

Zeitschrift: Schweizerische Bauzeitung
Herausgeber: Verlags-AG der akademischen technischen Vereine
Band: 94 (1976)
Heft: 46

Artikel: Die Zivilschutzanlage Sonnenbergtunnel in Luzern
Autor: Heierli, Werner / Jundt, Leonhard / Kessler, Erwin
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-73194>

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: 09.01.2026

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

Die Zivilschutzanlage Sonnenbergtunnel in Luzern

Von Werner Heierli, Leonhard Jundt und Erwin Kessler, Zürich

DK 355.58

Mit dem Ausnahmefall des Sonnenbergtunnels ist die grösste schweizerische Zivilschutzanlage für 20000 Personen in Luzern geschaffen worden. Sie weist einen hohen Schutzgrad gegen alle Waffenwirkungen auf. Besondere Probleme stellten die grossen Panzertore zum Abschiessen der Autobahn-Tunnelöffnungen und der friedensmässigen Lüftungsöffnungen. Durch eingehende Berechnungen wurde das Verhalten der Tore bei verschiedenen Waffenwirkungen untersucht. Dem Hauptproblem von Bezug und Benützung im Ernstfall wurde durch eine spezielle Organisationsplanung schon im Vorprojektstadium Rechnung getragen. Die Anlage ist in Tunnelquartiere, Tunnelblöcke und Tunnelräume – diese zu je 64 Personen – unterteilt, und es steht jedem Schutzraumsassen eine eigene schon heute beschaffte Liegestelle zur Verfügung. Für die Einhaltung der Minimalanforderungen an das Überleben im Kriegsfall sorgen nicht nur die Lüftungs-, elektrischen und sanitären Einrichtungen, sondern insbesondere auch eine vorbereitete personelle Organisation, die in Friedenszeiten in ihren Aufgaben geschult wird. Die Anlage steht im Rahmen des Grundsatzes der Zivilschutzkonzeption 1971 «Jedem Einwohner der Schweiz einen Schutzplatz». Durch ihre Stellung wird das bisher noch bestehende Schutzplatzdefizit der Stadt Luzern weitgehend eliminiert.

Überblick

Das Bundesgesetz über die baulichen Massnahmen im Zivilschutz vom 4.10.1963 verlangt den Bau von Schutzräumen für die Bevölkerung. Das Zivilschutzkonzept 1971 steckt das Ziel, bis etwa zum Jahr 1990 jedem Einwohner der Schweiz einen modernen Schutzplatz zur Verfügung zu stellen. Die bauliche Verwirklichung dieses anspruchsvollen Ziels wird mit der generellen Zivilschutzplanung (GZP), 1. Teil, in der Schweiz gesteuert.

Die Stadt Luzern wies Ende der 60er Jahre noch ein beträchtliches Schutzplatzdefizit aus, das auf den grossen Anteil von Altbauten ohne Schutzräume zurückzuführen ist. Durch den vorgesehenen Bau des Nationalstrassentunnels durch den Sonnenberg auf Stadtgebiet ergab sich eine günstige Gelegenheit, das Tunnelbauwerk dem Zivilschutz nutzbar zu machen und in der nun grössten Zivilschutzanlage der Schweiz über 20000 Schutzplätze zu schaffen, und zwar bei Anmarschwegen von maximal 1000–1500 m (im Mittel etwa 500 m) bis zu den Tunnelportalen.

Die Projektierung dieser Zivilschutz-Mehrzweckanlage, die mit ihrer ungewohnten Grösse und ihren Abmessungen einen Ausnahmefall darstellt, hat eine grosse Zahl neuer bautechnischer und organisatorischer Probleme aufgegeben.

Die wichtigsten Daten der Anlage lauten:

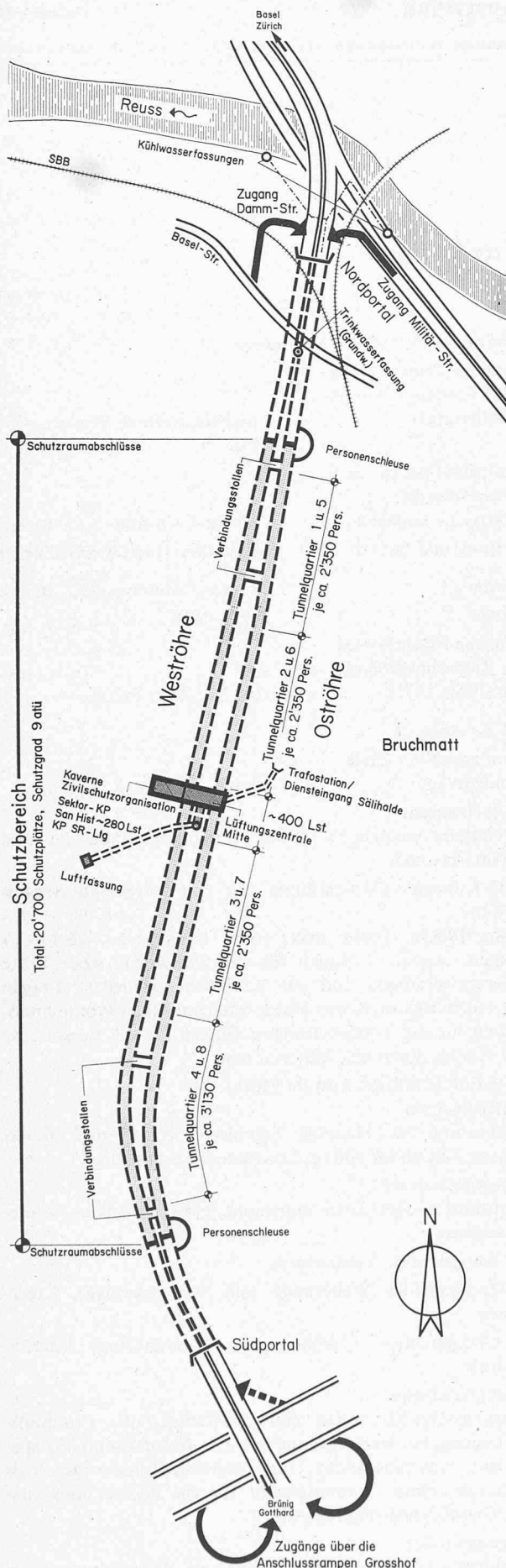
Objekt: Zivilschutzanlage Sonnenbergtunnel Luzern für 20000 Personen mit Sanitätshilfsstelle und Sektorkommandoposten.
Bauherrschaft: Einwohnergemeinde Stadt Luzern

Projektierung der Zivilschutzanlage:

- Bauliche Projektierung inkl. Tore und Tunnelmöblierung: Ingenieurbureau Heierli AG, Zürich
- Koordination mit dem Strassentunnel, elektrische Anlagen: Motor-Columbus AG, Baden
- Lüftung und Sanitär: Schindler Haerter AG, Zürich
- Bauleitung:** Motor-Columbus AG, Baden
- Bauzeit:** 1970–1976
- Baukosten** (Mehrkosten für Zivilschutzanlage, Preisbasis 1971): ca. 25,5 Mio Fr.

Bauliche Anlagen:

- Schutzgrad der Zivilschutzanlage: 9 atü
- Tunnelröhren: geschützter Bereich, 2×1200 m für den Aufenthalt von rund 20000 Personen
- ZSO-Kaverne (Nebenräume für die Zivilschutzorganisation): Höhe 19,8 m, Breite max. 16 m, Länge max. 36,8 m, 7 Etagen, wovon 3 Etagen für die Sanitätshilfsstelle mit 2 Operationsräumen und 336 Sanitätsliegestellen, 2 Etagen mit einem Sektor-Kommandoposten und dem Kommandoposten für die Tunnelleitung, 2 Etagen für die Versorgung mit Küche, Vorräten, Material usw.
- LZ-Mitte (Lüftungszentrale Mitte):
 Untergeschoss: Tankräume für Dieselöl, Schmieröl, Kühl- und Trinkwasser, Sanitärverteilung, Entwässerungspumpen.
 Strassengeschoss: Traföräume, Hochspannungsraum, Notstromanlage, Kältemaschinen.
 1. Obergeschoss: Ventilatoren
 2. Obergeschoss: Steuerungs- und Fernwirkanlage, Lagerräume
 3. Obergeschoss: Gasfilteranlage, Ventilatoren, Telefonzentrale
- Nebenbauwerke: Lüftungsschacht Mitte (im Zivilschutzfall: Frischluftansaugung, bei Strassentunnelbetrieb: Abluftkanal) mit speziellem Abschlussorgan und Schnellschlussventilen als Druckabschluss; Kaminschacht für die Verbrennungsgase der Diesel-Notstromgruppen.
- Zugangsstollen: Sählhalde-Lüftungszentrale Mitte als Diensteingang für den Unterhalt im Frieden und als Zugang für die Organisation im Ernstfall mit speziellem Eingangsbauwerk.



Situation der Zivilschutzanlage im Sonnenbergtunnel

- Abschlusstore, Umgehungsschleusen:
4 Abschlusstore der Tunnelröhren, 2 Umgehungsschleusen als Haupteingänge vom Nord- und vom Südportal her.
- Wasserfassungen für Kühl- und Trinkwasser:

Technische Einrichtungen

- Lüftung und Kühlung:
8 m³/h und Person Frischluft, 1,5–3 m³/h und Person bei vergifteter Aussenluft, Umluftkühlsystem 32 m³/h und Person, max. Kühlleistung 1200000 kcal/h, Toilettenräume separat via Tunnelrigolen entlüftet.
- Trinkwasserversorgung:
Städtisches Leitungsnetz, Grundwasserfassung, notfalls Reusswasseraufbereitung. Verteilungen Kaltwasser in ZSO-Kaverne sowie Toilettenräume und Versorgungszonen in Tunnelröhren, Warmwasser in ZSO-Kaverne sowie in Versorgungszonen in Tunnelröhren.
- Abwasser:
über Tunnelrigolen zum Abschluss Nordportal und von dort mittels Abwasserpumpen in Sammelkanal am linken Reussufer.
- Notstromversorgung:
3 Dieselgeneratorgruppen zu 1725 PS (1240 kW), davon eine als Reserve. Sie dienen beim Strassentunnelbetrieb bei längerem Stromunterbruch zur Energieversorgung der beiden Strassentunnel Sonnenberg und Reussport.
- EMP-Schutz (Schutz gegen die Auswirkungen des elektromagnetischen Impulses bei Nuklearexplosionen):
Alle betriebswichtigen elektrischen Installationen der Zivilschutzanlage haben eine elektromagnetische Schirmung (Stahlblech, Stahlröhren usw.)

Im folgenden werden zwei wichtige Teilprobleme der Anlage erläutert: die Panzertore zum Abschluss der Öffnungen und die Problemkreise des Überlebens im Tunnel im Ernstfall.

Panzertore

Entwurf und Konstruktion von Panzertoren richten sich stark nach dem Schutzzweck. Während z.B. beim Schutz gegen Nuklearwaffen reine Stahlkonstruktionen aus Gründen des Schutzes gegen die radioaktive Primärstrahlung meist nicht in Frage kommen und der Antrieb – insbesondere bei Schleusentoren – gegen die Wirkung des elektromagnetischen Pulses (EMP) geschützt sein muss, stehen beim Sabotage- und Terrorschutz unter Umständen eine hohe Schliessgeschwindigkeit und der Schutz gegen die damit verbundene Unfallgefahr im Vordergrund. Wiederum andere Anforderungen sind bei Kernkraftwerken anzutreffen, wo grosse Tore für Revisionsöffnungen benötigt werden. Sie sollen sowohl Einwirkungen von aussen widerstehen als auch bei schweren Störfällen einen hohen Innenüberdruck aushalten und dabei genügend dicht bleiben.

Bei allen diesen Anwendungen spielt die dynamische Bemessung eine wichtige Rolle. Es ist in der Regel unumgänglich, die maximalen Deformationen und Beanspruchungen durch dynamische Berechnungen zu bestimmen, wobei auch plastische Deformationen und Systemsänderungen während des dynamischen Bewegungsablaufes berücksichtigt werden müssen (vgl. folgende Beispiele). Durch das elastische Zurückfedern nach dem Stoss oder infolge Sogwirkung (Unterdruckstoss in der Luft) werden die Tore sehr oft auch entgegen der Hauptbelastungsrichtung beansprucht, worin sich ein grundlegender Unterschied zu vielen statisch belasteten Tragwerken bemerkbar macht. Während sich die Plastifizierbarkeit von Tragwerken für das Auffangen kurzer Stösse günstig auswirkt, muss bei Toren auf die Verschiebbarkeit bzw. auf das mögliche Verklemmen Rücksicht

genommen und die *Gesamtverformung* beschränkt werden. Ferner ist bei Stahlbetonplatten die maximale plastische Verformung bis zum vollständigen Kollaps oder bis zum beginnenden Abfall der Traglast noch weitgehend unbekannt und im Einzelfall nur durch Versuche sicher zu bestimmen.

Im folgenden werden drei Panzertore der Zivilschutzanlage Sonnenbergtunnel erläutert.

Bogentore (Bild 3)

Bauten in gutem Fels erlauben die Verwendung von bogenförmigen Abschlüssen, die infolge der möglichen Stahleinsparungen gegenüber Plattentoren wirtschaftlich sind (Plattentore können direkt auf die Tunnelröhre abgestützt werden, was bei schlechten Bodenverhältnissen vorteilhaft ist). Das in den folgenden Bildern gezeigte Betonbogentor der Zivilschutzanlage Sonnenbergtunnel (Dicke 1,5 m, Masse 350 000 kg) ist auf den Luftstoss einer 1-Mt-Atombombe in einem Abstand von rd. 1 km vom Tunnelportal bemessen (einfallender Druck 9 bar = 9 atü). Es ergibt sich dabei ein reflektierter Spitzenüberdruck von 50 bar (= 5 MN/m²) und – wie die dynamischen Berechnungen ergeben haben – eine statische Ersatzlast von rd. 100 bar (= 10 MN/m²). Die durch Plattendruckversuche im Tunnel ermittelte Elastizität des Gebirges (Auflager) wie auch die Elastizität des Bogens selbst sind in der Schwingungsberechnung (Bild 1 und 2) berücksichtigt worden. Der Bogen wurde durch ein System mit mehreren Freiheitsgraden dargestellt, wobei sich hinsichtlich der *physikalischen Symmetrie* grundlegende Fragen ergaben:

Bei numerischen Berechnungen ist es üblich, Bauwerksymmetrien zur Reduktion des Rechenaufwandes zu benutzen. Wie verschiedene Quellen zeigen, verhält sich ein *kontinuierlicher*, elastischer und symmetrischer Bogen unter dynamischer Belastung erstaunlicherweise *nicht* symmetrisch, sondern es werden Eigenschwingungen angeregt, die weder symmetrisch noch antisymmetrisch sind. Dagegen gelang es zu beweisen, dass ein beliebig geformter, *diskreter*, symmetrischer Bogen mit einem endlichen aber beliebig grossen Freiheitsgrad *nur* symmetrische und antisymmetrische Eigenschwingungen besitzt, was die Berechnung lediglich der symmetrischen Hälfte des Ersatzsystemes mit endlichem Freiheitsgrad erlaubt. Der Beweis hierfür lässt sich theoretisch sauber erbringen, indem die Laplacetransformierten der Bewegungs-

differentialgleichungen nach den Sätzen der linearen Algebra und Matrizenrechnung analysiert werden. Dadurch ist allerdings die erstaunliche Diskrepanz zwischen dem Verhalten eines diskreten Systemes mit unendlich grossem Freiheitsgrad und einem kontinuierlichen System noch nicht beantwortet. Es zeigt sich hier und bei anderen Gelegenheiten, dass auf dem «alten» Gebiet der klassischen Mechanik durchaus noch nicht alle Fragen gelöst sind.

Um eine gleichmässige symmetrische Belastung und damit ein maximales Tragvermögen des Bogentores zu erzielen, wird die Zwischendecke des Tunnels 17 m vor dem Tor demontabel ausgeführt und bei der Bereitstellung des Schutzraumes entfernt. Die Zerstörung der Zwischendecke durch den Explosionsluftstoss benötigt allein infolge der Massenträgheit so viel Zeit, dass sich starke Ungleichmässigkeiten in der Luftstossfront ergeben würden.

Der am Tor reflektierte Druckstoss erzeugt am Tunnelportal einen Verdünnungsstoss, der das Tor rd. 0,54 s nach der ersten Belastung erreicht und einen plötzlichen Druckabfall bewirkt. Der dadurch auftretende, mit grossen Gummiblöcken gefederte elastische Rückprall (rebound) des Bogentores ist im dynamischen Verhalten (Bild 1 und 2) sehr deutlich erkennbar.

Beim Bau solcher Tore haben neben den theoretischen dynamischen Problemen die Konstruktion (Gestaltung, Materialwahl) und die Bauausführung (Bauvorgang, Toleranzen, Kontrollen) eine mindestens ebenso grosse Bedeutung. Das *Ineinandergreifen von bau- und maschinentechnischen Aufgabenstellungen* und die für das Bauwesen zum Teil *ungeübten Toleranzen* erfordern eine detaillierte Arbeitsvorbereitung für die Ausführung, wie auch für Baukontrollen und Inbetriebnahme. Damit ist es aber heute möglich, verhältnismässig einfache und zuverlässige Panzertore mit sehr hohen Schutzanforderungen gegen verschiedenartige Gewalteinwirkungen zu bauen (Bilder 4–8).

Panzertor im Lüftungsschacht

Der grosse für die Tunnelbelüftung notwendige Schacht mit einem Durchmesser von 6,5 m ist am Schachtfuss mit einem Bombenauffang-Trichter versehen, womit Explosionen direkt vor dem Abschluss verhindert werden. Der kurze horizontale Verbindungsstollen zur Lüftungskammer wird für den Zivilschutzbetrieb mit einem kugelschalenförmigen Stahl-

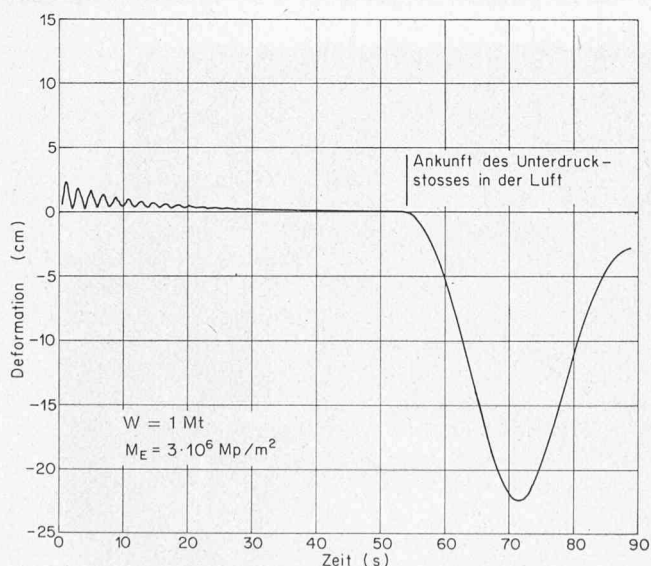


Bild 1. Deformations-Zeit-Verlauf für ein Bogentor bei einer 1-Megatonnenexplosion und einer Fundamentsteifigkeit von $M_E = 300\,000\text{ kp/cm}^2 = 30\,000\text{ MN/m}^2$

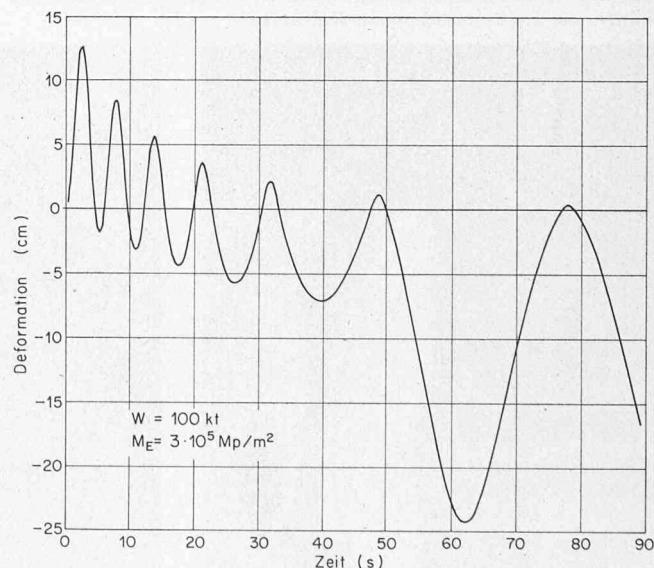
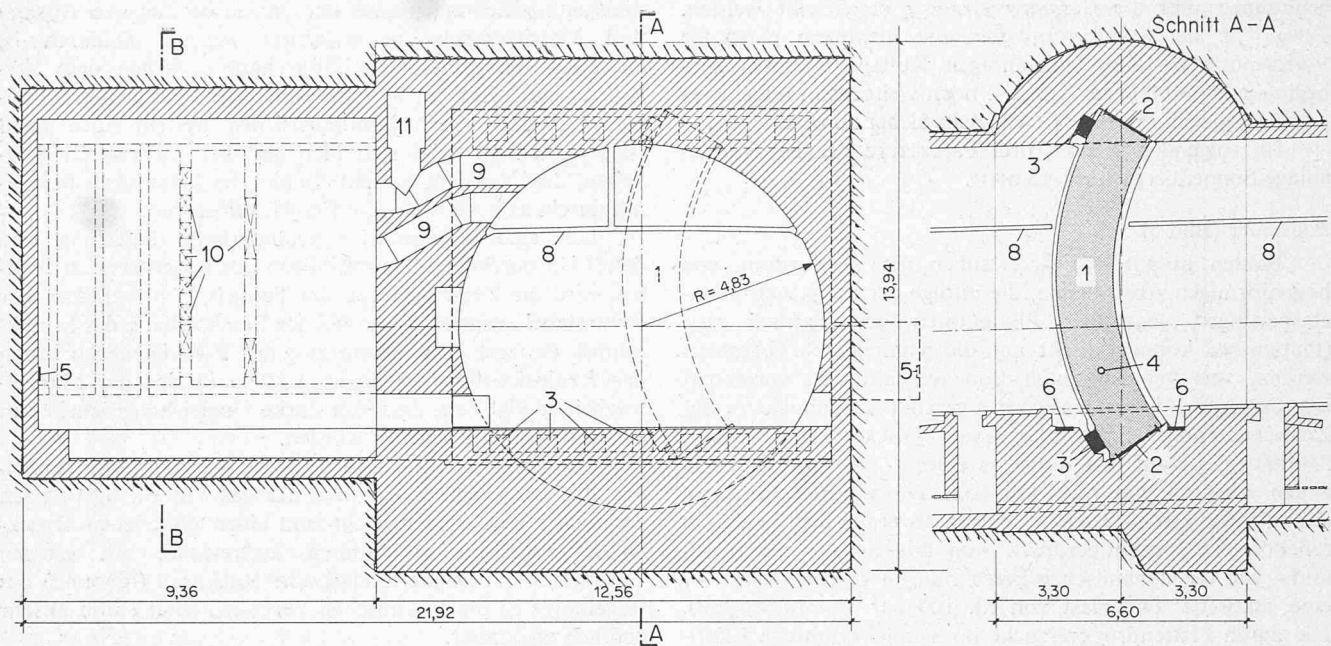


Bild 2. Deformations-Zeit-Verlauf für ein Bogentor bei einer 100-kilotonnenexplosion und einer Fundamentsteifigkeit von $M_E = 30\,000\text{ kp/cm}^2 = 3\,000\text{ MN/m}^2$



Schnitt B-B

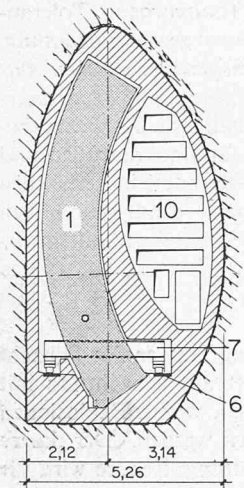


Bild 3. Schematische Schalungspläne der Bogentore. 3a: Längsschnitt A. 3b: Querschnitt B. 3c: Querschnitt C

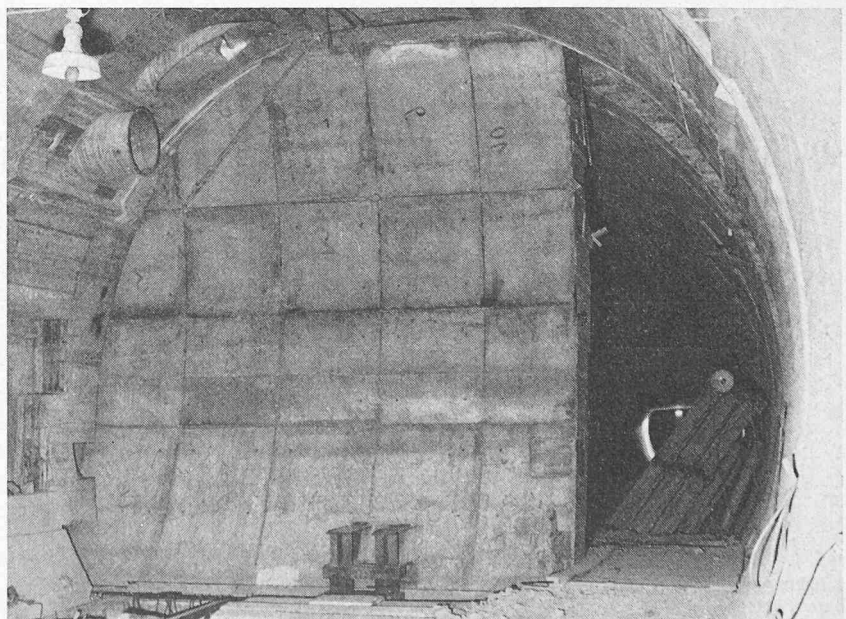
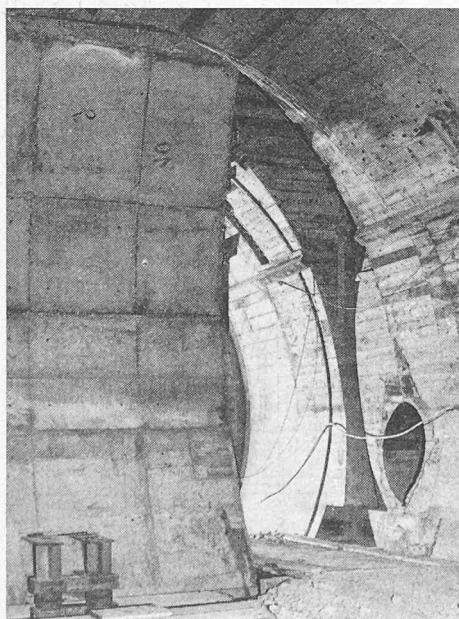
- 1 Torbogen
- 2 Torbogenaufleger
- 3 Rebound-Federn (Gummiblöcke)
- 4 Zugseil
- 5 Zugseilverankerung
- 6 Gleitschiene
- 7 Torbogentragbalken
- 8 Tunnel-Zwischendecke
- 9 Lüftungsrohre
- 10 Gasfilter
- 11 Revisionsnische

betontor abgeschlossen; die dann noch benötigten geringen Luftmengen werden durch einen mit Gasfiltern und Explosionsschutzventilen ausgerüsteten kleinen Umgehungsstollen geleitet. Zum Öffnen wird das Tor auf Gleitschienen axial im horizontalen Stollen in den Vertikalschacht hinausgefahren. Dabei wird es durch angebaute kurze Hydraulikzylinder schubweise längs einer Art Zahnstangen verschoben. In der geschlossenen Stellung wird das Tor mit Drahtseilen gegen Schock und Rückprall gesichert. (Bild 9).

Plattenschiebetor

Es dient als *Schleusentor* in den *Umgehungsstollen*. Armierte Stahlbetonplatten mit Chromstahlrahmen, dynamisch bemessen auf einen reflektierten Spitzenüberdruck von 50 bar ($= 5 \text{ MN/m}^2$). Das Tor wird mit einer fest eingebauten hydraulischen Presse auf Gleitschienen aus einer Spezialbronze verschoben.

Bild 4 (links). Bogentor rd. 2 m geöffnet (Bauzustand vom Schutzraum her gesehen. Links unten im Bild ist der Tragbalken mit Gleitschuh sichtbar. – Bild 5 (rechts). Gleiche Situation wie in Bild 4. Links oben sieht man die Lüftungsrohre, die zu den in der Torkaverne eingebauten Filtern- und Explosionsschutzventilen führen



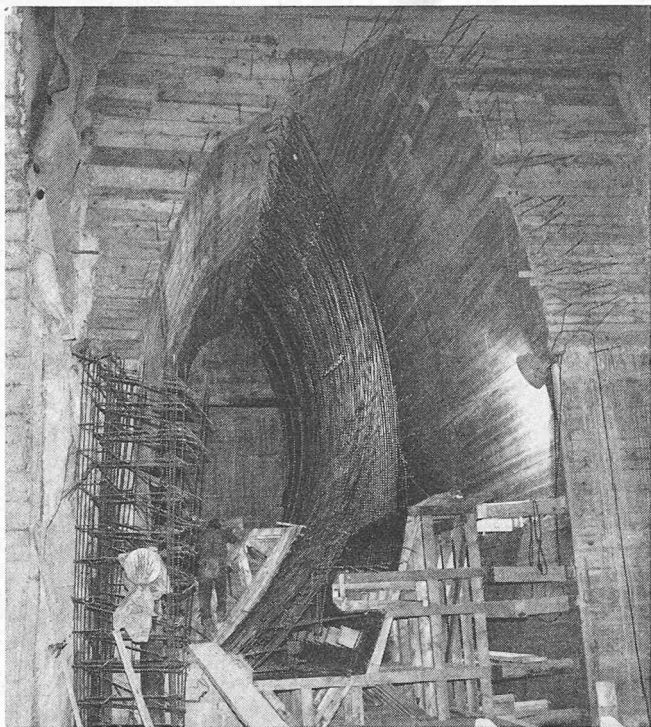
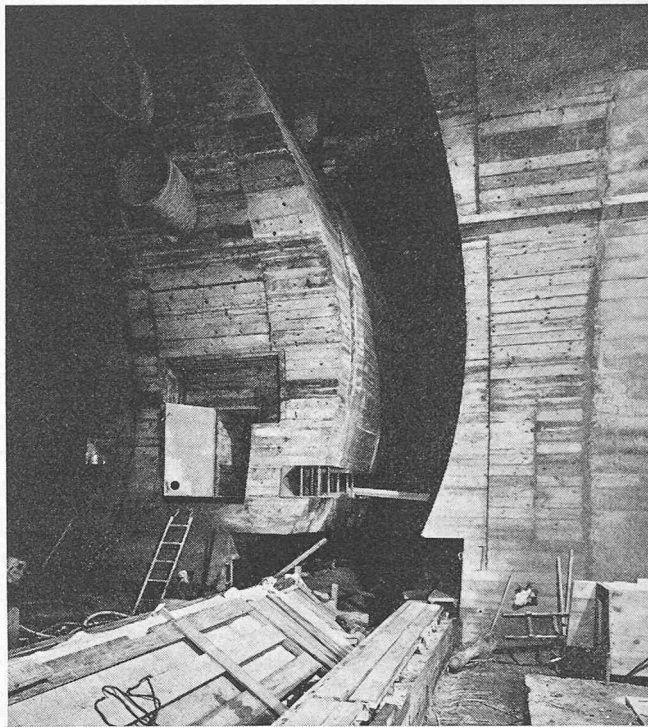


Bild 6 (links). Torkaverne frisch ausgeschalt. Man beachte die Grössenverhältnisse (Arbeiter links unten im Bild). Der Zwischenbogen ist bereits armiert. Rechts davon kommt der Torbogen in geöffneter Torstellung zu stehen; bei geschlossenem Tor dient dieser Raum als Expansionsraum für den Explosionsdruck. Der abgeschwächte Druck wird durch Explosionsschutzventile im Zwischenbogen aufgehalten, während die Frischluft Zutritt hat zu den Filtern, die in den Raum links des Zwischenbogens noch eingebaut werden. Der Zwischenbogen hat im Explosionsfall einem Druck in der rechten Torkavernenhälfte von 14 bar (= 1,4 MN/m² standzuhalten. – Bild 7 (rechts). Bauzustand vor dem Erstellen des Torbogens. Blick quer zur Tunnelröhre gegen die Torkaverne. Auf dem unteren Torbogenfundament werden die Gleitbleche (gleitende Auflager, um optimale statische und dynamische Verhältnisse zu erhalten) verlegt und anschliessend die erste Hälfte des Torbogens geschalt



In der Hauptbelastungsrichtung liegt die Torplatte 4seitig, in der Rückprallrichtung nur 2seitig auf. Dies ergibt einen in der Schwingungsberechnung zu berücksichtigenden Systemswechsel bei der Ankunft der Luftstoss-Verdünnungswelle (Rückprall infolge elastischer Deformationsenergie und Unterdruck). Bild 10 zeigt den Plot Output der dynamischen Berechnung für den zeitlichen Deformationsverlauf in Plattenmitte. In den geschlossenen Stellungen wird das Tor mit einem hydraulisch betätigten, auf die Schockbelastung bemessenen Stahlriegel gesichert. Ein ebenfalls hydraulisch betriebener Klappsteg überdeckt den Graben mit den Gleitschienen in der Stollensohle und gibt den Durchgang nach dem Öffnen sofort frei.

Bild 8. Bogentor im Endzustand, zu zwei Dritteln geschlossen. Am linken Bildrand ist der Zugang zur Torkaverne sichtbar; rechts hinter dem Tor ein Teil der demontablen Tunnelzwischenendecke. In der Bildmitte steht das mobile Hydraulikaggregat für die Torverschiebung

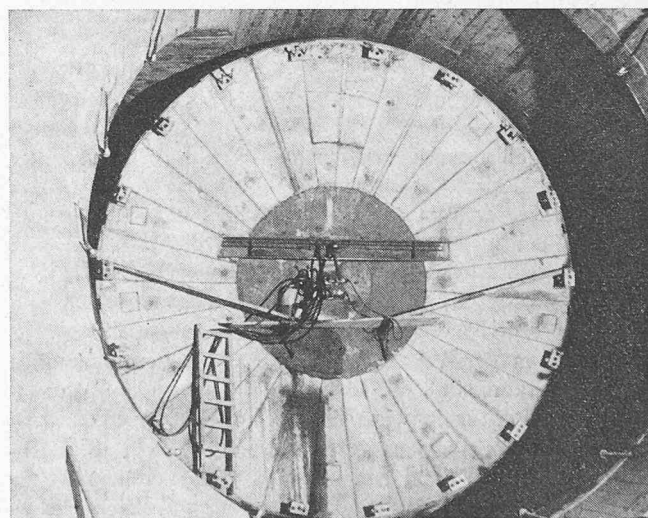
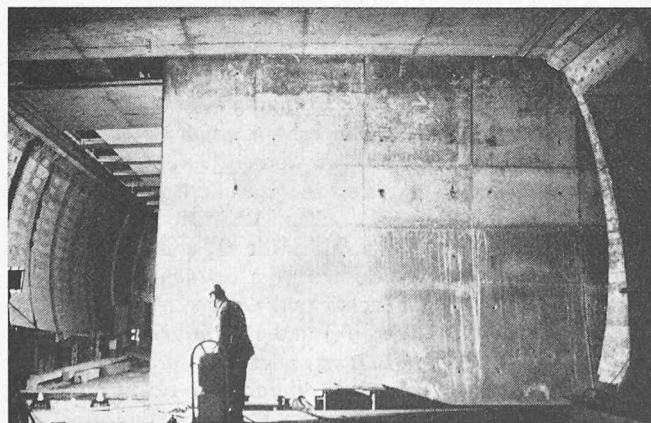
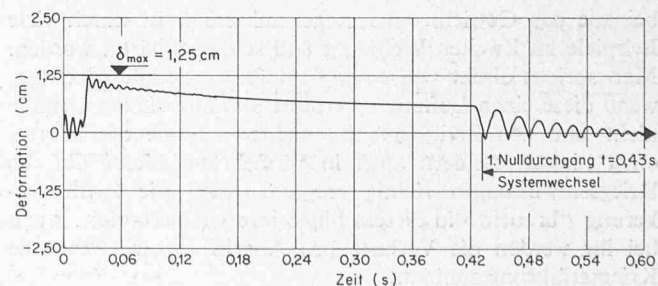


Bild 9. Das wenig geöffnete, kegelförmige Panzertor im Lüftungsschacht (rd. 2 m vor dem Auflager)

Bild 10. Plot Output der dynamischen Berechnung für den zeitlichen Deformationsverlauf in Plattenmitte. Lastfall 1 MT



Überleben im Schutzraum Sonnenbergtunnel

Allgemeine Überlegungen, Voraussetzungen

Moderne Atomraketen machen eine direkte Warnung der Zivilbevölkerung im Kriege unmöglich. Die Schutzräume müssen daher vorsorglich bezogen werden. Die Waffenwirkungen in einem neuen Kriege können den Schutzraumbewohner tage- und wochenlang in seine Klausur zwingen. Auf diesen Tatsachen und Grundsätzen des Zivilschutzkonzeptes 71 basiert die Notwendigkeit, das Überleben im Schutzraum so zu gestalten,

- dass er in der Vorangriffsphase bezogen werden *kann* und tatsächlich bezogen *wird*,
- dass ein Aufenthalt im Schutzraum auch nach dem Angriff unter erträglichen, menschenwürdigen Bedingungen durchgestanden werden kann.

Da ein eigentlicher Zwang zum Bezug des Schutzraumes und zum Verweilen darin aus vielen naheliegenden Gründen nicht in Frage kommt, ist es besonders wichtig, nicht nur die physiologischen, sondern auch die psychologischen Probleme des Bezuges und Daueraufenthaltes zu studieren und zu berücksichtigen.

Die Gestaltung des Schutzraumes und die Organisation darin muss den feststehenden Gegebenheiten des Lebens Rechnung tragen. Die Lust oder Unlust, die bei einer Tätigkeit, z.B. dem Aufenthalt im Schutzraum, entsteht, hängt naturgemäss von den herrschenden Verhältnissen ab. Je nach den Umständen kann das gleiche Ereignis vom Menschen als erfreuliches, befriedigendes oder unerfreuliches empfunden werden. Angewendet auf den Zivilschutzfall bedeutet dies folgendes:

In der Vorangriffsphase gemäss Zivilschutzkonzept 71 weichen die ausserhalb des Schutzraumes herrschenden Verhältnisse in bezug auf das Wohnen und viele andere Lebensbedürfnisse noch nicht entscheidend von denen der Friedensphase ab.

Wir nehmen dabei an, dass diese Vorangriffsphase für das betrachtete Gebiet die erste des Krieges sei, dass sie also nicht einem bereits durchgeführten Angriff folge. Nach dem Grundsatz des vorsorglichen Bezuges muss der Mensch unter diesen Verhältnissen schon *bei einem entsprechenden Niveau der politischen oder militärischen Spannung* den Schutzraum beziehen, sich also noch ohne konkreten physischen Zwang mit wesentlich schlechteren Lebensbedingungen zufrieden geben. Der Bezug des Schutzraumes wird vom einzelnen nun um so eher durchgeführt,

- je besser in der Vorangriffsphase die Lebensbedingungen im Schutzraum sind,
- je glaubhafter für den einzelnen Menschen die Gefahr ist.

Um gleich den zweiten Gesichtspunkt vorweg zu behandeln, sei aus der Sicht des Überlebens im Schutzraum die dringende Forderung formuliert, dass der einzelne ehrlich und glaubwürdig, ohne Beschönigung und ohne Dramatisierung orientiert wird. Es sei ebenfalls hier erwähnt, dass der vorsorgliche Schutzraumbezug und damit der Zivilschutz überhaupt um so besser funktionieren werden, je mehr die Bevölkerung vorher durch Angriffe in fernen oder nahen Gebieten beeindruckt worden ist. Diese Feststellung, der beinahe das Gewicht einer Regel zukommt, ist durch viele Beispiele im Zweiten Weltkrieg und seither erhärtet worden. Man spricht direkt von einer «Impfung» der Bevölkerung, wenn diese einen Luftangriff erfährt und aus diesem Grunde nicht nur den Zivilschutz im wahrsten Sinne des Wortes ernst nimmt, sondern auch in vermehrter Masse auf die Kriegseinwirkungen richtig reagiert. Auch die Zivilbevölkerung «braucht» in diesem Sinne ihre «Feuertaufe». Auch bei ihr werden die Verluste pro Angriff sinken, wenn die Kriegserfahrung zunimmt.

Um nun auf die erste gemachte Feststellung bezüglich des *Daueraufenthaltes im Schutzraum* zurückzukommen, kann man die Frage stellen, wie dieser Daueraufenthalt durch technische und organisatorische Mittel gerade in der Vorangriffsphase möglichst günstig gestaltet werden könne. Gemäss dem Konzept 1971 wird in der Vorangriffsphase eine sogenannte Rotation zugelassen, also ein *Verlassen und Wiederbeziehen des Schutzraumes* durch einen sich ablösenden Teil der Insassen. Dies führt dazu, dass je nach Gefährdungsstufe ein Teil, mindestens etwa 5 bis 10 Prozent der Insassen, ständig ausserhalb des Schutzraumes weilt. Mit dieser Rotation, die eine gewisse zusätzliche Gefährdung der Bevölkerung durch einen eventuellen Überraschungsangriff mit sich bringt, erkaufte man aber sehr viel: Die Insassen können sich in der freien Luft entspannen, zuhause die versäumte Körperhygiene nachholen und bei dieser Rotation wertvolle Effekte und Materialien von zuhause zum Schutzraum bringen. Es können Austausche zwischen den einzelnen Schutzräumen zur besseren Belegung oder besseren Gruppierung der Insassen stattfinden, und es wird möglich, wichtige Besorgungen für einen minimalen Unterhalt friedensmässiger Anlagen durchzuführen. Durch das tägliche Verlassen des Schutzraumes wird der Aufenthalt im Schutzraum erträglicher gestaltet.

Das Prinzip des vorgeschlagenen Bezuges ist in vieler Hinsicht ein radikales Mittel zur Lösung der Probleme, welche die verschwindend kurzen Warnzeiten moderner Kriege mit sich bringen. Man muss sich aber bewusst sein, dass eine andere Hauptmassnahme als der vorsorgliche Bezug nicht existiert. Man muss auch daran denken, dass der vorsorgliche Bezug an sich organisatorisch ein einfaches und sicheres Mittel darstellt. Die Probleme der Übermittlung in letzter Minute und des Bezuges von Schutzräumen unter beginnender Waffenwirkung werden damit weitgehend ausgeschaltet – nur weitgehend und nicht vollständig deshalb, weil man natürlich versuchen wird, die Personen in Rotation bei einer Anzahl von Kriegsbildern auch dann noch heil in die Schutzräume zurückzuführen. Ein Beispiel für ein solches Kriegsbild ist die radioaktive Verstrahlung.

Nachdem nun die Notwendigkeit eines längeren Aufenthaltes in den Schutzräumen in der Vorangriffsphase und in der Angriffs- und Nachangriffsphase begründet worden ist, wird man zur Frage gehen müssen, ob ein solcher Aufenthalt überhaupt möglich sei. Wie die vorstehenden Überlegungen gezeigt haben, geht es dabei nicht nur um die Frage nach der physiologischen Durchführbarkeit, sondern um die viel schwierigere und weitreichendere Frage, ob die Bevölkerung die Schutzräume tatsächlich beziehe und dort ausharre, wenn – wie bereits erwähnt –, kein eigentlicher Zwang hiezu vorhanden ist.

Für einen längeren, nicht nur während Stunden dauernden Schutzraumaufenthalt, müssen die im folgenden kurz dargestellten Minimalanforderungen erfüllt werden können.

Klima

Die Atemgasqualität (O_2/CO_2) muss in bestimmten Grenzen bleiben, damit ein tagelanger Aufenthalt im Schutzraum gewährleistet ist. Diese Grenzen werden bei einer Frischluftmenge von $3\text{ m}^3/\text{h}$ und Person (Gasfilterbetrieb) (notfalls $1,5\text{ m}^3/\text{h}$ und Person) eingehalten. Während eines grossen Teils des Jahres sind aber nicht die O_2 - und CO_2 -Grenzen massgebend, sondern im Sommer die Erträglichkeitsgrenzen bezüglich Wärme und Feuchtigkeit. Da der Mensch Wärme (rund etwa 100 bis 120 kcal/h) und Feuchtigkeit produziert, müssen diese durch die *Lüftung*, allenfalls durch eine *künstliche Kühlung* und vor allem durch die *Schutzraumhülle* abgeführt werden.

Die Frage nach den *zulässigen Klimawerten* ist schwierig zu beantworten. Als Extremwerte können 29° C und 100% Feuchtigkeit angenommen werden. Für grosse Sammelschutzzräume mit ältern und kranken Personen dürfte eine Klimalimite von 25° C bei 100% Feuchtigkeit richtig sein.

Trinkwasser

Der Mensch kann nur wenige Tage ohne Flüssigkeitsaufnahme leben. Man rechnet mit einem minimalen Wasserbedarf von etwa 2 l pro Person und Tag. Unter Einrechnung einer minimalen Wassermenge (Händewaschen, Abreiben mit feuchten Lappen) steigt der Wasserbedarf auf etwa 4 l pro Person und Tag. Um mit diesen minimalen Mengen überhaupt auskommen zu können, muss man das Wasser im Extremfall kontrolliert abgeben. Teile des Wasserbedarfs können auch durch Getränke wie Milch, Fruchtsäfte usw. gedeckt werden. Der Alkoholkonsum muss im Blick auf die Disziplin sehr stark eingeengt werden.

Nahrung

Aus folgenden Gründen ist – obwohl theoretisch ein Nahrungsausfall von ein bis zwei Wochen möglich wäre – im Schutzraum auf eine Nahrungsaufnahme nicht zu verzichten:

- Die Schutzraumsinsassen müssen auch im Schutzraum zweckmässig handeln können und zum Teil arbeiten. Sie haben starke psychologische Belastungen zu ertragen.
- Bei ungenügender Nahrungsversorgung ist der Mensch anfälliger auf Krankheiten. Die Disziplin lässt nach.
- Die Schutzraumsinsassen müssen die anstrengenden Aufgaben nach Beendigung eines Schutzraum Aufenthaltes unter günstigen physischen Bedingungen bewältigen können.

Eine Nahrungsaufnahme von 1000 bis 2000 Kalorien pro Tag und Person genügt in der Regel. Dabei kann die Nahrung in Form von Kaltverpflegung oder warmer halbflüssiger Nahrung verabreicht werden. Eine Kochmöglichkeit im Schutzraum selbst ist nicht unbedingt erforderlich. In der Regel sind in den grösseren Zivilschutzanlagen – wie auch im Sonnenbergtunnel – *bescheidene Küchen* vorgesehen, die es erlauben, auch in einer autarken Phase einfache warme Mahlzeiten an die Schutzraumsinsassen abzugeben (Suppe, Tee, Kaffee und allenfalls halbflüssige Eintopfgerichte).

Toiletten, Hygiene

Die Einrichtung einwandfrei benützbarer Toiletten im Schutzraum ist eine unbedingte Notwendigkeit für einen längeren Aufenthalt im Schutzraum. Pro 25 bis 30 Insassen sollte ein Klosett zur Verfügung stehen. Die Ausbildung und Betriebsart ist vielfach eine Kostenfrage und eine Frage der Wasserbeschaffung. Für den Schutzraum genügen Trockenklosetts (TC), die mit Einsätzen (Einfach- oder Mehrfachbenützung) betrieben werden. Die Fäkalien Säcke müssen in Sammelbehältern aus dem Schutzraum geschafft und an geeigneten Orten gelagert werden. Die Klosetts müssen zur Wahrung einer gewissen Privatsphäre in optisch abschliessbaren Kabinen untergebracht sein. Sehr wichtig ist die Reinhaltung der Toiletten.

Medizinisch gesehen spielt die Körperhygiene (Baden, Duschen, ausgiebiges Waschen, ständiges Wechseln der Wäsche) im Schutzraum eine ganz untergeordnete Rolle. Lediglich das periodische Waschen der Hände ist zur Vermeidung der Übertragung von Krankheitserregern unbedingt einzuhalten. Diese minimalen Hygienebedürfnisse können mit 1 bis 2 l Wasser pro Person und Tag befriedigt werden. Die wünschbare normale Hygiene kann im Rahmen der Rotation, d.h. bei der geplanten kurzen, abwechselungsweisen Unterbrechung des Schutzraum-Aufenthaltes zu Hause durchgeführt werden.

Schlafen, Wachen

Es ist sehr wichtig, dass der Schutzraumsinsasse einen ihm fest zugeteilten Platz erhält, wo er sich zurückziehen und schlafen kann und wo sein privates Notgepäck liegt. Am besten kann dies erreicht werden, indem jedem Schutzraumsinsassen eine Liegestelle fest zugeteilt wird. Aus folgenden Gründen muss den Schutzraumsinsassen eine *genügende Schlafdauer* ermöglicht werden:

- Zur Erhaltung der Aufmerksamkeit und Disziplin
- Zur Vermeidung von Streitsucht, Apathie, Angst und rascher Erkrankung

Schlafende oder auf der Liegestelle weilende Personen erleichtern die Betreuung im Schutzraum, benötigen weniger Platz und verursachen weniger Lärm. 1 m² Bodenfläche pro Person für Aufenthalt und Schlafen ist ausreichend. Im Ausland wird diese Zahl oft unterschritten. Eine intensive *Bewegung* der Insassen ist im Schutzraum nicht erwünscht und medizinisch gesehen auch nicht notwendig. Wichtiger als die körperliche Bewegung ist das Gefühl der Insassen, ihnen stehe ein gewisser Bewegungsraum zur Verfügung. Schutzräume mit einer grösseren «Weite» haben in dieser Beziehung Vorteile.

Gesunderhaltung im Schutzraum

Eines der wichtigsten Elemente der Führung im Schutzraum ist die *Gesunderhaltung der Gesunden*. Die Hauptmittel zur Erreichung dieses Ziels sind nicht in erster Linie Pulver und Tabletten, sondern Veranlassung und Durchsetzung eines physiologisch und psychologisch vernünftigen Verhaltens im Schutzraum. Die Schutzraum-Leitung muss daher über die wichtigsten Verhaltensregeln Bescheid wissen. Aus Belegungsversuchen und anderen Überlegungen ergeben sich die – zum Teil bereits erwähnten – Grundsätze wie folgt:

- regelmässige und ausreichende Einnahme von Flüssigkeiten und Nahrung,
- regelmässiges, ruhiges Schlafen, wenn möglich in Form von tiefem Schlaf,
- Ablenkung durch Beschäftigung und Unterhaltung,
- Volle Ausschöpfung des Rotationsprinzips, das jedem Schutzraumsinsassen nicht nur das tägliche Verlassen des Schutzraumes und die Bewegung an der frischen Luft gestattet, sondern auch die Befriedigung vieler anderer Bedürfnisse ohne Belastung des Schutzraumes.

Neben diesen wichtigen Grundsätzen sind aber noch eine Anzahl materieller Vorkehrungen notwendig. Dazu gehören gewisse Medikamente (mit Gebrauchsanleitung) wie Antibiotika, Schmerzmittel und Kopfschmerzmittel, Mittel gegen Fieber, Herzmittel, Mittel gegen Infektionen, Schlafmittel, Beruhigungsmittel, Mittel gegen Durchfall, Abführmittel, Medikamente gegen Erkältungen, Wundbehandlungsmittel sowie spezielle Mittel, die einzelne Personen mitzubringen haben (Diabetes, Allergien usw.).

Schutzraumleitung

Um einen Schutzraum Aufenthalt während mehreren Tagen durchführen zu können, ist neben den eigentlichen Minimalanforderungen (Luft, Wasser, Nahrung, Toiletten, Platz) eine auf die Grösse des Schutzraumes (Anzahl Insassen) abgestimmte, gut ausgewählte und instruierte Schutzraumleitung unbedingt notwendig. Die Schutzraumleitung hat die Aufgabe, das Leben im und um den Schutzraum in geordneten Bahnen zu halten, die Insassen zu betreuen und den Schutzraum zu betreiben (technische Einrichtungen).

Auf den dargestellten Grundsätzen über die Minimalanforderungen an einen Schutzraum Aufenthalt und den baulichen Gegebenheiten des Strassentunnels baute sich die *Organisation* der Zivilschutzanlage Sonnenberg auf. Einerseits

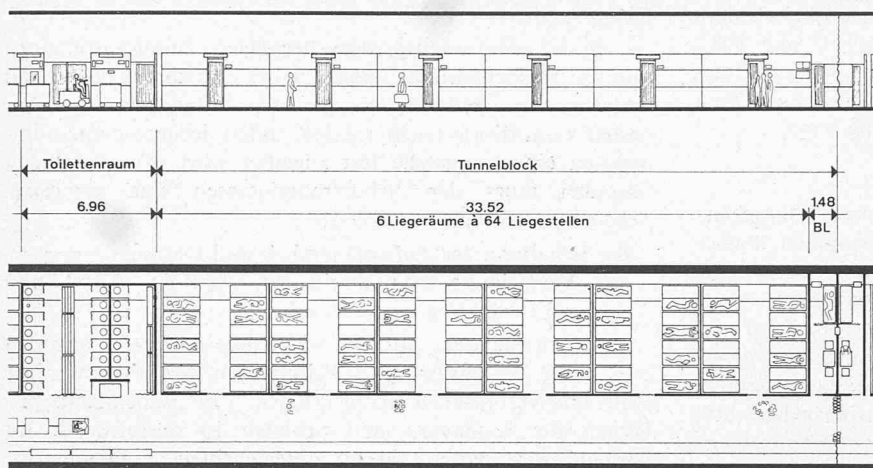


Bild 11. Tunnelblock (Grundriss und Schnitt).
Mobile Einrichtungen für 384 Personen

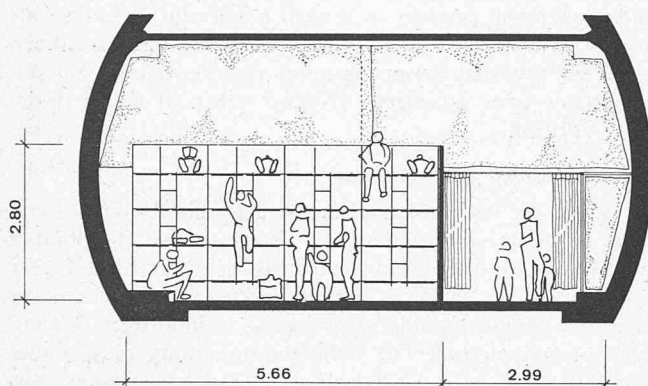


Bild 12. Tunnelquerschnitt mit Liegeraum

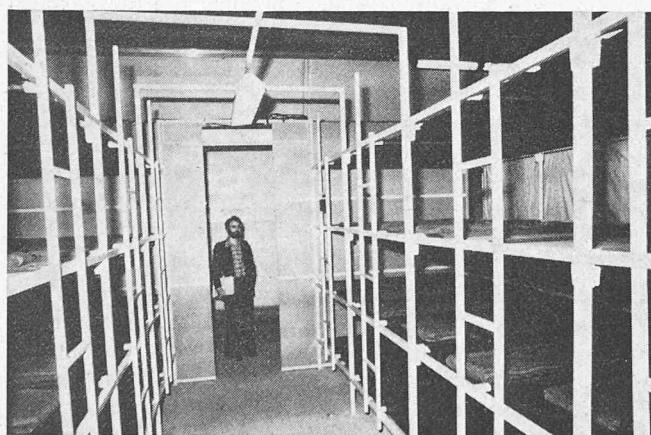
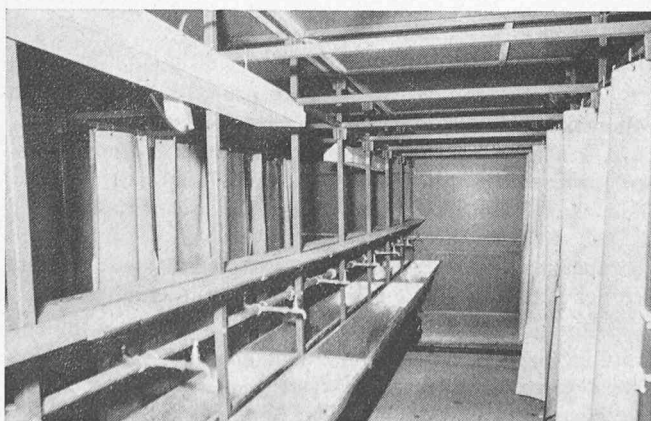


Bild 13. Innenansicht eines Liegeraumes

Bild 14. Innenansicht einer Toiletteneinheit



wurden den physiologischen Minimalanforderungen durch den speziellen Einbau technischer Einrichtungen und einer Möblierung (Lüftung, Klima, Wasser, Toiletten, Schlafen usw.) Genüge geleistet, andererseits wurde eine besondere Organisationsstruktur mit der nötigen Infrastruktur für die Leitung, die Betreuung und den Betrieb in der Zivilschutzanlage geschaffen.

Organisation im Sonnenbergtunnel

Der Aufenthalt von rund 20000 Personen in den beiden Tunnelröhren erfordert eine saubere Gliederung in räumlicher und organisatorischer Hinsicht. Von dieser Gliederung hängt unter anderem die Gestaltung der in den Tunnelröhren mobil vorgesehenen Einrichtungen (im folgenden «Tunnelmöblierung» genannt) ab (Bilder 11 bis 14).

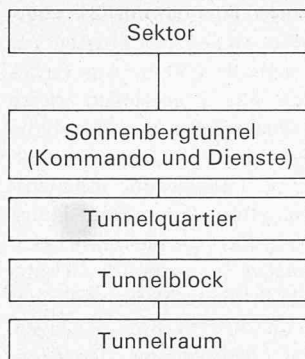
Räumliche Gliederung

Die ganze Schutzanlage wird unterteilt in zwei nur durch vier Verbindungsstollen und die Lüftungszentrale-Mitte verbundenen Tunnelröhren von je rd. 1200 m Länge. Der Schutzbereich wird durch die früher dargestellten besonderen Abschlüsse begrenzt. Beim Nord- und Südabschluss in der Oströhre ist eine Torumgehungsschleuse als Haupteingang angeordnet. Diese Schleusen gestatten den Ein- und Austritt der rund 20000 Personen innert einer bestimmten Zeit. Von diesen Haupteingängen führt in jeder Tunnelröhre ein rund 3 m breiter Längsgang zur Lüftungszentrale-Mitte bzw. Zivilschutz-Organisations-Kaverne. Seitlich an diesem Längsdurchgang anstossend befinden sich die eigentlichen Aufenthalts-/Liegeräume (genannt Tunnelraum TR), Büros der Blockleitungen, Toilettenräume und die sogenannten Versorgungsräume. Die 20000 Schutzrauminsassen der Anlage werden also im eigentlichen Strassentunnelraum untergebracht.

Die Tunnelstückchen vor dem Schutzbereich zwischen dem Portal und den Abschlusstüren weisen gegen konventionelle Waffen und Raketenangriffe einen guten Schutz auf und können im Zivilschutzfall ebenfalls verwendet werden, sei es als Stauraum für ankommende Personen, zum Betreiben einer zusätzlichen mobilen Küche (mobile Küchenwagen) in der Vor- oder Nachangriffsphase und als Einstellplatz für Pionier- und Brandschutzmaterial der Zivilschutzorganisation.

Organisatorische Gliederung

Die Zivilschutzanlage Sonnenbergtunnel ist dem Zivilschutz-Sektor, in dem sich die Anlage befindet, unterstellt. Die Sektorleitung und die sanitätsdienstliche Anlage des Sektors sind örtlich in der Gesamtanlage integriert (Bilder 15 bis 17).



Die Organisation des Schutzraumes, der ein Kommando mit Diensten vorsteht, gliedert sich in 8 *Tunnelquartiere* mit je rund 2000–3000 Personen. Innerhalb eines Tunnelquartiers wird jeweils die Versorgung der Schutzrauminsassen in bezug auf die Verpflegung und die Verbrauchsgüter sowie die Entsorgung sichergestellt. Sie basieren auf der jeweiligen Versorgungszone bzw. auf der Zivilschutz-Organisations-Kaverne (Küche, Vorräte). Ferner bieten 52 *Tunnelblöcke* je 384 Personen Platz. Der Tunnelblockleitung obliegt die eigentliche Betreuungs- und Führungsfunktion der Schutzrauminsassen im Tunnelblock. Sie hat direkte Verbindung mittels Telefon zum Tunnelkommando und zur Tunnelquartierleitung. Sie organisiert die Verpflegung, den Tagesablauf und die Rotation in ihrem Block. Ihr unterstellt sind als unterste Einheit die sogenannten *Tunnelräume* (6 Tunnelräume pro Tunnelblock für je 64 Personen). Die Tunnelraumleitung steht im direkten Kontakt mit der Schutzraumbevölkerung. Sie setzt die Anordnungen der Tunnelblockleitung durch. Ihr obliegt die allgemeine Aufsicht über Ruhe und Ordnung. Sie meldet besondere Vorkommnisse an die Blockleitung. Die *Toilettenräume* – je einer zwischen zwei Tunnelblöcken angeordnet – unterstehen ebenfalls der Tunnelblockleitung, die verantwortlich ist für den reibungslosen Betrieb.

Die eigentliche *Tunnelleitung*, die sich zum grössten Teil in der ZSO-Kaverne befindet, umfasst das *Tunnelkommando*, bestehend aus Tunnelchef und Dienstchefs, die *Tunnelnachrichtenzentrale* mit Übermittlungs- und Meldezentrale und Tunnelinformation (Betrieb Lautsprecheranlage, Redak-

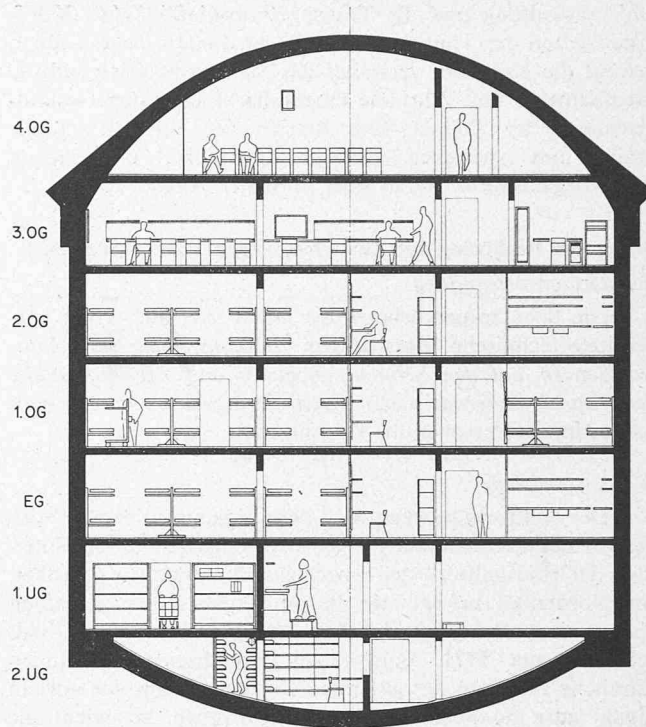


Bild 15. Querschnitt durch die ZSO-Kaverne

tion Nachrichtenbulletin usw.), die *Administration* mit Kanzlei (Personenregistrierung, Wertsachen, Auskunfts- und Suchdienst), Postdienst und Seelsorge im Tunnel. Der *Rechts-, Ordnungs- und Sicherheitsdienst* ferner übt Gerichts- und Ordnungsfunktionen (Arrestzellen vorhanden) aus sowie Brandwach- und Brandbekämpfungsdienst innerhalb der Schutzanlage. Der *technische Tunneldienst* mit verschiedenen Betriebsgruppen ist zuständig für die Bedienung und Überwachung der elektromechanischen Einrichtungen, der Eingangs- und Abschlussbauwerke, der sanitären Einrichtungen (Wasserversorgung, Abwasser) und für die Werkstatt. *Verbrauchsmaterial-, Transport- und Verpflegungsdienst* obliegt der Betrieb der zentralen Küche, die Materialbeschaffung

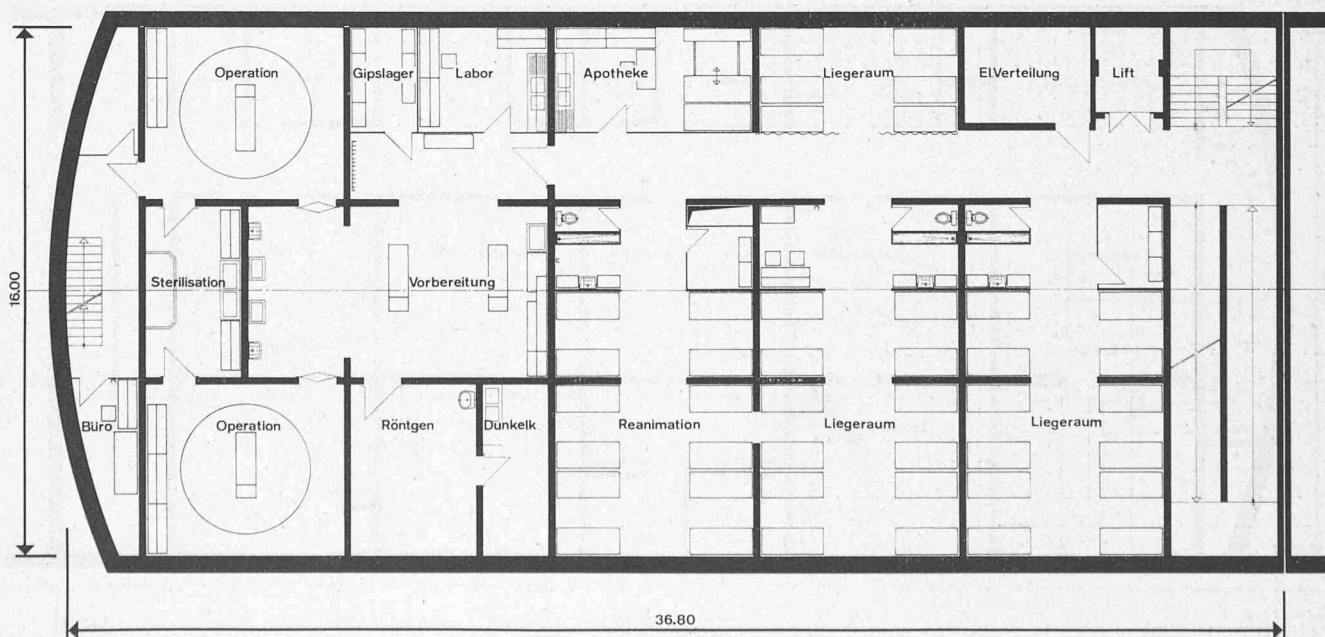


Bild 16. Grundriss des ersten Obergeschosses (1.OG) der ZSO-Kaverne mit Notspitalbehandlungstrakt

und -verwaltung und die Transportkoordination (als Kopforganisation der Tunnelquartiere). Der *Sanitätsdienst* endlich betreut die Kranken, verwaltet das Sanitätsmaterial und die Medikamente und führt die Oberaufsicht über den Gesundheitsdienst im Tunnel. Der Betrieb der Sanitätshilfsstelle erfolgt mit speziellen Detachementen der ordentlichen Schutzorganisation, wie in jeder normalen Anlage üblich.

Bezug und Benützung der Zivilschutzanlage Sonnenbergtunnel Schutzraumvorbereitung

Die Schutzraumvorbereitung stützt sich auf genau vorbereitete technische Massnahmen zur *Umstellung vom Autobahnbetrieb auf den Schutzraumbetrieb* und zur *Aufstellung der Tunnelmöblierung* nach einem Dringlichkeitsplan durch vorbestimmte Personen der Organisation.

Schutzraumbezug

Der Schutzraumbezug wird beim organisatorischen Vollausbau des Zivilschutzes bereits in Friedenszeit durch Zuteilung der Haushalte zu den einzelnen Schutzräumen geordnet. Im Normalfall erfolgt der Bezug gemäss einer geplanten stufenweisen Belegung der Schutzräume nach dem Zivilschutzkonzept 1971. Sollten aus irgendwelchen Gründen sämtliche Personen des gesamten Einzugsgebietes wie auf ein Signal zum Sonnenbergtunnel heranströmen, so reicht die Eingangskapazität bei extremer Auslastung immer noch aus, da wegen der verschiedenen Anmarschwege nicht alle Personen gleichzeitig ankommen. Zudem sind Stauräume vor den Schleusen vorhanden, welche bereits einen recht guten Schutz gewährleisten.

Bei allen normalen Bezugsarten werden bei den Eingängen das Gepäck kontrolliert, eventuell mitgebrachte Haustiere zurückgehalten (Aufnahme in den Stauräumen), die Personalien kontrolliert und die Platzzuteilung zu den einzelnen nummerierten Tunnelräumen vorgenommen. Gleichzeitig werden die Insassen über das Verhalten und die neue Umgebung im Sonnenbergtunnel orientiert.

Die Eingangskontrolle unterscheidet sich grundsätzlich nicht von der, die bei allen anderen Schutzräumen auch vorgesehen wird.

Jedem Insassen ist eine *Liegestelle* mit den Abmessungen

70 cm × 190 cm in einem bezeichneten Tunnelraum fest zugeteilt. Sie sind vierstöckig angeordnet wegen der grossen zur Verfügung stehenden Raumhöhe von rd. 4,50 m. Aus Gründen der Standardisierung wurden alle Liegestellen gleich ausgeführt, wodurch, wegen des Quergefälles der Autobahn in den Kurven, eine leichte Schiefstellung der Liegen entsteht. Es wird darauf geachtet, dass pro Tunnelraum möglichst gewachsene, natürliche Gemeinschaften (Familien, Hausgemeinschaften) zusammenkommen. Der Tunnelraumchef – vergleichbar mit dem Schutzraumchef in normalen Schutzräumen – hat die Aufgabe, innerhalb dieses Personenkreises seine Anordnungen durchzusetzen und für Disziplin zu sorgen.

Der ganze Tagesablauf (inkl. Verpflegung, Rotation, Ruhezeiten usw.) wird von der Tunnelleitung klar geregelt. Eine grössere Anzahl Personen, die nicht der im Frieden ausgestellten Zivilschutzorganisation angehören, werden zu Hilfsaufgaben in der Organisation des Tunnels herangezogen.

Für ältere Personen und Kranke sind besondere Tunnelräume vorgesehen. Diese Personengruppen sowie die Säuglinge, für die ein besonderes Abteil zur Verfügung steht, werden weitgehend von den Angehörigen betreut, für die in nächster Nähe Platz vorgesehen ist.

Über eine *Tunnellautsprecheranlage*, die durch vorgängige Versuche 1:1 sorgfältig geplant wurde, werden die Schutzrauminsassen von zentraler Stelle aus mit den notwendigen allgemeinen Anordnungen und mit Informationen versorgt.

Verpflegung

Wie in allen anderen Schutzräumen haben auch hier die Schutzrauminsassen eine Wochenration von Kaltverpflegung mit ihrem Notgepäck mitzubringen. Durch die Rotation wird ein gewisser *persönlicher Nachschub* erreicht. Der durch die Behörden organisierte kriegswirtschaftliche Nachschub wird, soweit notwendig, in einer zentralen Küche aufbereitet. Reichen wegen der Art des Nachschubes die im Tunnel vorhandenen Küchen nicht mehr aus, so werden in den Tunnelstrecken ausserhalb der Abschlussstore mobile Küchen aufgestellt, die dort bei teilweisem Schutz vor Waffenwirkungen Mahlzeiten zubereiten und über die Schleusen die Schutzrauminsassen versorgen. Die Aufbewahrung von lange haltbarer Konzentratnahrung im Tunnel ist vorgesehen.

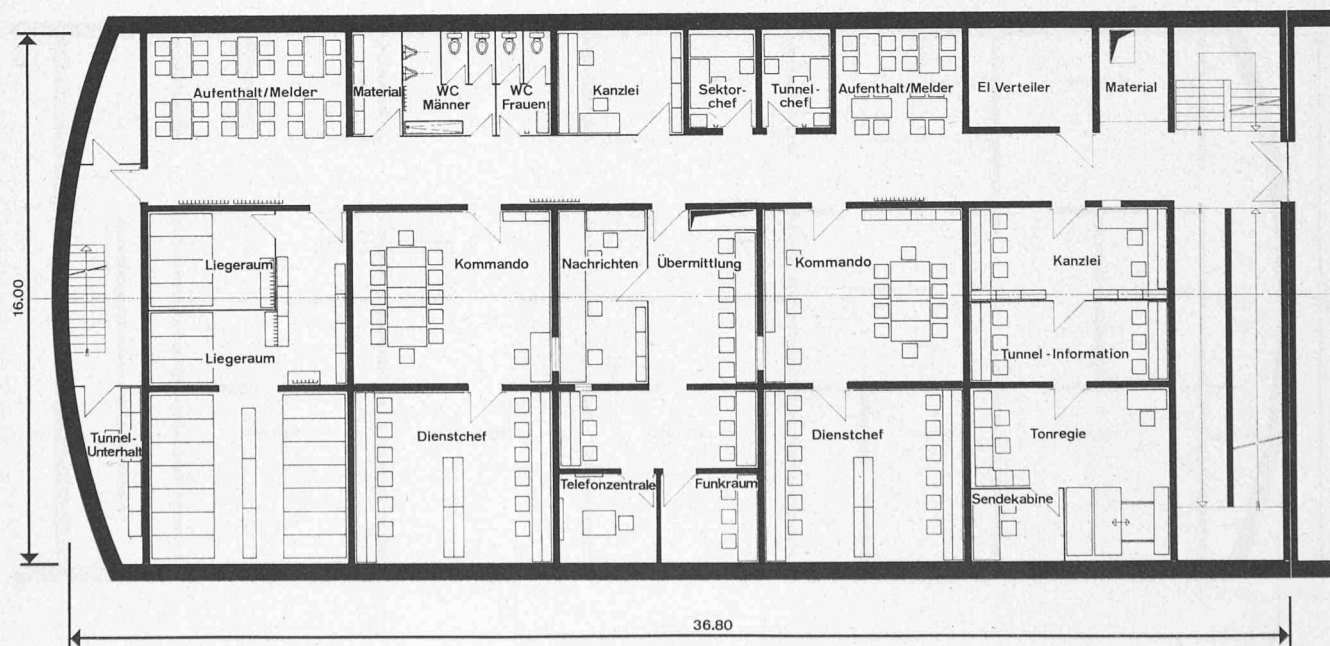


Bild 17. Grundriss des dritten Obergeschosses (3. OG) der ZSO-Kaverne. Sektor-Kommandoposten und Tunnelleitung

Toiletten, Entsorgung

Als Toiletten stehen Trockenklosette und Pissoire zur Verfügung. Der Inhalt der Säcke der Trockenklosette wird in Fäkalienbehälter gegeben, die periodisch aus dem Tunnel ausgeschleust und in vorbereiteten Gruben deponiert werden. Solange die Wasserversorgung normal funktioniert, steht genügend Wasch- und Trinkwasser in den Toilettenräumen zur Verfügung. Beim Ausfall der normalen Wasserversorgung

erfolgt eine rationierte Abgabe, da ein unkontrollierter Verbrauch die geschützte Grundwasserfassung zu stark beanspruchen würde. Die Zivilschutzanlage Sonnenbergtunnel ist durch mehrfache Redundanzen vor Wasserknappheit gut geschützt.

Adresse der Verfasser: Dr. W. Heierli, dipl. Ing. ETH, L. Jundt, Ing.-Techn. HTL, und E. Kessler, Ing. SIA, Ingenieurbüro Heierli AG, Culmannstrasse 56, 8006 Zürich.

Tunnelabdichtungen mit Kunststoffbahnen aus PVC

Von Antonio Peduzzi, Zürich

DK 624.191.8

Die Dauerhaftigkeit eines mit grossem Aufwand erstellten Untertagebauwerkes hängt nicht zuletzt von dessen *Dichtheit* ab, das heisst vom *Verhindern irgendwelcher Wasserinfiltrationen*. Diese können im Winter zu *Eiszapfenbildungen* und somit zu einer *Verringerung des Raumprofils* und bei Strassentunnels zu einer *Vereisung der Fahrbahn* führen.

Untertagebauwerk und Probleme der Abdichtung

In Anbetracht der Tragweite dieser möglichen Schäden ist es unumgänglich, sich schon bei der Projektierung eines Untertagebauwerkes mit den Problemen der Abdichtung auseinanderzusetzen. Dabei ist prinzipiell zwischen Vordichtung, Hauptdichtung und Nachdichtung zu unterscheiden.

Unter *Vordichtung* versteht der Fachmann die Abdichtungsarbeiten, die eher provisorischen Charakter haben, die jedoch die Voraussetzung für die eigentlichen Arbeiten im Tunnel, unter anderem auch die Erstellung der Hauptdichtung bilden. Unter den Begriff *Hauptdichtung* fallen die *eigentlichen wasserdichten Konstruktionen* jeder Art, welche die absolute Trockenheit des Tunnels gewährleisten. Und als *Nachdichtung* werden solche Arbeiten bezeichnet, die entweder vorausgeplant waren und die Hauptdichtung ergänzen, oder – was in der Praxis eher der Fall ist – *Reparaturarbeiten*, die zur nachträglichen Dichtheit eines Bauwerkes führen.

Bei einer Tunnelabdichtung (Hauptdichtung) sind die folgenden Belange mit zu berücksichtigen:

– *Sicherheit der Belegschaft*: Die zur Ausführung gelangende Abdichtung muss die Sicherheit der Belegschaft, die beim Untertagebauwerk eingesetzt ist, während der gesamten Arbeitsausführung gewährleisten.

– *Ausschaltung der Brandgefahr*: Speziell beim Untertagebau in Deutschland sind im Jahre 1969 grössere Brandkatastrophen aufgetreten. Die Ursache lag meistens bei der unsachgemässen Verwendung von Flüssig-Gas. Es sind deshalb bei der Anwendung von Abdichtungssystemen, die mit Flüssig-Gas (Brenner) ausgeführt werden müssen, entsprechende Schutzvorschriften zu beachten. Es sind aber auch Tunnelbrände bekannt, die bei der Ausführung von Kunststoff-Abdichtungen erfolgt sind. Entsprechende Vorsichtsmassnahmen sind daher angezeigt.

Bei den Hauptdichtungen ist besonders zwischen der *wasserdruckhaltenden* Abdichtung, wie sie zum Beispiel bei Untertagebauwerken im Grundwasser auftreten kann, und der *wasserabweisenden* Abdichtung, wie sie im Strassen- und Eisenbahntunnelbau auftritt, zu unterscheiden.

Spritzisolierungen

Die Spritzisolierungen, ausgeführt mit Polyesterharzen, Epoxidharzen, Bitumen-Latex-Kombinationen, Neopren-Latex-Kombinationen und Polyurethan haben sich bis heute

nicht durchsetzen können. Trotz Ausführung einer Spritzisolierung in verschiedenen Lagen, wobei jede Lage verschieden gefärbt werden kann, ist die Einhaltung einer einheitlichen Schichtstärke nicht garantiert. Im weiteren sind bei Spritzisolierungen hohe Anforderungen an den Untergrund zu stellen bezüglich Freinheit und Trockenheit, die sich sehr vertuernd auswirken.

Bahnenförmige Abdichtungsmaterialien

In der Praxis haben sich dagegen Abdichtungen, ausgeführt mit bahnenförmigen Abdichtungsmaterialien, bewährt. Als Materialien kommen in Frage: *Bitumen-Dichtungsbahnen*, *kunststoffmodifizierte Bitumen-Dichtungsbahnen* und *Kunststoff-Dichtungsbahnen*.

Bitumen-Dichtungsbahnen und kunststoffmodifizierte Bitumen-Dichtungsbahnen erfordern immer eine regelmässige Unterlage, während Kunststoff-Dichtungsbahnen auch auf unebener Unterlage, wie Gunit und Spritzbeton verarbeitet werden können. Diese Eigenschaft hat die Anwendung der Kunststoff-Dichtungsbahnen für die Abdichtung von Untertagebauwerken sehr gefördert.

Die *Kunststoff-Dichtungsbahnen* können aus folgenden Grundmaterialien hergestellt sein:

- Polyvinylchlorid, weich (PVC, weich)
- Polyäthylen (PE)
- Äthylen-Copolymer-Bitumen (ECB)
- Chlor-sulfiniertes Polyäthylen (Hypalon CSM)
- Butyl-Kautschuk (IIR).

In der Praxis haben sich besonders Kunststoff-Dichtungsbahnen aus PVC gut bewährt, die mit Heissluft thermisch homogen miteinander verbunden werden können.

Abdichtung in geologisch ungünstigen Gesteinsabfolgen

Immer mehr wird auch in geologisch schlechten Gesteinsformationen beim heutigen Tunnelbau auf eine Aussering-Verkleidung verzichtet. Sehr oft wird *Spritzbeton mit Felsankerung* kombiniert ausgeführt, oder es wird ein *eventueller Stahleinbau mit Spritzbeton überdeckt*. Für diese Art Unterlage hat sich das nachfolgende Tunnel-Abdichtungsverfahren mit Kunststoff-Dichtungsbahnen aus PVC unter Verwendung von PVC-Scheiben bewährt. Es kam unter anderem bei den folgenden Tunnels zur Anwendung: italienische Seite des Tunnel Fréjus (Verbindung Autobahn Lyon–Turin), Tunnel Gleinalm (Österreich–Steiermark), Tunnel Werfen (Österreich–Salzburg, Tauern Autobahn).

Unterlage-Stärke der Dichtungsbahnen

Eine Behandlung der Gunitunterlage durch *Abpinseln* oder *Absacken* entfällt. *Wasserinfiltrationen sind nur so weit vorzudichten, als dies für die Herstellung des Spritzbetons oder Gunites notwendig ist* (Bild 1). *Es sollte, wenn möglich, eine*