

Zeitschrift: Schweizer Ingenieur und Architekt
Herausgeber: Verlags-AG der akademischen technischen Vereine
Band: 111 (1993)
Heft: 18

Artikel: N4 Flurlingertunnel
Autor: Vollenweider, Ueli / Boppart, Kurt
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-78177>

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: 14.05.2025

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

ASIC-Artikelreihe: Unterirdische Bauwerke

N4 Flurlingertunnel

Aufgrund adäquater Sicherheitsplanung konnte auch für die schwierigen geologischen Verhältnisse mit dem gefürchteten Boluston das angemessene Bauverfahren gewählt werden und der Tunnel mit Erfolg erstellt werden.

Übersicht

Der Abschnitt N4.2.3 – Flurlingen verbindet die Nationalstrasse unter der Stadt Schaffhausen mit der bestehen-

VON UELI VOLLENWEIDER
UND KURT BOPPART,
ZÜRICH

den Staatsstrasse Schaffhausen–Winterthur.

Kernstück dieses Abschnittes bildet die rund 1250 m lange Tunnelbaustrecke, bestehend aus rund 1000 m Untertagbau und rund 250 m Tagbau. Die Tunnelgeometrie wird durch die drei Fahrspuren bestimmt; eine Fahrspur fallend

Richtung Schaffhausen und zwei mit 5% steigende Fahrspuren Richtung Winterthur.

Vor dem Nordportal befindet sich die Verzweigung mit dem Ausfahrtstunnel nach Schaffhausen (vgl. Bild 1).

Geologie

Im Portalbereich Nord kommt der Tunnel in den Plattenkalk zu liegen, welcher mehr oder weniger stark zerklüftet und verkarstet ist.

Im Verzweigungsbereich ist der Plattenkalk stark zerklüftet und verkarstet. Die Klüfte und Spalten sind mit Boluston gefüllt. Der stark verkarstete Plattenkalk stellt felsmechanisch ein Ge-

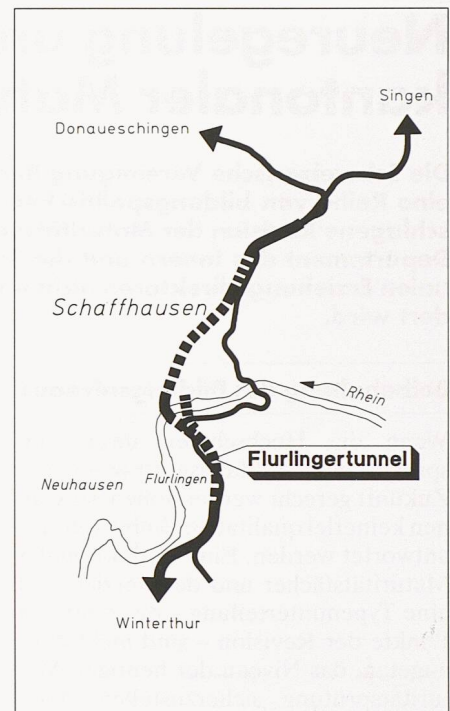


Bild 1. Nationalstrasse N4 durch Schaffhausen

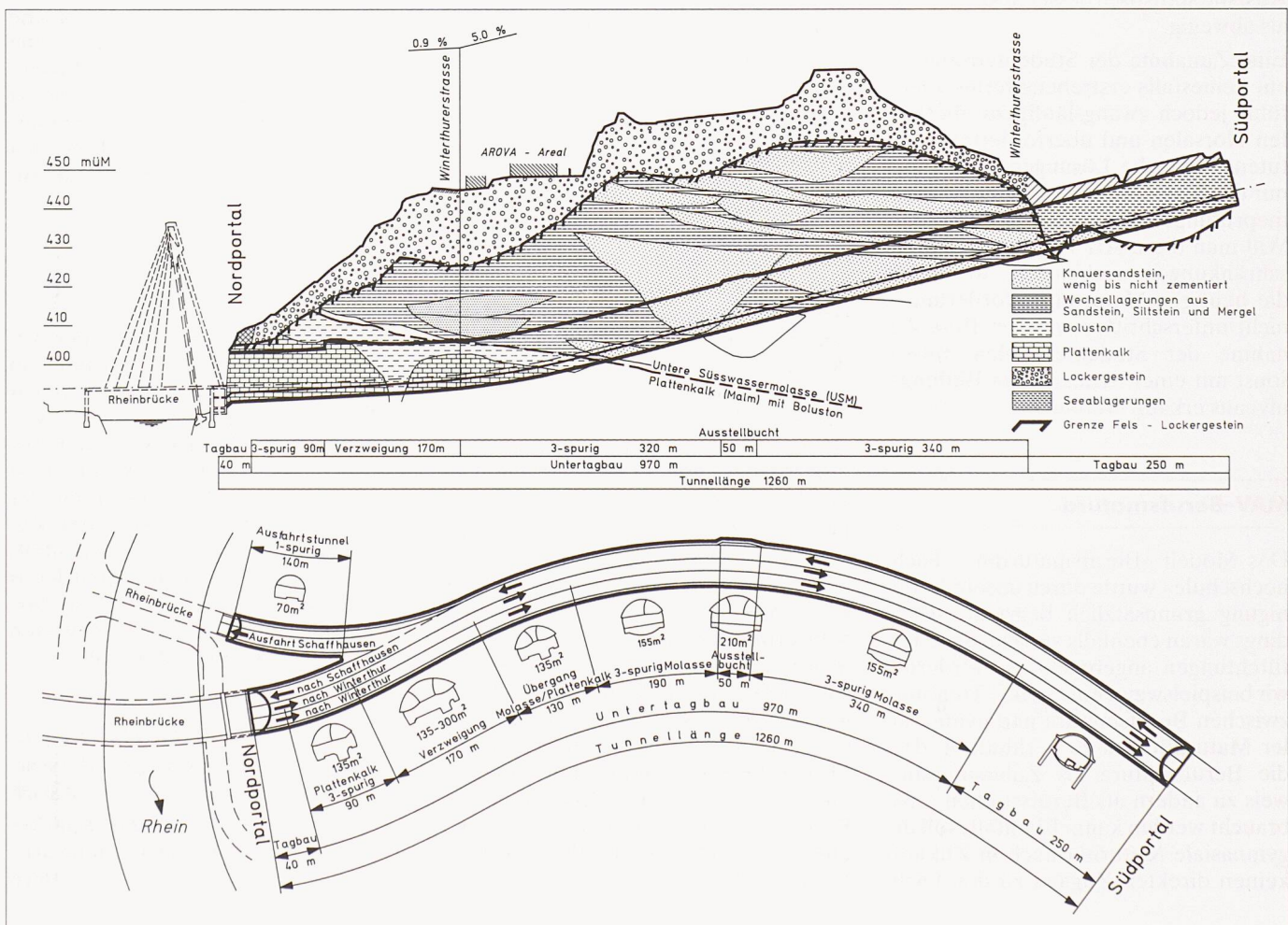


Bild 2. Geologisches Längensprofil und schematischer Grundriss

misch von Kalkbrocken und Boluston dar. In der Mitte der Verzweigung befindet sich eine grössere, mit Boluston gefüllte Depression in der Malmkalkoberfläche. Aufgrund der Sondierbohrungen beträgt das Ausmass dieser Bolustontasche rund 50 m. Der Boluston zerfällt bei Wasseraufnahme relativ rasch.

Nach der Verzweigungsstrecke liegt der Tunnel im Übergangsbereich von Plattenkalk/Boluston und Molasse. Von dieser Übergangsstrecke bis zum Südportal liegt der Tunnel in der Unteren Süsswassermolasse (vgl. Bild 2).

Innerhalb der Wechsellagerung Sandstein, Siltstein, Mergel sind rinnenförmige Knauersandsteine eingelagert. Auf längeren Strecken befindet sich der Tunnel vorwiegend in den Knauersandsteinen, die kaum zementiert sind und die bei geringer mechanischer Einwirkung oder durch Wasseraufnahme zu kohäsionslosem Sand zerfallen. Die tonigen Mergel sind stark quellfähig. Der Wasseranfall ist eher gering und vor allem in den Schichtgrenzen und Klüften vorhanden.

Tunnelprofile

Das Normalprofil weist drei Fahrspuren von total 11 m Breite und beidseitig je ein Bankett von rund 1 m auf. Der Gewölbeaufbau ist zweischalig mit dazwischenliegender Abdichtung. Im Plattenkalk sind die Tunnelprofile als hufeisenförmige Profile konzipiert. Im Molassebereich wurde wegen der stark

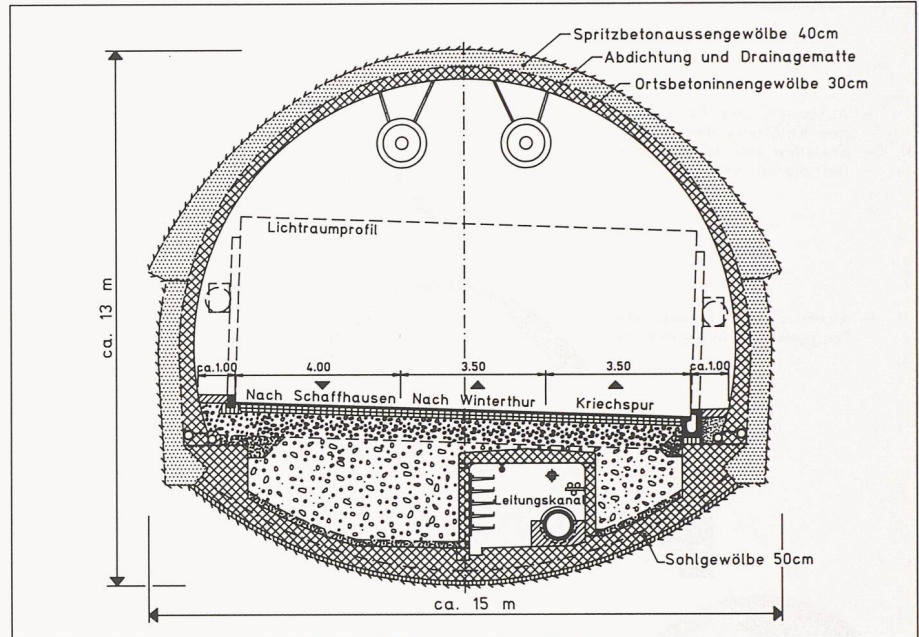


Bild 3. Normalprofil 3-Spur-Tunnel

quellfähigen Mergelschichten ein Sohlgewölbe eingebaut.

Sämtliche Leitungen sind in einem durchgehend begehbaren Kanal unter der Fahrbahn angeordnet. Zugänge sind je bei den Portalen sowie beim max. Verzweigungsquerschnitt und bei der Ausstellbucht vorhanden.

Im Verzweigungsbereich erfolgt eine trompetenartige Verbreiterung des Tunnelquerschnittes für die zusätzliche Ausfahrtsspur Richtung Schaffhausen. Die maximale Tunnelbreite beträgt hier rund 27 m, der Ausbruchquerschnitt

rund 300 m². Der Ausfahrtstunnel ist einspurig mit einer Standspur und beidseitigem Bankett. Etwa in Tunnelmitte befindet sich die Ausstellbucht mit der Profilvergrößerung um die Ausstellbuchtweite von 3 m auf total 14 m Fahrbahnbreite (vgl. Bild 3).

Das Lüftungskonzept besteht aus einer Längslüftung mittels Strahlventilatoren.

Das Berg- und das Fahrwasser werden getrennt geführt. Die Gewölbeentwässerungsleitung kann durch die seitlichen Nischen im Abstand von rund

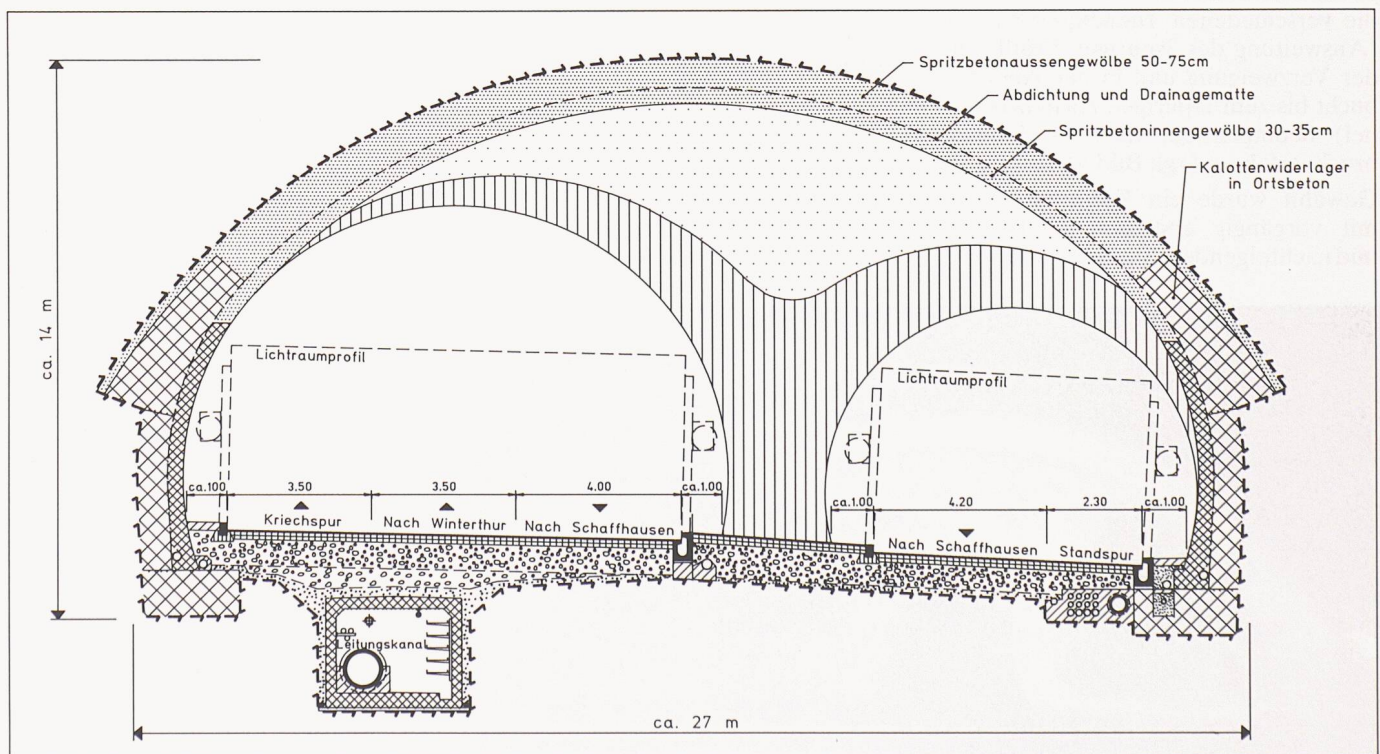


Bild 4. Verzweigungsquerschnitt

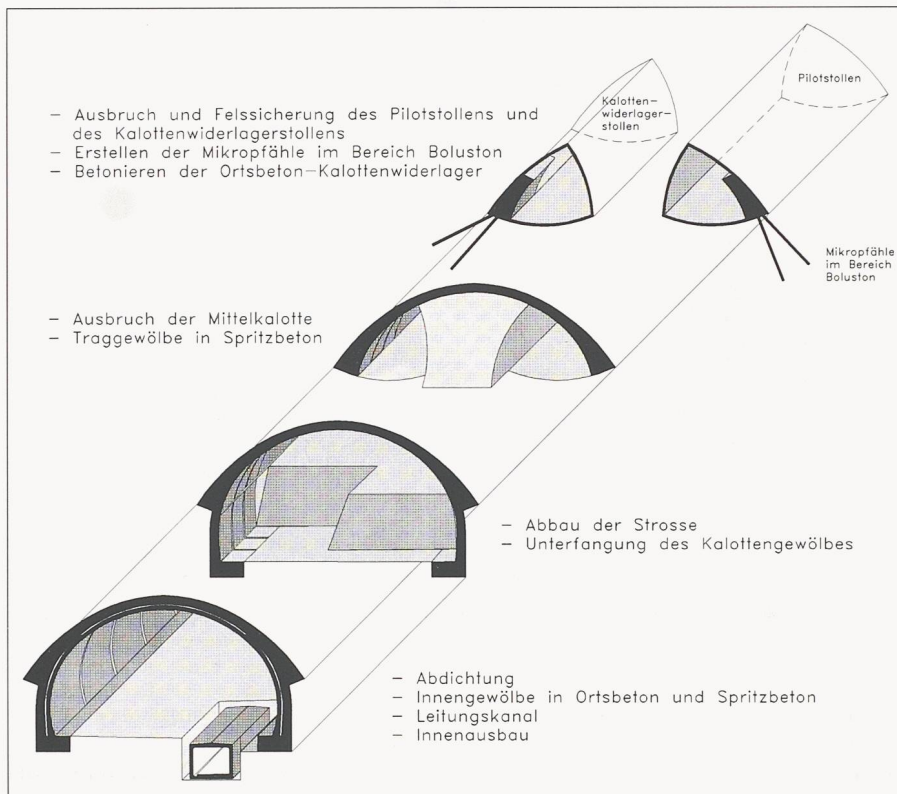


Bild 5. Bauvorgang Verzweigung

40–50 m unterhalten werden. Als bauliche Sicherheitseinrichtung sind die SOS- und Hydrantennischen beidseitig rund alle 140 m zu erwähnen (vgl. Bild 4).

Bauvorgang

Die unterschiedlichen geologischen Verhältnisse (harter Plattenkalk bis kaum zementierter Sandstein) und die verschiedenen Tunnelquerschnitte (Ausweitung des 3spurigen Profils in der Verzweigung und in der Ausstellbucht bis zum 1spurigen Ausfahrtstunnel) bedingen ein flexibles Teilausbruchverfahren (vgl. Bild 5).

Gewählt wurde ein Kalottenvortrieb mit vorgängig erstellten Pilotstollen und nachfolgendem Strossen- und Sohl-

abbau im steigenden Vortrieb von Nord nach Süd. Je nach Felsqualität und Abbauphase wurden die Teilquerschnitte im Sprengvortrieb ausgebrochen oder mechanisch abgebaut. Der seitlich der Kalotte angeordnete Pilotstollen diente als Erkundungs- und Entwässerungstollen sowie zur Ausführung von allfällig notwendigen Bauhilfsmassnahmen für die nachfolgende Kalottenausweitung wie Entwässerungsbohrungen, Injektionen usw. Der Pilotstollen wurde vom Nordportal aus im steigenden Vortrieb aufgefahren.

Im 3spurigen Molassebereich wurde hinter dem Pilotstollen die Kalotte aufgeweitet. Die Standfestigkeit des wenig zementierten Sandstein und die Wasserverhältnisse erlaubten den Vortrieb ohne spezielle Bauhilfsmassnahmen.



Bild 6. Kalottenvortrieb in der Verzweigung

Der nachfolgende Strossen- und Sohlabbau erfolgte ohne Probleme. Im Verzweigungsbereich wurde parallel hinter dem Ausbruch des Pilotstollens der Kalottenwiderlagerstollen ausgebrochen.

Nach dem Ausbruch der beiden Seitenstollen (Pilotstollen und Kalottenwiderlagerstollen) wurde alternierend ein Stollen für den Transport gesperrt, um die Mikropfähle unter dem Kalottenwiderlager im Bereich Boluston auszuführen. Anschliessend wurde das Kalottenwiderlager in Ortsbeton erstellt. Nach Abschluss dieser Arbeiten konnte die Mittelkalotte ausgebrochen und das Traggewölbe in Spritzbeton ausgeführt werden. Das Unterfangen des Kalottengewölbes mit dem Betonieren des Ortsbetonparamentes erfolgte in Etappen von 5 m.

Auf das Aussengewölbe wurde durchgehend eine Drainagematte und eine PVC-Folie als Abdichtung verlegt.

In der Verzweigung und in der Ausstellbucht ist das Spritzbetoninnengewölbe bewehrt. Zur Befestigung der Bewehrung wurden erstmals nach Vorschlag des Abdichtungsunternehmers ein spezieller Anker verwendet, der aus einer PVC-Hülse mit Innengewinde für den Ankerstab und dem PVC-Teller, der mit der Abdichtungsfolie verschweisst wird, besteht. Dieser Anker gewährleistet ein durchdringungsfreies Abdichtungssystem. Nach der Montage der Bewehrungsnetze an den Ankern wurde der Nassspritzbeton direkt auf die Abdichtungsfolie aufgebracht. Im 3-Spur-Profil und im Ausfahrtstunnel wurde das Innengewölbe unarmiert in Ortsbeton erstellt (vgl. Bild 6 und 7).

Sicherheitskonzept und Bauwerküberwachung

Die Gefahrenmatrix zeigt, welche Gefahren für welche Bauphasen eine Bauwerkgefährdung darstellen können (vgl. Bild 8). Als Gefahren wurden Einflüsse (Einwirkungen und Widerstände) erfasst, die einzeln oder gemeinsam zu einem ungenügenden Tragwerkverhalten führen können.

Das Gefährdungspotential jeder Gefahr wurde nach den Bewertungskriterien qualitativ gewertet. Die Gefahrenmatrix dient sowohl als Grundlage für die Festlegung der Gefährdungsbilder als auch für die Anordnung der Kontrollmassnahmen.

Der Sicherheits- und Kontrollplan dient sowohl der Tragwerksicherheit als auch der Gebrauchstauglichkeit des Bauwerkes. Im Sicherheitsplan wurde festgelegt, welchen Gefährdungszuständen mit welchen Massnahmen zu begegnen ist. Das Aufstellen und Durchdenken

von kritischen Situationen, dargestellt durch Gefährdungsbilder, dient der Planung von Massnahmen zur Gewährleistung der Tragwerksicherheit (vgl. Bild 9). Das Gefährdungsbild beschreibt einen, zu einem bestimmten Zeitpunkt der Bauwerkerrstellung oder Bauwerknutzung möglichen Gefährdungszustand. Die kritischen Gefährdungsbilder beschränken sich auf das interaktive Verhalten Bauwerk-Baugrund während und nach der Bauwerkerrstellung.

Das Tragwerkverhalten des Bauwerkes wurde anhand von Bauwerk- und Baugrundverformungen beurteilt. Das Gefährdungsbild enthält Angaben über die zulässigen und die kritischen Verschiebungen. Als zulässig gelten Verschiebungen, die für das Bauwerk keine Gefahr darstellen. Als kritisch gelten Verschiebungen, bei deren Überschreitung eine akute Gefährdung der Tragwerksicherheit angenommen werden muss. Der Wert der zulässigen Verschiebung gilt als Interventionsgrenze für die Anordnung von Sicherheitsmassnahmen. Bei der Beurteilung der Verschiebungen ist der zeit- und vortriebsabhängige Verlauf zu berücksichtigen.



Bild 7. Strossenabbau und Sohlgewölbe in der Molasse

Der Kontrollplan dient als Leitfaden zur Überwachung des Bauwerkes und zur Erkennung von Bauwerksgefährdungen gemäss den Gefährdungsbildern. Im Kontrollplan sind die notwendigen Bauwerkskontrollen aufgeführt, die während jeder Bauphase oder bei

einem bestimmten Bauzustand auszuführen sind.

Zur Überwachung des Verhaltens Bauwerk-Baugrund wurden in vorgängig festgelegten Messquerschnitten Baugrundverformungsmessungen mittels Setzungspegel und dreiaxialen

Gefährdungs- bild	Bauphase	GEFAHR	Gebirgsdruck	Wasser- und Porenwasserdruck	Quelldruck	Baugrundsteifigkeit	Baugrundscherfestigkeit	Tragwiderstand	Aussengewölbe	Tragwiderstand	Sohlgewölbe	Tragwiderstand	Innengewölbe
A	Ausbruch	r	R			r	R						
B,C	3-spur, Molasse	Pilotstollen	r	r									
		Kalotte	R	r		R	r	r					
D	3-spur, Molasse	Strosse	r	r		R	r	r					
E		Sohle	r	r	R	r	r			r			
E,F	Verzweigung	Endzustand	r	R	R				r	r	r		
G,H		Pilotstollen	r	r									
	Kalotte	R	r		R			r					
I	Verzweigung	Strosse	r			R			r				
K		Endzustand	r	R					r			r	

R

 = Leitgefahr

Bewertung:

R

 = grosses Risiko :

- Verhalten im Zeitpunkt der Betrachtung unsicher
- Abweichung für Tragwerkverhalten kritisch

r

 = kleines Risiko :

- Verhalten im Zeitpunkt der Betrachtung bekannt
- Abweichung für Tragwerkverhalten kritisch
- Verhalten im Zeitpunkt der Betrachtung unsicher
- Abweichung für Tragwerkverhalten unkritisch

= kein Risiko :

- Verhalten im Zeitpunkt der Betrachtung bekannt
- Abweichung für Tragwerkverhalten unkritisch

Bild 8. Gefahrenmatrix

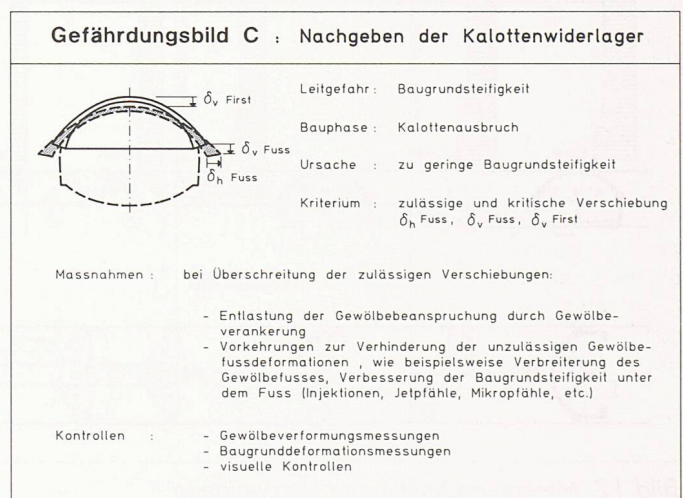


Bild 9. Beispiel eines Gefährdungsbildes

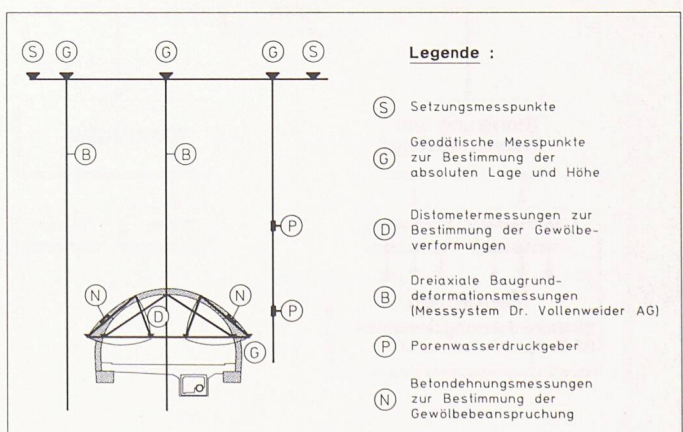


Bild 10. Messkonzept

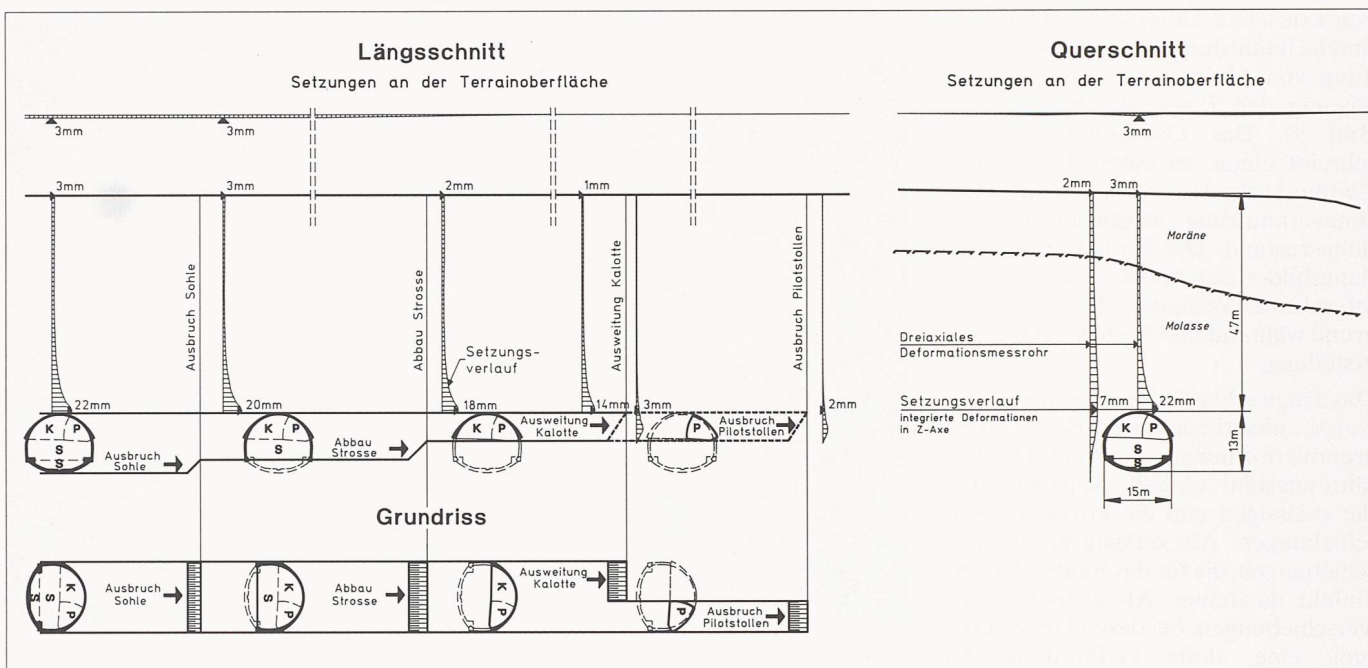


Bild 11. Messquerschnitt in der Molasse

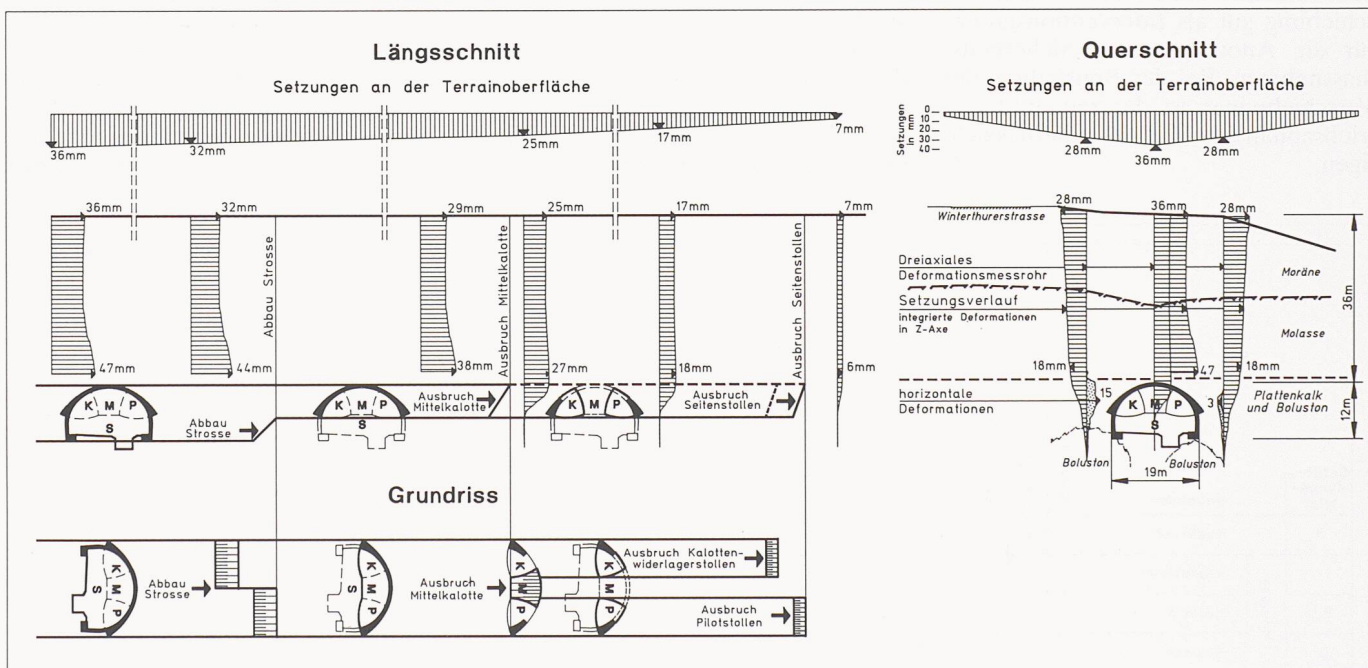


Bild 12. Messquerschnitt in der Verzweigung

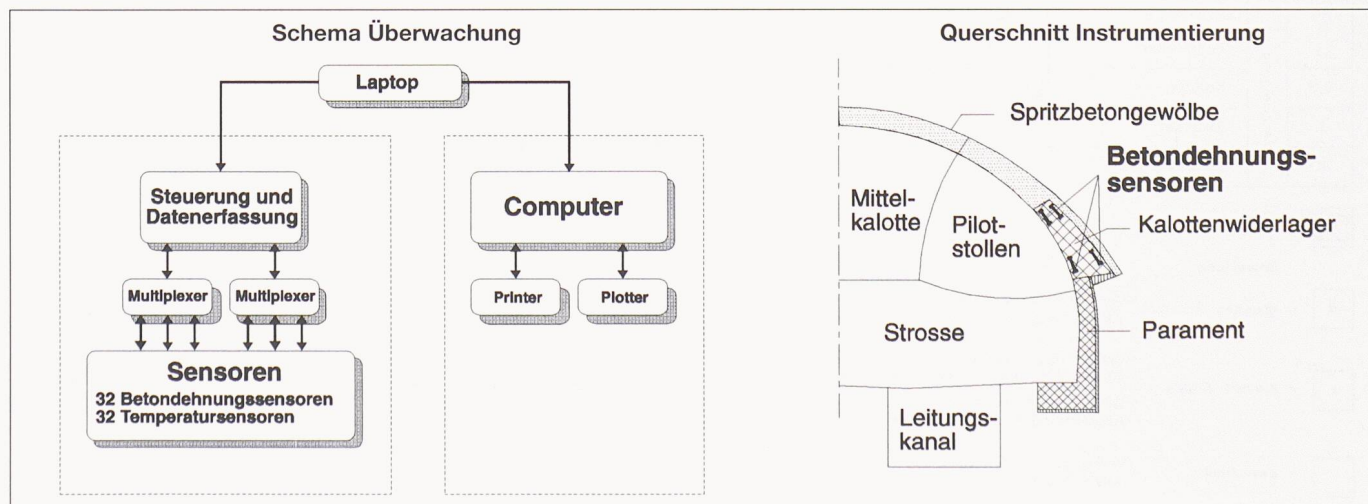


Bild 13. Instrumentierung zur Messung der Gewölbekraft

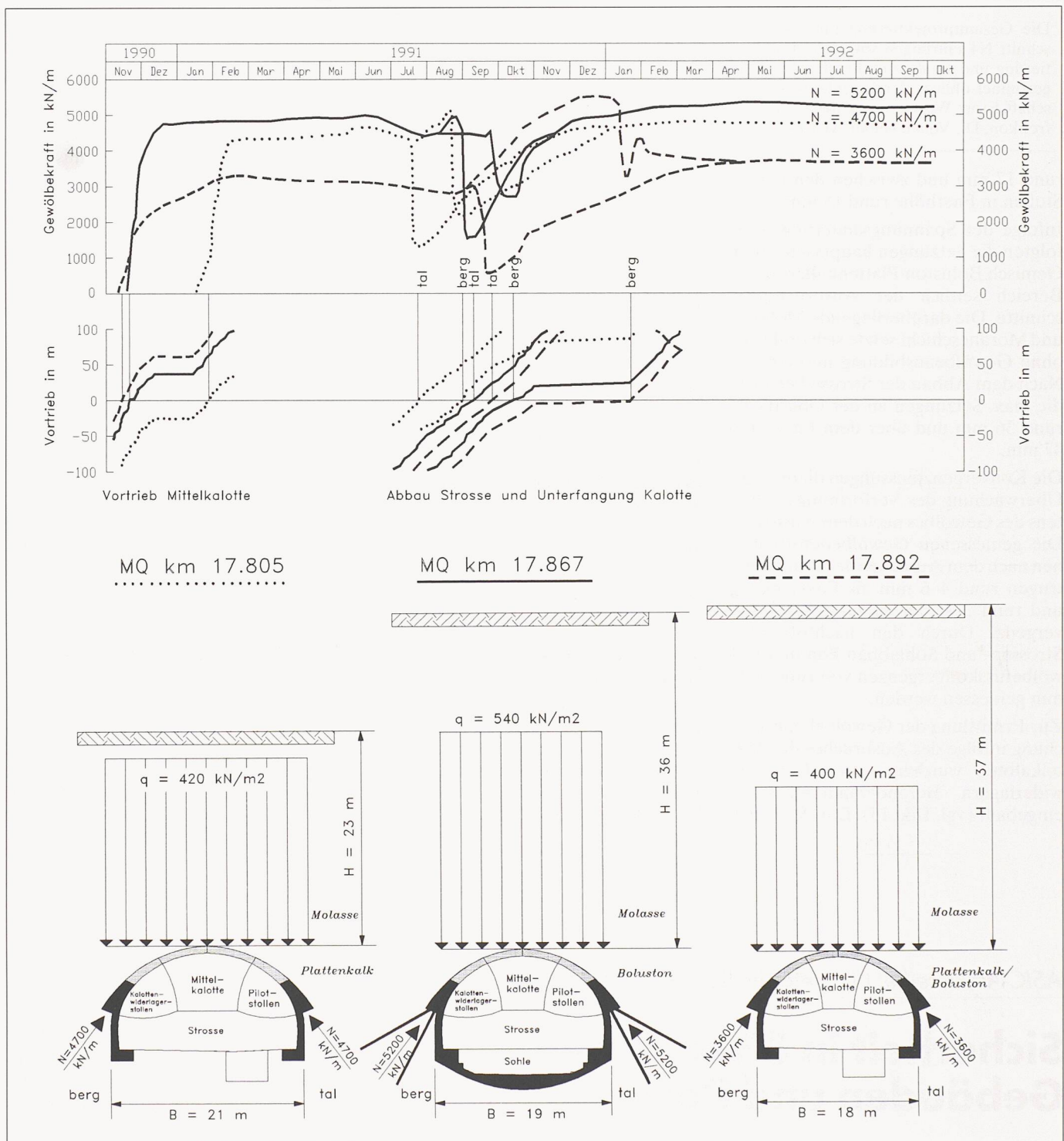


Bild 14. Messung der Gewölbekraft infolge Ausbruch Mittelkalotte und Strosse

Deformationsmessungen durchgeführt. Die Wasserdruckverhältnisse wurden mittels Porenwasserdruckmessungen überwacht. Diese Messungen wurden durch Konvergenzmessungen und geodätische Vermessungen im Tunnel ergänzt (vgl. Bild 10).

Im Verzweigungsbereich wurden in den Ortsbetonkalottenwiderlagern Betondehnungssensoren eingebaut, um die Gewölbebeanspruchung infolge des Ausbruches der Mittelkalotte und der späteren Unterfangung des Kalottengewölbes während dem Strossenabbau zu ermitteln. Die Messwerte dieser Deh-

nungssensoren wurden in einigen Stundenintervallen durch ein automatisches Datenerfassungsgerät registriert und mit dem PC ausgewertet.

Messresultate

Die typischen Baugrundverformungen in der Molasse sind im Bild 11 dargestellt. Die Tunnelüberdeckung von rund 47 m entspricht etwa der dreifachen Tunnelbreite. Die max. gemessenen Setzungen an der Oberfläche betrugen rund 3 mm. Über dem First wurden

maximale Auflockerungen von rund 22 mm gemessen. Das Ausmass der Auflockerungszone über dem First beträgt etwa 10 bis 15 m oder entspricht etwa einer Tunnelbreite.

Die Baugrundverformungen in der Verzweigungsstrecke sind im Bild 12 dargestellt. Der Tunnelquerschnitt befindet sich im Gemisch Plattenkalk und Boluston. Über dem First befindet sich die Molasse mit der darüberliegenden Lockergesteinsschicht. Die Setzungen infolge des Ausbruches der beiden Seitenstollen betrugen an der Oberfläche

Die Gesamtprojektierung für den Abschnitt N4 Flurlingen sowie die Projektierung und Bauleitung für den Flurlingertunnel obliegt der Ingenieurgesellschaft Ernst Winkler + Partner AG, Effretikon, Dr. Vollenweider AG, Zürich.

rund 17 mm und zwischen den beiden Stollen in Firsthöhe rund 18 mm.

Infolge der Spannungsänderungen erfolgten die Setzungen hauptsächlich im Gemisch Boluston/Plattenkalk resp. im Bereich seitlich der Ausbruchquerschnitte. Die darüberliegende Molasse- und Moräneschicht setzte sich praktisch ohne Gewölbeausbildung im Gebirge. Nach dem Abbau der Strosse betrugen die max. Setzungen an der Oberfläche rund 36 mm und über dem First rund 47 mm.

Die Konvergenzmessungen dienten zur Überwachung des Verformungsverhaltens des Gewölbes nach dem Ausbruch. Die gemessenen Gewölbedeformationen nach dem Ausbruch der Kalotte betrugen rund 4–6 mm als Firstsenkung und rund 2–4 mm als Gewölbefussdivergenz. Durch den nachfolgenden Strossen- und Sohlabbau konnten Gewölbefusskonvergenzen von rund 5–10 mm gemessen werden.

Zur Ermittlung der Gewölbebeanspruchung infolge des Ausbruches der Mittelkalotte, wurden in den Kalottenwiderlagern Betondehnungssensoren eingebaut (vgl. Bild 13). Der Ausbruch

der Mittelkalotte erfolgte mehrere Monate nach dem Betonieren der Kalottenwiderlager, so dass die Abbinde-temperatur, das Schwinden und das Kriechen des Betons praktisch keinen Einfluss auf die Messungen hatten.

Im Bild 14 ist die Entwicklung der Gewölbekräfte in drei Messquerschnitten dargestellt. Die Gewölbekräfte wurden aus den gemessenen Betondehnungen und den im Labor an Bauwerksbetonproben gemessenen E-Moduln berechnet. Nach dem Ausbruch der Mittelkalotte wurden Gewölbekräfte in der Grössenordnung von 3000 bis 5000 kN/m gemessen. Etwa ein halbes Jahr später wurde die Strosse abgebaut und das Kalottengewölbe unterfangen. Der Kraftanstieg vor der Unterfangung infolge der Gewölbekraftumlagerung konnte nur teilweise beobachtet werden, da das Kalottenwiderlager mit dem Kalottengewölbe als relativ steife Schale die Kräfte in Längsrichtung verteilte. Während der Unterfangung ist eine Reduktion der Gewölbefusskraft zu beobachten, wobei die gemessene Restkraft über die Mikropfähle und über den Fels der Kalottenfussverbreiterung abgetragen wurden. Nach der Unterfangung stiegen die Gewölbekräfte wieder auf etwa das Niveau wie vor der Unterfangung. Der aus der gemessenen Gewölbefusskraft berechnete Gebirgsdruck beträgt etwa 400 bis 540 kN/m², resp. die Belastungshöhe entspricht der rund 0.9 bis 1.2-fachen Tunnelbreite.

Schlussbemerkungen

Der bezüglich Geologie und Tunnelquerschnitte schwierige Tunnel konnte aufgrund der umfangreichen geologisch-geotechnischen Untersuchungen sowie der detaillierten Submissionsvorgaben und der baubegleitenden messtechnischen Überwachung ohne grössere Schwierigkeiten ausgeführt werden.

Der nur schwach zementierte Sandstein erwies sich bei sofortiger Sicherung mit Spritzbeton als genügend standfest, um ohne spezielle Bauhilfsmassnahmen im Teilausbruchverfahren aufgeföhren werden zu können. Die Geländesetzungen erreichten zum Teil mehrere Zentimeter, überschritten aber nie die prognostizierten Grenzwerte.

Die gefürchtete Bolustonstrecke konnte mit dem gewählten Bauverfahren gemeistert werden. Immerhin zeigten die Geländesetzungen von 30 bis 50 mm und die gemessenen Gewölbekräfte von 3000–5000 kN/m, dass die Wahl des Bauverfahrens und die Bemessung der Gewölbekonstruktion richtig und den Verhältnissen angemessen waren.

Adresse der Verfasser: Dr. U. Vollenweider, dipl. Ing. ETH/SIA/ASIC und K. Boppert, Bauing. HTL/SIA, c/o Ingenieurgesellschaft E. Winkler und Partner AG / Dr. Vollenweider AG, Hegarstr. 22, 8032 Zürich

ASIC-Artikelreihe: Neuzeitliche Bauwerke/Aufgaben

Sicherheit in öffentlichen Gebäuden und Parkhäusern

Umfeld

Der Mensch ist von Natur aus auf ein Überleben eingestellt. Zu seinen Grundbedürfnissen gehören somit das

VON EUGEN STEINER, ZÜRICH

Abdecken der physiologischen sowie der Schutz- und Sicherheitsbedürfnisse. Durch die Zunahme der Bevölkerung und die fortschreitende Technisierung können diese Ziele nur noch mit einem erheblichen Anteil an Technik erreicht werden. Diese Technik ist nicht selten das Ergebnis rechtlicher Erlasse, wel-

che die entsprechenden Normen und Auflagen definieren. Sie ist aber ebenso ein Produkt der Wirtschaft, die einerseits Normen erarbeitet und andererseits innovativ an einem stets höheren Standard der Sicherheit tätig ist. In den industrialisierten Ländern sind durchwegs jene Sicherheitsvorschriften erlassen, die es uns ermöglichen sollten, das Grundbedürfnis Sicherheit weitgehend abzudecken. Wenn heute bei uns die Sicherheit in öffentlichen Gebäuden und Parkhäusern in Frage gestellt wird, so deshalb, weil ein Personenschaden aufgrund einer kriminellen Handlung zu Recht keine Akzeptanz findet. Sicherheit in öffentlichen Gebäuden und Parkhäusern heisst nicht nur Schutz in

baulicher und brandverhütender Hinsicht, sondern auch im zwischenmenschlichen Bereich. Damit ist die Frage nach der künftigen Kriminalitätsentwicklung aufgeworfen.

Aufgrund der mangelhaften Datenbasis und unterschiedlicher Methodik in einzelnen Kantonen ist es schwierig, landesweit geeignete Indikatoren zur Kriminalitätsmessung zu finden und sie auch richtig zu bewerten. Trotzdem ist es unverkennbar, dass in den nächsten Jahren einige kriminalitätsrelevante Veränderungen gesellschaftlicher, wirtschaftlicher und politischer Art erfolgen werden. Politik und Wirtschaft werden nur auf gewichtige Veränderungen reagieren. Durch die Grenzöffnungen nach Osten ist ein neuer Zuwachs an grenzüberschreitender Kriminalität zwischen Ost- und Westeuropa zu erwarten. Diese Entwicklung steht in Wechselbeziehung zur Ent-