

Massnahmen gegen Sickerwasser im Tunnel und in den Lüftungsschächten

Autor(en): **Henke, Andreas**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Schweizer Ingenieur und Architekt**

Band (Jahr): **98 (1980)**

Heft 36: **Der Gotthard-Strassentunnel**

PDF erstellt am: **11.07.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-74183>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.

Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.

Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Massnahmen gegen Sickerwasser im Tunnel und in den Lüftungsschächten

Von Andreas Henke, Locarno

Beim Entwurf und der Detailprojektierung eines Normalprofils für Strassentunnels hat der Projektierende unter anderem die wichtige – jedoch nicht immer spektakuläre – Aufgabe, den Querschnitt so vorzusehen, dass *in den Hohlraum eindringendes Bergwasser jederzeit schadlos abgeleitet wird*. Je nach den hydrogeologischen Verhältnissen und den dem Bauwerk zugrunde gelegten Anforderungen können die dazu notwendigen Massnahmen einen mehr oder weniger grossen Umfang annehmen. Die Anforderungen sind bei Nationalstrassentunnels sehr hoch. Die *Auskleidungen müssen dicht sein*.

Verschiedene Faktoren können die Art der zu treffenden Lösung beeinflussen, worunter als wichtigste die *Häufigkeit und Menge des Sickerwassers*, die *Geometrie des Tunnels* im allgemeinen, die *provisorische und die definitive Tunnelauskleidung* zu erwähnen sind. Im Gotthard-Strassentunnel sind sowohl in der Tunnelröhre wie auch in den Lüftungsschächten klare Konzepte für die Gebirgswasserableitung realisiert. Wegen der *sehr grossen Überlagerungen und Wasserdrücke kann der Hohlraum nie vollständig abgedichtet werden*. Eine Entlastung des Wasserdruckes ist unerlässlich. Im Gotthardtunnel wurde daher ganz bewusst die *Drainagewirkung gegenüber der Abdichtung bevorzugt*. Nur in einzelnen Zonen, wo besondere Bedingungen herrschten oder spezielle Anforderungen gestellt waren, wurde,

im Bestreben nach höherer Sicherheit gegen eindringendes Wasser, von Grundkonzept abgewichen, so z.B. in den portalnahen Tunnelabschnitten sowie bei den Räumen mit elektrischen Installationen (unterirdische Lüftungszentralen und Schutzräume), wo vor dem Einbau der Betonverkleidung jeweils eine durchgehend verschweisste, felsseits mittels Schaumstoff- oder Vlieslage geschützte Kunststoff-Folie aus PVC mit 1,5 mm Stärke eingebracht wurde.

Sickerwasser in der Tunnelröhre

Die imperative Forderung nach einer sehr weitgehenden Dichtigkeit des Tunnelhohlraumes ist hauptsächlich aus der Sicht von *unerwünschter Eisbildung* begründet, und zwar auf der Fahrbahn, wo unerwartete Eisflächen zu Unfällen führen können mit weit schwerwiegenderen Folgen als auf offenen Strecken, sowie in den Lüftungskanälen über der Fahrraumdecke, wo der Nutzquerschnitt der Ventilationskanäle durch Eismassen eingeengt, oder sogar ganz blockiert werden könnten. Im Extremfall wäre sogar ein Einsturz der durch Eis überlasteten Zwischendecke zu befürchten.

Bereits im Laufe der Bauarbeiten des Gotthard-Strassentunnels wurde man gewarnt. Bei *extremen Klima- und Zug-*

luftbedingungen konnte ein *Eindringen der Gefriergrenze im Fahrraum bis zu 2 km ab Portal* beobachtet werden. Auch am *Fuss der Lüftungsschächte* sind im Extremfall *Gefrierzonen von mehreren hundert Metern Ausdehnung* zu erwarten.

Mit der zweiten negativen Voraussetzung, und zwar mit *mehr oder weniger intensivem Bergwasservorkommen*, war natürlich in allen Abschnitten zu rechnen. Auf der Südseite, ab Portal Airolo, waren bis auf etwa 1 km Länge gemäss der Prognose sogar starke, konzentrierte Wasservorkommen zu erwarten. In der Tat ergaben sich beim Vortrieb des Sicherheitsstollens eigentliche Probleme, indem die Arbeiten in dieser Zone infolge des enormen und teilweise konzentriert auftretenden Wasseranfalles – bis zu 192 l/s an der Brust – stark behindert wurden. Nebenbei darf der Hinweis von Interesse sein, dass an dieser Stelle eine *Gebirgswasserfassung* errichtet wurde, von wo aus mittels einer permanenten Pumpenanlage die Tunnelwasserversorgung gespiesen werden kann.

Der dem Strassentunnel vorangezogene Ausbruch des Sicherheitsstollens zeigte besonders in den Zonen mit vermehrtem Wasseranfall allgemein und in den Zonen, wo das austretende Sickerwasser die Stabilitätseigenschaften des Gebirges negativ beeinflusste, evident günstige Wirkung auf die Vortriebsarbeiten des Haupttunnels, indem eine vorgängige Entspannung des Wasserdruckes erreicht werden konnte. Der Sicherheitsstollen, oder *Drainagestollen*, wie er in diesem Zusammenhang besser genannt werden soll, wurde übrigens nur mit einer minimal notwendigen Felssicherung und einer Wasserableitung mit Halbschalen versehen.

Das *Grundprinzip* der im Strassentunnel zur Ableitung des Sickerwassers angewandten Methode besteht aus einer *aktiven Drainage mittels in regelmässigen Abständen von 8 m ausgelassenen offenen Fugen mit 40 cm Breite im Auskleidungsbeton*. Diese Fugen sind nach hinten durch die frei sichtbare Felsoberfläche abgeschlossen. Dem ausfliessenden Sickerwasser wirkt praktisch kein Widerstand entgegen. Damit soll erreicht werden, dass sich kein wesentlicher äusserer Wasserdruck auf das Gewölbe aufbauen kann. Zusammen mit einer konsequent und sauber durchgeführten *Vorabdichtung* und einem *möglichst wasserdichten Beton* (Dosierung 325 kg PC/m³) konnte man somit erwarten, dass keine unkontrollierten Wassereintritte in Erscheinung treten würden. Das Ziel einer dichten Tunnelröhre konnte damit kostengünstig und befriedigend erreicht werden.

Die Mehrkosten der Fugen und ihrer Abdeckung gegenüber einer Lösung

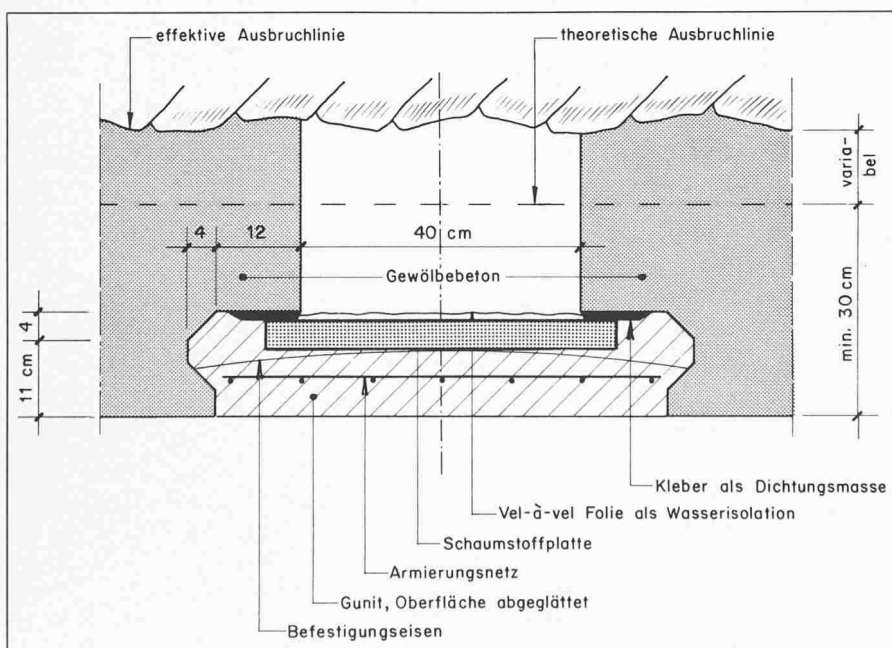


Bild 1. Querschnitt durch die Ringfuge mit Abdeckung

mit durchgezogenem Betongewölbe sind beträchtlich niedriger als die Kosten für eine durchgehende Isolationshaut, die je nach örtlichen Verhältnissen zwischen 5 bis 10 Prozent des Tunnelaufmeterpreises für den Bau ausmacht. Ausserdem sind gegenüber den vollflächigen Kunststoffabdichtungen gewisse Vorbehalte berechtigt, nicht nur in prinzipieller Hinsicht, weil mit einer starken Zurückdrängung des Wassers der Druck enorm ansteigen kann, und der Wasseraustritt irgendwo – oft auch an denkbar ungünstigen Stellen – trotzdem zum Vorschein kommt, sondern auch aus rein praktischen Gründen, da es sich gezeigt hat, dass trotz nachhaltigen Kontrollen und Flickarbeiten kleine unentdeckte Beschädigungen im Tunnelbaubetrieb nie ganz auszuschliessen sind.

Im Falle von trotzdem sich bildenden Wassereintritten besteht bei der im Gotthard-Strassentunnel getroffenen Lösung immer noch die Möglichkeit, entweder mit *Entlastungsbohrungen* von den Ringfugen aus oder mit *oberflächlichen Dichtungsmassnahmen* Abhilfe zu schaffen. Es muss dabei auch berücksichtigt werden, dass der Tunnel mit einer inneren Fahrraumverkleidung aus vorgefertigten, vorgestellten Wandplatten versehen ist und daher allfällige Feuchtigkeitsflecken nicht direkt in Erscheinung treten. Jede Ringfuge kann auch während dem Tunnelbetrieb vom Unterhaltspersonal besichtigt und kontrolliert werden, ohne dass Wandplatten demontiert werden müssen, da die entsprechenden Platten vor den Fugen mit genügend grossen Kontrollöffnungen versehen sind.

Die *seitliche Ringfugenabschalung* mit der Nut zur Aufnahme der in einem späteren Zeitpunkt aufgebrachten Abdeckung wurde bis auf 30 cm Tiefe mit *abklappbaren Stirnschalungselementen aus Stahl* bewerkstelligt. Die restliche Schalung bis zum Fels wurde mit Holz ausgeführt. Im oberen, gekrümmten Teil des Gewölbes erwies sich eine Abdeckung der Ringfuge als notwendig, um keine Störung in den Luftkanälen zu verursachen (Bild 1). Längs den Paramenten konnte und wollte man darauf verzichten, da die Fuge hinter den Wandplatten verdeckt ist und zwecks einer besseren Überwachung vorteilhafterweise ohne Abdeckung bleiben sollte.

Die Anforderungen an die *Dichtigkeit dieser Abdeckung*, die vor der Erstellung der Zwischendecke ausgeführt wurde, sind sehr hoch, wollte man doch neben den Wassereintritten auch *unerwünschte und unkontrollierte Luftzirkulation zwischen den Luftkanälen und der mit dem Fahrraum in Verbindung stehenden Ringfuge vermeiden*. Um den *Luftkurzschluss* zwischen Zuluft und Abluft auch im Falle von undichten

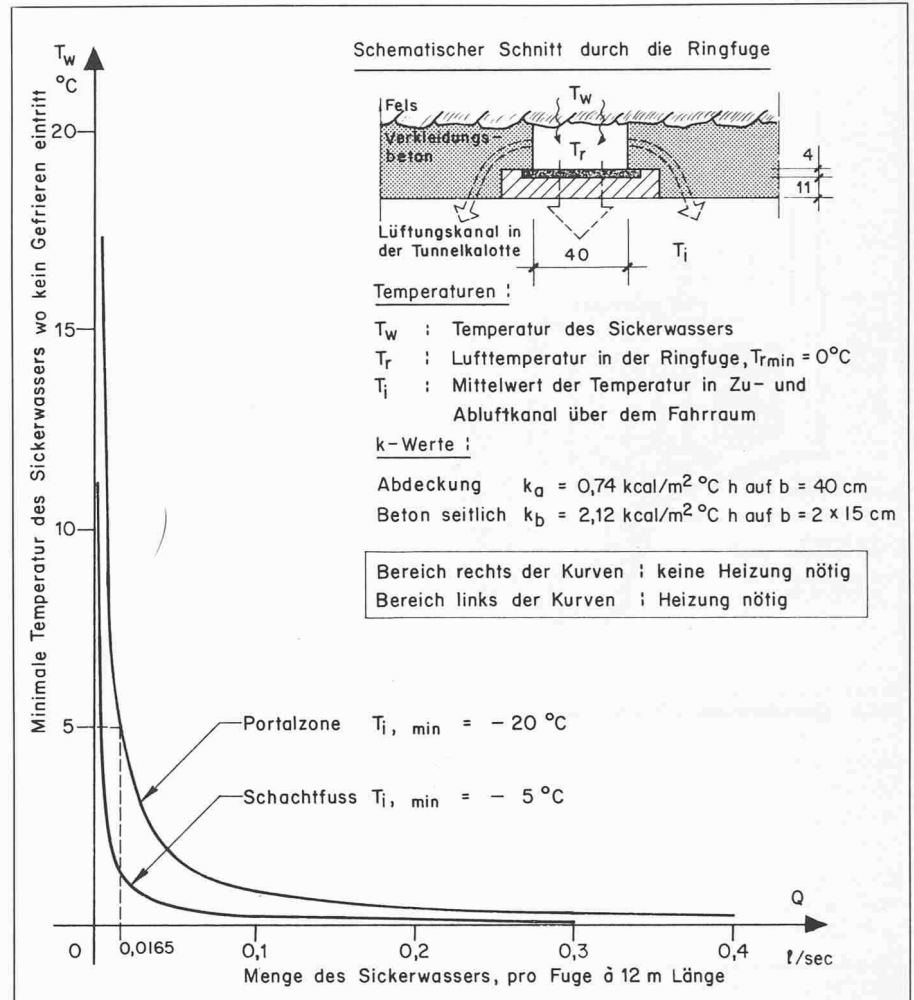


Bild 2. Sickerwassermengen und Sickerwassertemperaturen für die keine Heizung der Ringfugen notwendig ist. Die Kurven zeigen klar, dass für eine Sickerwassertemperatur von 10°C , die für die Zonen der Schachtfüsse angenommen werden darf, bereits eine sehr kleine Wassermenge ($0,12 \text{ l/min.}$) ausreicht, um die Ringfugentemperatur über 0°C zu halten. Die dieser Wassermenge entsprechende Eismenge ist sehr gering und gibt keine besonderen Probleme. In den Portalzonen, mit 5°C Sickerwassertemperatur, kann bis zu einer Wassermenge von $1,01/\text{min.}$ Eis entstehen. Daher wurden bis auf Kilometer 0,8 ab Portal Kabelrohre für den eventuellen späteren Einzug von Heizungskabeln vorgesehen

Abdeckungen zu verhindern, wurde die offene Ringfuge über der Trennwand nicht durchgehend ausgeführt, sondern mit einer Betonfüllung unterbrochen.

Für die Detailausbildung der Abdeckung standen verschiedene Lösungen zur Diskussion, worunter eine Variante mit vorgefertigten Abdeckelementen, in denen gleichzeitig der sekundäre Frischluftkanal integriert war. Unter anderem musste diese Möglichkeit wegen der Frostgefahr fallengelassen werden, da die Luftpfefen im Winter von sehr kalter Luft durchströmt werden können. Der Beschluss des Bauherrn, *Wandverkleidungsplatten* ausführen zu lassen, was eine Montage der Zuluftpfefen zwischen dem Gewölbebeton und der vorgestellten Verkleidung erlaubte, kam somit nicht ungelegen.

Besondere Aufmerksamkeit wurde der *Verhinderung von Eisbildung in den portaltnahen Fugen* geschenkt. Es ist rechnerisch sehr eingehend untersucht worden, ob und unter welchen Bedingungen allenfalls Heizdrähte vorzusehen sind, die jedes Gefrieren des Sickerwassers und damit die Eisbildung verhin-

dern sollen. Dem Berechnungsgang war die Bedingung zu Grunde gelegt, dass die dem abgeschlossenen Raum in der Ringfuge zugeführte Wärmemenge die Wärmeverluste gerade zu decken vermag. Als zugeführte Wärmemengen sind die Wärmemenge, die durch das Sickerwasser und die, welche durch eine eventuell notwendige Heizung zugeführt wird, eingesetzt worden. Den Einfluss der *Gebirgswärme*, die in diesem Zusammenhang nur einen kleinen Beitrag leistet, hat man vorsichtshalber nicht berücksichtigt.

Zuerst wurde untersucht, für welche Sickerwassermengen und Sickerwassertemperaturen die zugeführte Wärmemenge genügt, um ohne zusätzliche Heizung die Lufttemperatur in der Nische auf über 0°C halten zu können, und zwar für verschiedene Ausführungsvarianten. Dabei hat sich bald gezeigt, dass es sich lohnt, von der ursprünglich projektierten Abdeckung aus Beton abzuweichen, zu Gunsten einer besser isolierten Abdeckung, besonders, da die Verwendung von *Styroporplatten als Träger des aufgespritzten*

Durch diese Ringfugen können übrigens allfällige undichte Stellen in der Isolation besser lokalisiert werden.

Drainagewasser aus der Sohle wurde vorerst mit Zementfilterrohren in die Tunnelrigolen abgeleitet. Vor dem Belageinbau war die Sohle im Prinzip trocken. Als zusätzliche Sicherheit wurde der Fahrbahnkoffer unter dem Belag aus einem bituminös gebundenen Sickerkermischgut von 17 cm Stärke ausgeführt. Darin kann nachträglich aus der Sohle austretendes Wasser drucklos seitlich in die Hauptrigole abfließen (Bild 3).

Sickerwasserableitung in den Lüftungsschächten

Negative Erfahrungen bei ausgeführten, nicht durchgehend isolierten Lüftungsschächten in ähnlichen klimatischen Verhältnissen haben den Bauherrn veranlasst, bei allen vier Lüftungsschächten des Gotthard-Strassentunnels die Applikation einer *durchgehenden Isolationshaut* vorzuschreiben. Damit konnte man sich aufwendige Einrichtungen für allfällige Schachtheizungen und einen entsprechenden Energieverbrauch ersparen.

Die *Sicherheit gegen Eisbildung* spielt in den Lüftungsschächten unter anderem aus folgenden Gründen eine besondere Rolle:

- Aus betrieblichen und technischen Gründen erfolgt die Überwachung und Kontrolle der Schächte weniger häufig als die des Tunnels.
- Herunterfallendes Eis - bei Höhendifferenzen bis zu 520 m - kann am Schachtfuss schwere Schäden anrichten.
- Eine Blockade des Schachtquerschnittes durch Eismassen und Betriebsunterbrüche der Lüftung infolge von Räumungsmassnahmen reduzieren oder setzen mindestens teilweise die Lüftung eines Abschnittes ausser Betrieb.
- Räumungen, Instandstellungen oder sogar Sanierungen im Schacht sind sehr aufwendig und müssen unter erschwerten Arbeits- und Zugangsverhältnissen - besonders beim Schachtkopf im Winter - durchgeführt werden.

Vertikalschächte

Die beiden Vertikalschächte *Hospental* und *Guspisbach* wurden im Sprengvortrieb von oben nach unten abgeteuft. Der zur Sicherung des Hohlraumes unmittelbar über dem Ausbruch nachgezogene Aussenring dient auch als Auflage für die Isolation. Er wurde beim Schacht Guspisbach nach Ausführung einer *Vorabdichtung*, wo notwendig, an Ort direkt gegen den Fels betoniert, un-

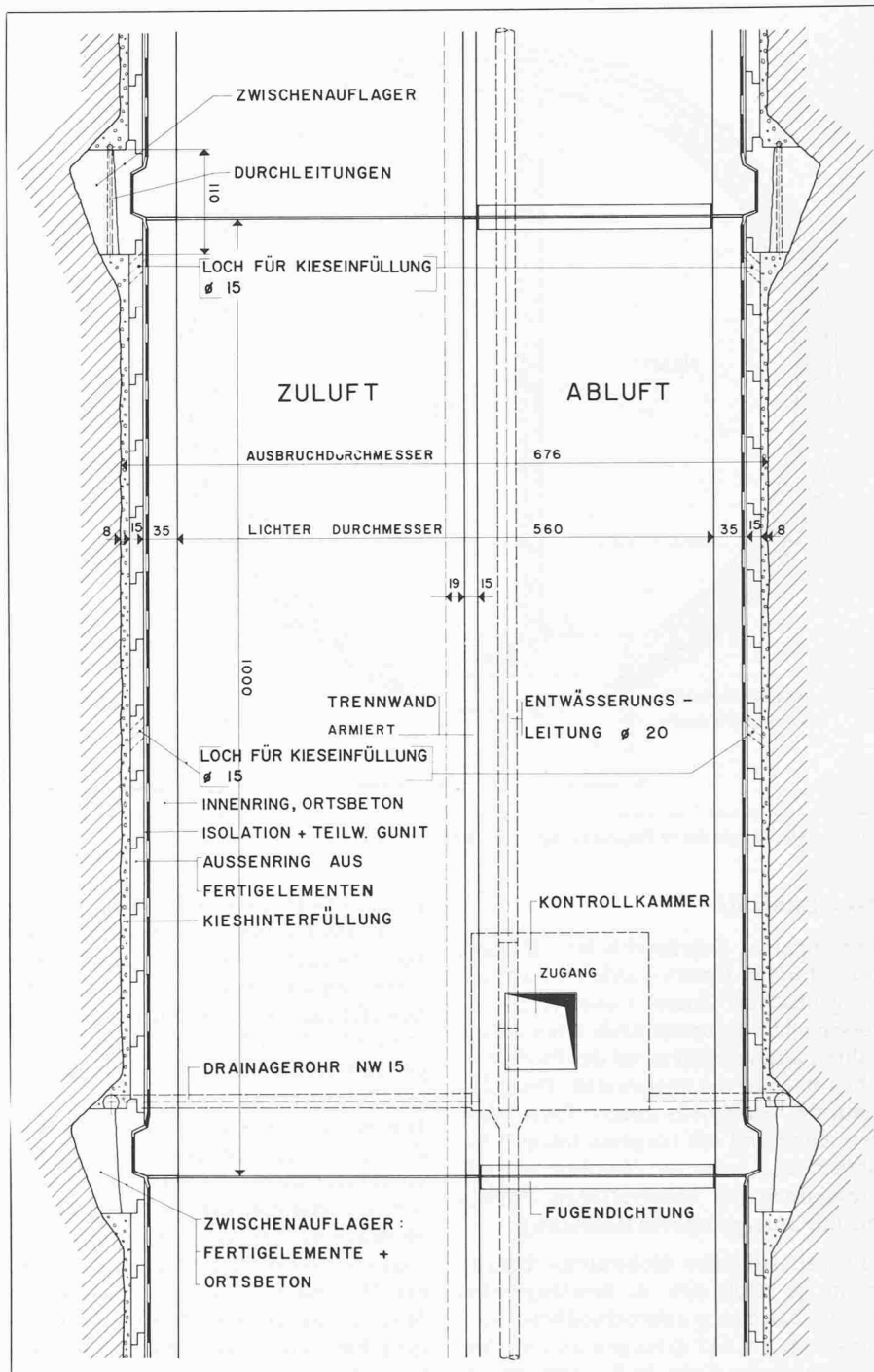


Bild 5. Lüftungsschacht Hospental, Normalelement, Vertikalschnitt

ter Auslassung von horizontalen offenen Ringfugen in vertikalen Abständen von 10 m. Beim Schacht Hospental hingegen besteht diese äussere Auskleidung aus zusammengebauten *Beton-Fertigelementen* (Bilder 4 und 5). Der Zwischenraum bis zum Fels ist mit Kies hinterfüllt und dient als Drainageraum. In vertikalen Abständen von 50 m wird das Sickerwasser in einer horizontalen Ringleitung gesammelt und in zwei Kontrollkammern den beiden vertikalen Entwässerungsleitungen zugeführt. Die Zugänglichkeit und Reinigungsmöglichkeit des Drainagesystems ist von den alle 50 m beidseitig angeordneten Kontrollkammern gewährleistet. Bei beiden vertikalen Schächten wurde die 2 mm starke Dichtungshaut vor dem Betonieren des Innengewölbes aufge-

bracht. Die Gebirgsentwässerung ist nach dem selben Grundprinzip mit der drucklosen Ableitung des Wassers realisiert wie im Tunnel, mit dem Unterschied, dass der Schachthohlraum noch zusätzlich mit einer *Dichtungshaut* abgesichert ist. Unter Ausschluss allfälliger Gebirgsdruckumlagerungen vom Aussenring auf den Innenring ist letzterer jedoch genügend stark dimensioniert, um mit zulässigen Spannungen einen äusseren Wasserdruck von 10 atü aufzunehmen, entsprechend einer Stauhöhe des Bergwassers von 100 m. Diese extrem pessimistische Belastungsannahme würde erst unter der Voraussetzung eintreten, dass der Wasserabfluss in zwei direkt übereinanderliegende Kontrollkammerpaare vollständig verhindert wäre.

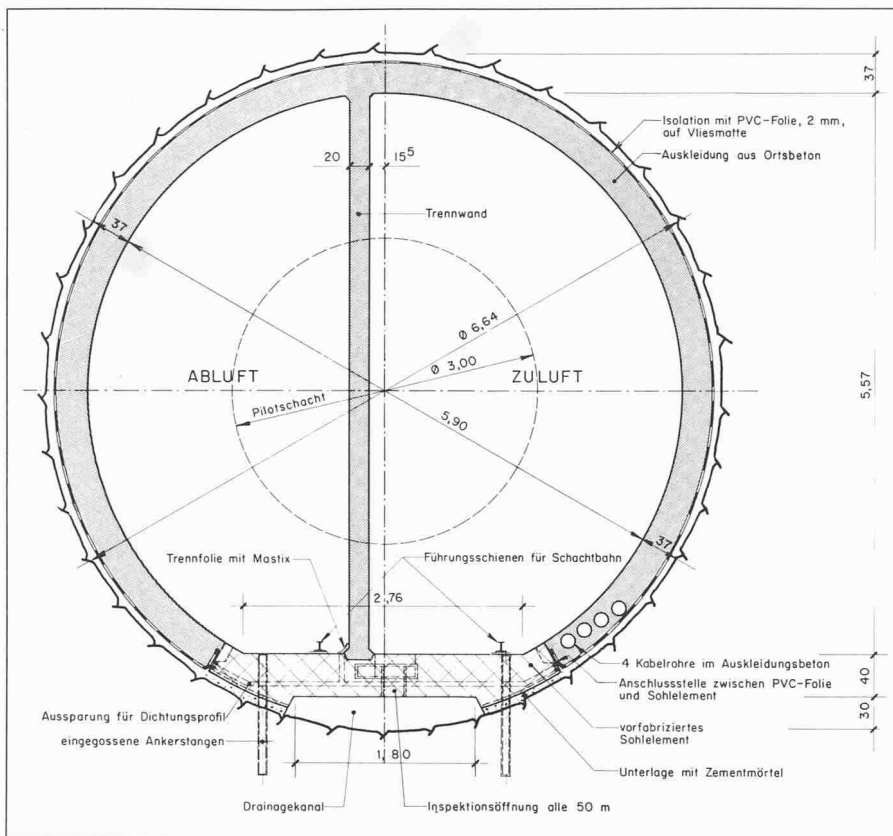


Bild 6. Querschnitt des 84 Prozent geneigten Schachtes Bözberg

Schrägschächte

Die beiden Schrägschächte *Bözberg* und *Motto di Dentro* wurden maschinell ausgebrochen. Zuerst wurde ein Pilotschacht von unten nach oben aufgeföhrt und anschliessend das Profil von oben nach unten ausgeweitet. Die während des Ausbruchs angetroffene Wassermenge und die vorgenommene Vorabdichtung hatte im Hinblick auf die Gesamtheit der angetroffenen Probleme nur untergeordnete Bedeutung.

Die provisorische Hohlräumeicherung nahm je nach den zu bewältigenden Felsverhältnissen unterschiedliche Ausmasse an. Im 512 m langen und 84 Prozent geneigten *Schacht Bözberg*, der im Aaregranit liegt, blieb, abgesehen von der systematischen Steinschlagsicherung durch ein in der Kalotte aufgehängtes Netz, die eigentliche Felsicherung auf wenige Anker beschränkt. Andererseits erwiesen sich im 844 m lan-

gen und 80 Prozent steilen *Schacht Motto di Dentro* infolge der Kumulation von baulich ungünstigen Gebirgseigenschaften, nachteiliger Lage der Schieferrung in bezug auf die Schachtaxe und hoher Überlagerung aufwendige und zeitraubende Sicherungsarbeiten als notwendig.

Das Prinzip des Schacht-Innenausbaus, der für beide Schrägschächte analog ausgeführt wurde, ist auf Bild 6 ersichtlich. Es zeigt die *vorfabrizierten Sohlelemente aus armiertem Eisenbeton*, die zugleich den als Drainagekanal dienenden Hohlraum nach oben abschliessen. Nach vorgängiger Erstellung der Dichtungshaut wurde das Gewölbe aus Ortsbeton im gleichen Arbeitsgang mit der Trennwand eingebracht. Mit dieser Querschnittsausbildung, die in Absprache mit der ausführenden Unternehmung erarbeitet wurde, konnte man nicht nur den rein projektbezogenen (Ventilation, Statik, Dichtung), son-

dern auch den ausführungstechnischen Gesichtspunkten gerecht werden. Der lückenlose Anschluss der Isolationsfolie seitlich an die Sohlenelemente wurde dadurch gelöst, dass bei der Anschlussstelle bereits bei der Fabrikation der Elemente eine PVC-Band eingegossen wurde, woran die Dichtungsbahnen durchgehend angeschweisst werden konnten. Mit auf den Stirnseiten der Elemente aufgeklebten und bei der Montage zusammengepressten Dichtungsprofilen sollen allfällige Lüftungsverluste in die Rigole oder folgenschwere Luftkurzschlüsse im Quersinn zwischen Abluft und Zuluft vermieden werden. Inspektionen der Rigole und deren Reinigung sind durch Putzöffnungen mit Abdeckungen im Abstand von 50 m sichergestellt.

Die Ausführung dieses Drainagesystems hat sich bis heute bewährt. Die Lüftungsschächte sind innen frei von Sickerwasser. Eine erste systematische Reinigung, die noch vor der Verkehrsübergabe des Strassentunnels durchgeführt wurde, verlief ohne besondere Probleme.

Zusammenfassung

Dank der konsequenten Durchführung der drucklosen Sickerwasserableitung über die offenen Ringfugen im Auskleidungsbeton kann der Strassentunnel ohne durchgehend verlegte Dichtungsfolien trocken gehalten werden. In Portalanähe, wo gemäss den durchgeführten Berechnungen im Extremfall das Sickerwasser in den Ringfugen gefrieren könnte, wurden Rohre für den allfälligen späteren Einzug von Heizkabeln verlegt.

Zur Erhöhung der Sicherheit gegen Eisbildung sind die vier Lüftungsschächte vollständig mit Kunststoff-Folien abgedichtet worden, wobei mit dem felsseitig errichteten Drainagesystem ein ungehinderter Ablauf ermöglicht wird und sich so kein äusserer Wasserdruck auf den Innenring aufbauen kann.

Adresse des Verfassers: A. Henke, dipl. Ing. ETH, Ingenieurbüro Dr. Ing. G. Lombardi, 6600 Locarno