namentlich die Übertragung auf das Gesamttrasse bietet daher einige Schwierigkeiten. Folgende Schlüsse sind jedoch zulässig:

- Der Valanginienmergel ist mit grosser Wahrscheinlichkeit ein Erdölmuttergestein. Es sind also auch langfristig - allerdings geringere - Ausgasungen zu erwarten.

- Als Muttergestein kommen auch andere Formationen, so namentlich die alttertiären Flysche und die in grosser Tiefe unterlagerte Molasse in Frage, so dass in gewissen Zonen auch mit immigriertem Gas zu rechnen ist.
- Als bevorzugte Wanderwege müssen vor allem die tektonischen Störzonen im Auge behalten werden.
- Eine Verschiebung des Tunneltrassees bringt keinen Gewinn. Jede unterirdische Verbindung aus dem Raum Stans in den Raum Altdorf führt durch dieselben Gesteinsformationen.
- Das Trasse lässt sich in die Zonen einteilen:
 - a) als Gas-Muttergestein bekannt
 - b) als Gas-Muttergestein verdächtig
 - c) aus tektonischen Gründen als gasführend verdächtig
 - d) Gasführung unwahrscheinlich.

Diese Klassierung nach unterschiedlicher Gefährdung dient als Basis für den Grad der zu treffenden Sicherheitsmassnahmen.

Zur Gewinnung quantitativer Aussagen wie auch zur Überprüfung der bisherigen Schlussfolgerungen wurde eine Reihe von Untersuchungen durchgeführt:

Messung des Gaszuflusses in den Sondierstollen Huttlegg

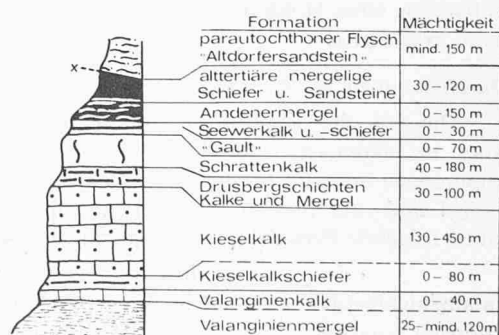
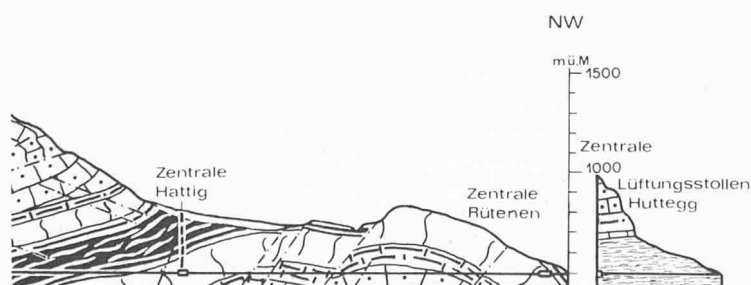
Dazu wurde die Ventilation für eine bestimmte Zeitdauer abgestellt und die Konzentration von Methan und Sauerstoff im ganzen Stollen gemessen. Bild 5 zeigt die Konzentrationsverteilung am 17. Mai 1971 nach 48stündiger Stilllegung der Ventilation. Daraus lässt sich für die letzten 100 m vor der Stollenbrust eine mittlere Ausgasung von etwa $3,5 \text{ l/h}$ und m^2 Stollenwand errechnen. Bezogen auf die hintern zwei Drittel des Stollens ergibt sich noch rund 1 l/h und m^2 . Es ist zu beachten, dass diese Werte auch den Anteil der Bläser enthalten und die flächenhafte Ausgasung somit kleiner sein muss.

Die Wiederholung der Messungen erbrachte keinen merklichen Rückgang des Gaszuflusses, dies obwohl der Stollen inzwischen über ein Jahr offen gestanden hatte. Ebenso ergab die langdauernde Beobachtungsreihe keine eindeutige Abhängigkeit der Ausgasung vom Barometerdruck.

Messung des Gaszuflusses und des -druckes in Bohrlöchern

Zwischen TM 205 und der Stollenbrust wurden 13 Bohrlöcher mit normalem Bohrerhammer, Durchmesser 32 mm, 2,4 m tief gebohrt. Sofort anschliessend erfolgte eine CH_4 -Messung am Bohrlochmund, die dann in immer wachsenden Zeitabständen wiederholt wurde.

Die errechneten Gaszuflussmengen schwanken um einen Faktor 10^4 und erreichen in einem besonders ergiebigen Loch den Höchstwert von 17 l/h und m^2 Bohrlochwandung. (Ein Bohrloch, das mit dem Bläser bei TM 665 in Verbindung stand, lieferte fast reines Methan und ist hier nicht mitgezählt.) Die Zuflussmengen gingen in fast allen Bohr-



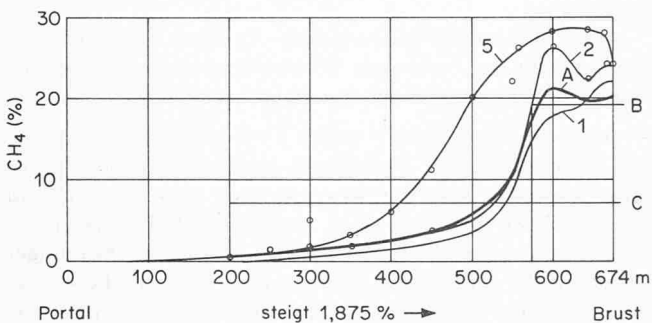
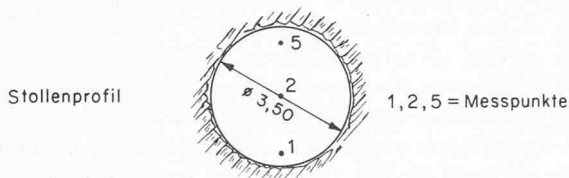
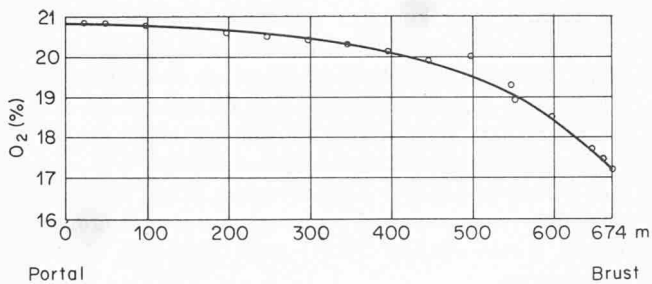


Bild 5. Sauerstoffkonzentration (oben) und Methankonzentration (unten) im Sondierstollen Huttegg am 17. Mai 1971 nach 48stündiger Stilllegung der Ventilation. A Mittelwert über den Querschnitt; B Mittelwert über 100 m: 19,3 % CH₄; C Mittelwert über 474 m: 7,19 % CH₄

löchern im Laufe von zwei Wochen merklich zurück, und zwar besonders stark in den Löchern mit anfänglich grösserer Ergiebigkeit. Offenbar findet jeweils zu Beginn eine Entleerung über ein Netz von Haarrissen statt.

In diesen kleinkalibrigen Löchern war es nicht möglich, den Aufbau eines Gasdruckes zu messen. Dagegen gelang dies in einzelnen der 5 bis 67 m langen Sondierbohrungen, Durchmesser 64 mm, am Ende des Huttegg-Stollens im Bereich der künftigen Lüftungszentrale. Die Manometerablesung am abgedichteten Bohrloch Nr. 2 ergab einen Gasdruck von 3,8 atü, am Bohrloch Nr. 5 von 0,5 atü.

Auch bei diesen Bohrungen waren grosse örtliche Unterschiede in der Gasführung festzustellen. Die laufenden Konzentrationsmessungen am Bohrlochmund während der Bohrarbeiten zeigten anfänglich meist Werte um und unter 1 % CH₄, die dann in einem Fall unvermittelt auf 27 % CH₄, in einem andern Fall auf 33 % und später sogar auf 80 % CH₄ anstiegen. Trotz laufender Ventilation mussten die Arbeiten mehr als einmal unterbrochen und der Stollen verlassen werden. Auch hier handelte es sich um eine Entleerung eines Hohlraumsystems im Gestein, das sich aber rasch erschöpfte.

Durchlässigkeit des Gesteins

Die von der Elwerath in ihrem chemischen Zentrallabor in Hannover freundlicherweise durchgeführten Bestimmungen an zehn Gesteinsproben aus dem Valanginienmergel und drei Proben aus dem Altdorfer Sandstein ergaben folgende Permeabilitätswerte in Milli-Darcy (md):

	Mittel	Streibereich
Valanginienmergel	0,12	0,01 bis 1,2 md
Altdorfer Sandstein	0,08	0,01 bis 0,4 md

(1 md entspricht $k = 10^{-6}$ cm/s und wird als unterste Grenze der kommerziellen Ausbeutbarkeit betrachtet.)

Die sehr kleinen Durchlässigkeitswerte lassen auch nach der primären Entleerung über die Haarrisse noch eine langandauernde, wenn auch bedeutend schwächere, flächenhafte Ausgasung erwarten.

Porosität des Gesteins

Die Porosität lässt Rückschlüsse auf das gesamte im Gestein gespeicherte Gasvolumen zu. Die Bestimmung erfolgte an den gleichen Proben:

	Mittel	Streibereich
Valanginienmergel	3,3	1,3 bis 5,5 %
Altdorfer Sandstein	0,9	0,7 bis 1,2 %

Bei einer mittleren Porosität von 3,3 % und einer angenommenen Gasfüllung des Porenraumes von 50 bis 80 % sind somit im Mittel rund 201 Gas in einem Kubikmeter Gestein (Valanginienmergel) enthalten, wenn das Gas nicht unter Druck steht, oder etwa 100 l/m³, wenn der Porengasdruck auf 4 atü steigt.

Zur Kontrolle wurde die Zunahme des Gaszuflusses nach einer Sprengung gemessen. Bezogen auf die gesprengte Gesteinsmasse ergab sich eine spezifische Ausgasung von rund 60 l/m³. Es handelt sich bei diesem Wert aber nur um eine grobe Näherung, da sich einerseits die gesprengte Gesteinsmasse nicht gänzlich entleeren kann, andererseits auch das umgebende Gestein durch Sprengrisse gelockert wird und einen gewissen Gasanteil liefert. Immerhin ist eine Grössenordnung damit gegeben.

Chemische Gesteins- und Gasanalysen

Die chemischen Gesteinsanalysen der Elwerath bestätigten eindeutig den Erdölmuttercharakter der Valanginienmergel. Sie brachte ferner den Nachweis flüssiger Kohlenwasserstoffe im Gestein in der Grössenordnung von etwa 1/2 Gewichtsprozent.

Die Anwesenheit höherer Kohlenwasserstoffe ergab sich ferner aus der Gasanalyse. Das Mittel zweier Proben aus dem Bläser bei TM 665, umgerechnet auf das Gesamtgasvolumen, lautet:

He	0,006 Vol.-%	C ₂ H ₆	0,9 Vol.-%
H ₂	0,01 »	C ₃ H ₈	0,07 »
CO ₂	0,15 »	C ₄ H ₁₀	0,014 »
CH ₄	98,9 »	C ₆ H ₁₂	Spuren

Gasaustritte an der Erdoberfläche

Ein für die Erdölprospektion entwickeltes Messverfahren der Firma Frommholz, Hannover, mittels hochempfindlicher Geräte erlaubt, Gasaustritte an der Erdoberfläche auch in kleinsten Mengen festzustellen. Aus solchen Messungen können ebenfalls Rückschlüsse auf die Gas-situation im darunterliegenden Gestein gezogen werden. Eine Messkampagne wurde kürzlich für den ebenfalls im Valanginienmergel liegenden Rothornstollen der Transigas AG und nun neuerdings auch über dem Seelisbergtunnel durchgeführt. Die Interpretation der Messresultate ist zurzeit noch nicht abgeschlossen.

Zusammenfassend beurteilt ermöglichen diese Untersuchungen eine Reihe quantitativer und qualitativer Aussagen. Unangenehm, weil zahlenmässig nicht erfassbar, bleibt aber das Phänomen der Bläser, da Voraussagen über Ort und Intensität ihres Auftretens nur in beschränktem Masse möglich sind. Diesem Umstand ist bei der Wahl und Bemessung der Schutzmassnahmen besonders Rechnung zu tragen.

4. Schutzmassnahmen

Es werden nur die besonderen Schutzmassnahmen besprochen, die für die Bauarbeiten als Folge der Gasaustritte notwendig werden. Dabei können nur einige prinzipielle Anordnungen zur Darstellung gelangen, die man sich aber durch eine Menge in mühsamer Kleinarbeit zusammengetragener Einzelheiten ergänzen muss.

Gewisse Anpassungen sind auch am Projekt erforderlich; sie sind jedoch noch nicht in allen Teilen erarbeitet und bleiben einer spätern Beschreibung vorbehalten.

Bauventilation

Die wichtigste Massnahme ist eine ausreichende Verdünnung der in den Tunnel einströmenden Gase. Ein Methangehalt in der Tunnelluft von 1 % wird allgemein als oberste zulässige Grenze betrachtet. Dieser Höchstwert darf an keiner Stelle überschritten werden; andernfalls ist der Tunnel zu räumen. Es sind dazu wesentlich grössere Frischluftmengen nötig als üblich, insbesondere zur Beherrschung überraschend auftretender Bläser. Zum Beispiel werden in einem 9-m²-Pilotstollen 5 m³/s Frischluft am Vortrieb verlangt mit der Möglichkeit einer Verdoppelung im Bedarfsfalle. Im ganzen Tunnelquerschnitt ist eine minimale Luftgeschwindigkeit von 0,5 m/s einzuhalten zur Vermeidung der gefährlichen Schichtenbildung des Methans. Eingebaute Strömungswächter kontrollieren die Kontinuität der Frischluftzufuhr. Die Hauptlüftung ist für alle Bauphasen als Umluftsystem angeordnet. In Blindstollen usw. sind besondere Wirbelventilatoren vorgesehen. Die Ventilation wird in der Regel drückend betrieben. Für einen Teil der Ventilatoren ist eine schlagwettergeschützte Ausführung gefordert. Durch mehrfache elektrische Anspeisung soll jeder Ausfall der Lüfter ausgeschlossen werden. Die Ventilation ist dauernd, auch an arbeitsfreien Tagen, in Betrieb zu halten.

Gasabsaugung

Grössere, konzentriert austretende Gasmengen werden mit Vorteil gefasst und über eine eigene Leitung ins Freie befördert. Damit wird die Belastung der Tunnelluft reduziert. Es wird deshalb eine Gasabsaugvorrichtung mit schlagwettergeschütztem Gebläse bereitgestellt.

Pilotstollen

Das ganz im Valanginienmergel liegende Baulos Huttlegg wird mechanisch aufgeföhren. Im Schutze eines Vortriebsschildes arbeitet ein baggerschaufelähnliches Abbaugerät MEMCO (genannt «Big John»). Vorgängig diesem Ausbruch wird in den beiden parallelen Tunnelröhren gleichzeitig je ein Pilotstollen nach konventioneller Bauweise vorgetrieben.

Neben Vorteilen für den Abbau mit dem «Big John» bieten diese mit häufigen Querschlägen verbundenen Stollen zusätzliche Sicherheit:

- Umluftsystem wird möglich
- geologischer Aufschluss vor dem Vollausschub
- teilweise Vorentgasung des Gesteins in die Pilotstollen
- die beim Vortrieb geforderte hohe spezifische Luftmenge ist im kleineren Stollen besser zu bewerkstelligen als im grossen Profil
- die beiden Stollen bieten im Notfall zusätzlichen Zugang und jeder dient zugleich als Fluchtweg des andern.

Vorbohren

In allen gasführenden oder gasverdächtigen Gesteinen müssen jeweils vor den Abschlägen oder entsprechend vor dem maschinellen Abbau Testbohrungen vorausgetrieben werden.

Selbstretter-Atemgeräte

Bei plötzlichem Gasausbruch oder einem Brand kann es zu gefährlichen Sauerstoffverarmungen in der Luft kommen. Den im Tunnel tätigen Personen wird deshalb ein Selbstretter-Sauerstoff-Atemgerät abgegeben, welches jedenfalls für die Zeitdauer eines Rückzuges aus dem Tunnel ausreicht.

Rettungsdienst unter Tag

Der Rettungsdienst wird gerätgemäss und personell stärker dotiert, als dies auf Untertagbaustellen normalerweise üblich ist. Die Rettungsleiter werden für ihre Aufgabe besonders vorbereitet. Dazu gehört die Teilnahme an einem mehrwöchigen Ausbildungskurs der Hauptstelle für Grubenrettungswesen in Essen. Auch die je aus Truppführer und vier Mann bestehenden Rettungstrupps werden regelmässig theoretisch und praktisch geschult und nehmen an periodischen Einsatzübungen teil.

5. Überwachung

Zusammen mit einer einwandfreien Ventilation bildet die laufende und sorgfältige Überwachung sowohl der Gaslage wie auch der geforderten Schutzmassnahmen das eigentliche Rückgrat der Sicherheitsvorkehrungen. Unternehmung und Bauleitung teilen bzw. ergänzen sich in dieser Aufgabe. Sie setzen dazu je einen Fachmann mit mehrjähriger Grubenbauerfahrung als Sicherheitsbeauftragten ein. Diese Spezialisten werden bei der CH₄-Kontrolle unterstützt durch die Abschnittsbauführer, Schichtführer, Poliere und allfälligen Wetterwarte, ferner durch Los- und Abschnittsbauleiter, welche alle mit den Methan-Handmessgeräten ausgerüstet sind. Die tägliche Überprüfung der CH₄-Konzentration umfasst nicht nur die Arbeitsstellen – vor und während der Arbeit –, sondern auch die zurückliegenden Tunnelstrecken, insbesondere Nischen, Blindstollen, Hohlräume an der Decke usw., in denen sich Gas ansammeln kann. Bohr- und Schweissarbeiten erfordern zusätzliche Kontrollen.

An Messgeräten werden bauseits zur Verfügung gestellt:

- Handmessgeräte:
 - Methanprüfer G 70 der GfG (für Konzentrationen 0 bis 5 %)
 - Interferometer Riken (für Konzentrationen 0 bis 100 %)
 - automatische Anlagen:
 - Maihak UNOR 1 (ausgerüstet mit optischer und akustischer Warnanlage)
 - ein noch zu bestimmendes Gerät bei der Vortriebsinstallation
 - TSM-60 zur Bestimmung des Sauerstoffgehaltes
 - Träger-Gasspürgerät und
 - Explosimeter Gasotrans der GfG zur Bestimmung weiterer Gase
 - LU-GA-Messer Gothe
 - Anemometer Schildknecht
- } zur Bestimmung der Luftgeschwindigkeiten

Die zum Teil recht empfindlichen Geräte erfordern eine sorgfältige Pflege durch einen geschulten Fachmann. Nach Bauende werden die Messgeräte an den Tunnelbetrieb übergeben. Es werden auch dann noch gewisse Kontrollen nötig sein, über deren Umfang aber erst später entschieden werden muss.

Adresse des Verfassers: R. Pfister, dipl. Ing. ETH, Elektro-Watt Ingenieurunternehmung AG, Selnastrasse 16, 8002 Zürich.

Résumé

Durant le percement d'une galerie de sondage pour le tunnel du Seelisberg (9,3 km), l'on a constaté des dégagements instantanés de gaz à la base de méthane. Les caractéristiques les plus importantes du méthane y sont résumées et les recherches entreprises sur la provenance et la quantité du gaz y sont décrites. La fin de l'article traite les mesures de sécurité prévues pour les travaux du tunnel.

Summary

While driving the exploratory gallery for the 9,3 km long Seelisberg tunnel the presence of methane gas was noted. The most important characteristics of methane are given above and the investigation of the origin and quantity of this gas outflow has been described. Finally, a summary of the safety measures required for the tunnelwork are given.

Bauherr und Oberbauleitung: Kantone Uri und Nidwalden.

Oberaufsicht: Eidg. Amt für Strassen- und Flussbau, Bern.

Projekt und Bauleitung: Ingenieurgesellschaft Seelisberg: Elektrowatt Ingenieurunternehmung AG, Zürich, und Suisselectra Ingenieurunternehmung AG, Basel.

Baulos Rüttenen (Tunnelbaulos): Arbeitsgemeinschaft Nord, 6375 Beckenried: Locher & Cie. AG, Bauingenieure und Bauunternehmung, 8022 Zürich; Prader AG, Ingenieure und Bauunternehmung, 8001 Zürich; AG Franz Murer, Bauunternehmung, 6375 Beckenried; Riva AG, Bauunternehmung, 6374 Buochs.

Baulos Huttegg (Tunnelbaulos): Arbeitsgemeinschaft Huttegg, 6499 Bauen: Murer AG, Bauunternehmung, 6472 Erstfeld; Losinger AG, 3001 Bern; Emil Baumann AG, Ingenieure und Bauunternehmung, 6460 Altdorf.

Baulos Büel (Tunnelbaulos): A. Marti + Cie. AG, Bauunternehmung, 6462 Seedorf und 3000 Bern.

Baulos Hattig (Schachtbaulos): Arbeitsgemeinschaft Schacht Hattig, 6376 Emmetten: Kopp Bauunternehmung AG, 6002 Luzern; H. R. Schmalz AG, Bauunternehmung, 3000 Bern; Thyssen Schachtbau GmbH, D-433 Mülheim/Ruhr.

Der Lüftungsschacht Hospental des Gotthard-Strassentunnels

DK 624.191.5:622.25

Von W. Diethelm, Locarno, und A. Schatzmann, Zürich

Der abgeteufte Vertikalschacht Hospental dient der künstlichen Belüftung des 16,3 km langen Gotthard-Strassentunnels der Nationalstrasse N2 Basel-Chiasso.

Der Schacht hat eine Höhe von rund 300 m, einen Ausbruchdurchmesser von 6,76 m und eine lichte Weite von 5,6 m.

Die Auskleidung besteht aus zwei Betonringen mit dazwischenliegender Isolation. Der Aussenring wird aus Fertigelementen von 15 cm Stärke zusammengebaut und der Zwischenraum bis zum Fels mit Drainagekies gefüllt. Der Aussenring und die innere Auskleidung aus Ortsbeton sind in Abständen von 10 m über Zwischenauflager auf den Fels abgestützt. Durch die 15 cm starke armierte Trennwand wird der Schachtquerschnitt in einen Zuluft- und Abluftkanal unterteilt.

Die Bauarbeiten haben im Juli 1970 begonnen, die Endteufe wurde im April 1972 erreicht. Ende Juli 1972 wurde auch die Betonierung des Innenringes fertiggestellt.

1. Einleitung

Der Gotthard-Strassentunnel, mit 16,3 km der längste Strassentunnel der Welt, verbindet Göschenen mit Airolo auf rund 1100 m ü.M. (Bilder 1 und 2). Er gewährleistet die wintersichere Nord-Süd-Verbindung der Nationalstrasse N2, Basel-Chiasso, durch die Alpen. Bis zur späteren Inbetriebnahme der zweiten Röhre wird der zweispurige Tunnel im Gegenverkehr befahren. Er wird künstlich belüftet nach dem Querlüftungssystem, welches entsprechend der Verkehrskapazität der zweispurigen Röhre für eine grösste Fahrzeugmenge von 1800 Personenwageneinheiten/Stunde bemessen ist. Bei der Frischluftmenge ist im Hinblick auf den späteren Richtungsverkehr eine Reserve von 30% zugeschlagen worden.

Wegen der grossen Länge des Tunnels kann die Frischluftversorgung nicht nur von den beiden Portalen aus erfolgen. Auf Grund von umfangreichen Wirtschaftlichkeitsuntersuchungen hat sich eine Disposition mit vier Lüftungsschächten als optimale Lösung ergeben. Der Tunnel wird damit in neun Lüftungsabschnitte unterteilt. Als Folge der topographischen Verhältnisse sind die Schächte nicht in regelmässigen Abständen angeordnet, und die Lüftungsabschnitte weisen demzufolge unterschiedliche Längen auf. Es erwies sich nämlich als vorteilhaft, die Strecken mit kleiner Felsüberlagerung im Norden durch Anordnung relativ wenig hoher Schächte in kurze Lüftungsabschnitte zu unterteilen, die Zonen hoher

Überdeckung im Süden dagegen mit langen Abschnitten zu unterfahren. Als Folge davon erhält der Tunnel im Süden einen grösseren Querschnitt als im Norden.

Zwei von den vier Lüftungsschächten sind Schrägschächte (Bäzberg und Motto di Dentro) und die beiden andern abgeteufte Vertikalschächte (Hospental und Guspisbach). Alle Schächte sind von der Gotthard-Passstrasse aus durch kurze Verbindungsstrassen gut zugänglich. Die Lage der Mündungen längs der Talfurche des Gotthardpasses gestattet auch den Bau möglichst kurzer Schächte. Diese Vorteile werden durch eine kräftige Auslenkung der Tunnelröhre nach Westen erreicht, welche sich auch aus anderen Gründen aufdrängte (Umfahrung des Kolkes von Andermatt und der Zonen häufiger Gesteinswechsel südlich davon).

Im folgenden wird das Projekt und die Bauausführung des rund 300 m tiefen Vertikalschachtes Hospental beschrieben.

2. Projekt

2.1 Festlegung des Schachtdurchmessers

Durch den Schacht Hospental wird bei Vollast im Normalbetrieb eine Frischluft- und Abluftmenge von je 400 m³/s gefördert. Bei Inanspruchnahme der Reserveleistung der Frischluftventilatoren kann die Frischluftmenge um 30% auf 520 m³/s gesteigert werden. Die Abmessungen des Schachtes wurden auf Grund von Wirtschaftlichkeitsrechnungen ermittelt. Für den optimalen Durchmesser gilt die Bedingung, dass die Jahreskosten bzw. deren kapitalisierter Wert (in Bild 3 mit Vergleichskosten bezeichnet) für Bau und Betrieb einen minimalen Betrag ergeben. Die jährlichen Aufwendungen setzen sich zusammen einerseits aus Beiträgen für die Verzinsung und Amortisation, den Unterhalt, die Reparaturen und Erneuerungen usw., des baulichen und elektromechanischen Teils. Beim letzteren handelt es sich um den Anteil der Installationen in der Lüftungszentrale, der durch den Leistungsbedarf des Schachtes für die Lüftung gegeben ist. Andererseits sind die durch den Schacht bedingten Betriebskosten der Lüftungsanlage (Energieverbrauch einschl. Leistungsanteil) in Rechnung zu stellen. Auf Grund der angenommenen Dauerkurve des Verkehrs kann mit einer ideellen Vollastbetriebsdauer der Frischluftventilatoren von 585 h/Jahr, der Abluftventilatoren von rund 200 h/Jahr gerechnet werden. Wie Bild 3 zeigt, beträgt der optimale lichte Durchmesser des Schachtes 5.6 m.