

Risiken im Tunnelbau: Analyse und Handhabung am Beispiel Zimmerberg-Basistunnel

Prof. Dr. K. Kovári, Dipl.-Ing. M. Bosshard

Im Tunnelbau rufen die wachsende Vielfalt und Komplexität der technischen Probleme sowie die geforderte hohe Sicherheit während der Bauausführung vermehrt nach einem methodischen Vorgehen bei der Analyse und Handhabung von Risiken. So finden denn auch Risikomanagement, Systemsicherheit, Sicherheitsplan usw. in letzter Zeit vermehrt Anwendung im Untertagbau.

1 Einleitung

Mit der vorliegenden Arbeit werden drei Ziele verfolgt. Erstens soll das Verständnis der wichtigsten Begriffe im Zusammenhang mit „Risiko und Sicherheit“ vertieft werden, um sie in ihrem Kern zu fassen und ihre Beziehung untereinander in allgemeiner Form darzustellen. Zweitens wird das Konzept des „Sicherheitsplanes“ für den Sonderfall des städtischen Tunnelbaus ein-

gehend erläutert. Drittens soll die Leistungsfähigkeit der theoretischen Ansätze am Beispiel eines Bauloses des Zimmerberg-Basistunnels vor Augen geführt werden.

2 Begriffe

Eine der wichtigsten Erlungenschaften des Fachgebietes „Risiko und Sicherheit“ stellt sein spezifisches Begriffsgefüge dar. Der Umstand, dass wichtige Fachtermini oft in unterschiedlichem Sinne Verwendung finden oder dass mehrere sinnverwandte Wörter für mehr oder weniger gleiche Begriffsinhalte stehen, rührt vom breiten Spektrum der Anwendungen und der gesellschaftspolitischen Relevanz des Themas. Die Ausdrücke der Umgangssprache spielen dabei eine beherrschende

Prof. Dr. Kalman Kovári,
Beratender Ingenieur,
Oberengstringen/CH
Dipl.-Ing. Martin Bosshard,
Geschäftsbereichsleiter
Grund- und Untertagbau,
Mitglied der Geschäftsleitung,
Basler & Hofmann Ingenieure
und Planer AG, Zürich/CH

Risks in Tunnelling: Analysis and Procedures relating to the Zimmerberg Base Tunnel

Prof. Dr. K. Kovári, Dipl.-Ing. M. Bosshard

In tunnelling the growing variety and complexity of technical problems as well as the high safety levels required during construction call increasingly for a methodical procedure in the analysis and handling of risks. Thus, in recent years, risk management, system safety, safety planning etc. have been applied to an ever greater extent in underground construction.

1 Introduction

This article pursues a threefold aim. Firstly, the clarification of the most important terms and concepts in relation to “risk and safety”, in order to elucidate their basic meaning and present their relationship to each other in a general form. Secondly, the concept of the “safety plan” is discussed in detail for the special case of urban tunnelling. Thirdly, the integrity of the theoretical concepts is illustrated by means of an example, i.e. for a section of the Zimmerberg Base Tunnel.

2 Concepts

One of the most important achievements in the field of “risk and safety” relates to its own specific conceptual structure. The fact that important technical terms are often

used in a different sense or that several words of similar meaning stand for more or less the same conceptual content derives from the broad spectrum of applications and the socio-political relevance of the topic. In this connection, expressions used in colloquial speech play a decisive role, so that it is always necessary to check the original meaning of the terms.

In the following, the most important basic concepts are discussed and their interrela-

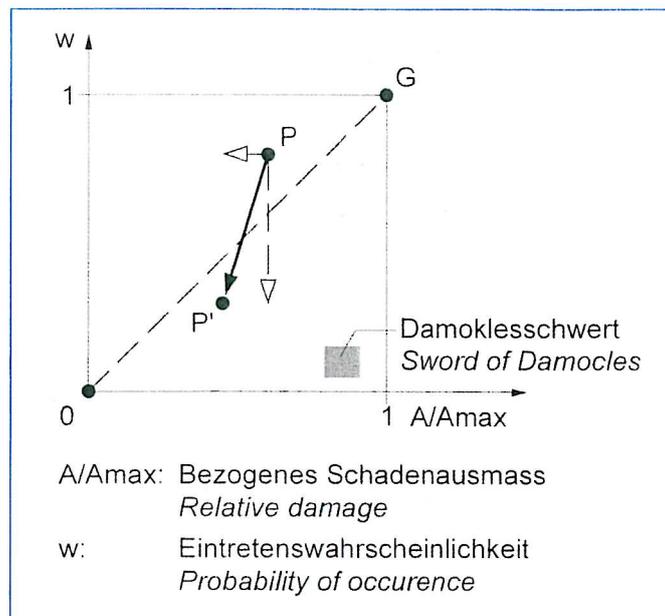
Professor Dr. Kalman Kovári,
Consulting Engineer,
Oberengstringen/CH
Dipl.-Ing. Martin Bosshard,
Managing Director of the
Foundation and Tunnels
Division, Member of the
Board of Director, Basler &
Hofmann Consulting
Engineers, Zurich/CH

de Rolle, sodass man gut daran tut, sich jeweils auch der ursprünglichen Bedeutung der Worte zu vergewissern.

Nachfolgend werden die wichtigsten Grundbegriffe im Einzelnen erörtert und durch Querverweise auf ihre Verwandtschaft hingewiesen. In gewissen Einzelfällen scheint es sinnvoll, die Ausdrücke auch in Englisch zu erwähnen. Die Aufzählung der Termini erfolgt dabei nicht alphabetisch, sondern nach inhaltlichen Kriterien. Die meisten Bezeichnungen enthalten einen klaren Hinweis auf ihren Gegenstand, weshalb eine gute Übersicht über die Begriffe bereits einen direkten Zugang zur Gesamtproblematik gestattet.

Schaden: Negativ bewertete Folge eines Ereignisses oder eines Vorganges [1]. In der Regel wird Schaden mit dem Verlust oder der Beeinträchtigung eines Schutzgutes gleichgestellt. Art, Ausmaß und Wahrnehmung kennzeichnen den Schaden. Die Schadensart kann man in Personenschaden, Sachschaden, Kostensteigerung, Terminverlängerung, Verlust des Ansehens usw. einteilen. Das mögliche Schadensausmaß liegt in Einzelfällen auf der Hand; in der Regel muss es aber in anspruchsvoller Detailarbeit ermittelt bzw. abgeschätzt werden. Die Schadenswahrnehmung hat einen komplexen Hintergrund und spielt bei der Risikoakzeptanz eine wichtige Rolle (siehe Risikobewertung).

Ungewissheit: Gegensatz von Bestimmtheit. Sie findet ihren Ausdruck auf drei Arten [2]: durch statistisch gegebene Variabilität, durch statistisch nicht gegebene Variabilität sowie durch Ahnungslosigkeit (Ignoranz). Es handelt sich um einen Be-



1 Schematische Darstellung der Einflussgrößen des Risikos
1 Schematic representation of the quantities influencing risk

griff mit sehr großem Umfang. So hält die Umgangssprache eine ganze Reihe von Ausdrücken bereit, die im Zusammenhang mit Risiken immer wieder gebraucht werden und nuancierte Unterschiede gestatten. Man denke beispielsweise an Ausdrücke wie gewiss – ungewiss, sicher – unsicher, bestimmt – unbestimmt, zweifelhaft – unzweifelhaft, möglich – unmöglich, wahr-

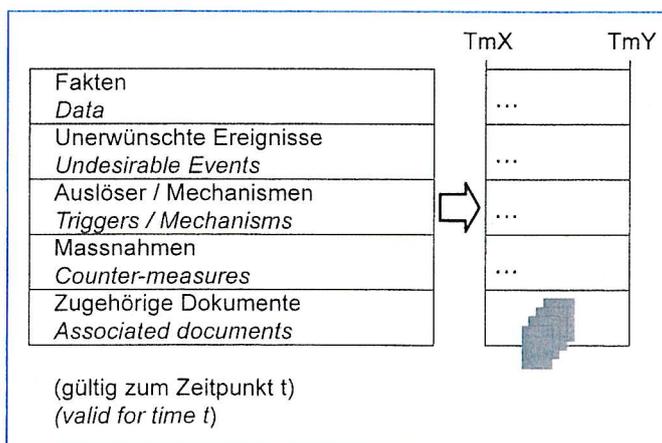
relationship determined. Towards this end, the concepts are not listed alphabetically but according to contextual criteria. Most terms have a clear reference to their object, so that a good overview of the concepts provides direct access to the problem as a whole.

Damage: Negatively evaluated consequence of an event or a process [1]. As a rule, damage is equated to the loss or the impairment of

something of value. The type, amount and awareness characterize the damage: The type of damage can be subdivided into damage to person or property, increased costs, extended deadlines, loss of reputation, etc. The possible amount of damage is obvious in some individual cases; usually, however, it has to be determined or estimated by means of demanding detailed investigation. The awareness of damage has a complicated background and is important for risk acceptance (please also see Risk Evaluation).

Uncertainty: Opposite of definiteness. It is expressed in three ways [2]: statistically given variability, non-statistically given variability and ignorance. Here we have a concept of great breadth. Thus in common everyday language there is a whole range of expressions frequently used in connection with risks which allow different nuances of meaning. Take for example, expressions like certain and uncertain, safe and unsafe, definite and indefinite, doubted and undoubted, possible and impossible, probable and improbable, questionable and unquestionable.

Probability: Assumed correctness or practical certainty [3]. The affinity to uncertainty is obvious. The German term „wahrscheinlich“ is derived from the Latin word “versimiles”, i.e. true + similar [3]. In the strict mathematical sense, probability is the quantitative estimate of the possibility that an accidental event takes place [4]. An event is accidental if, under given conditions, it can take place or not take place. If under certain conditions one of in events must take place, whereby none of the events has preference over another, these events are said to possess the same

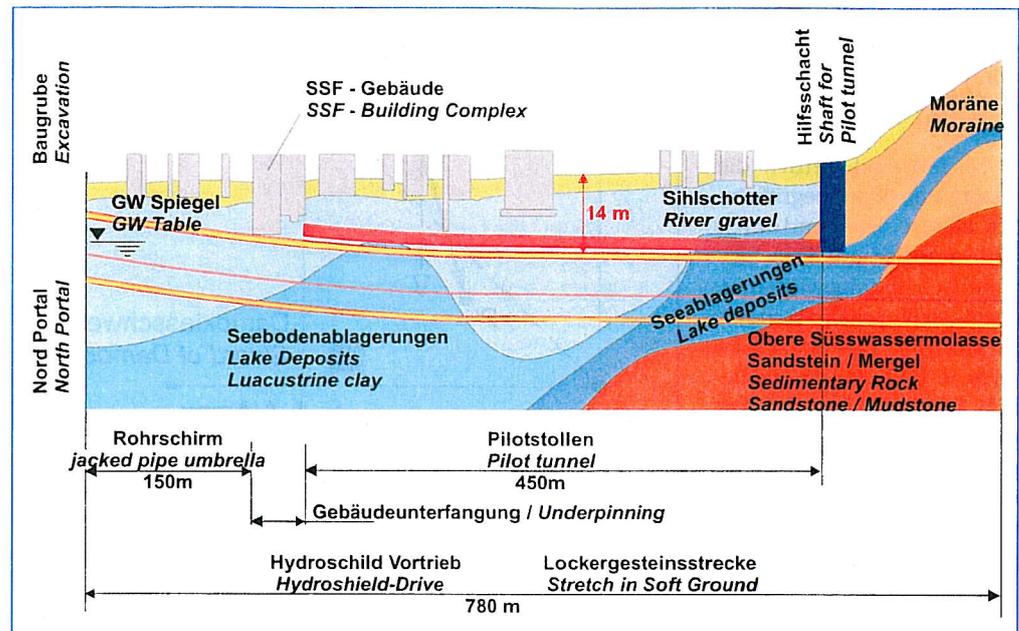


2 Aufbau eines Sicherheitsplanes im städtischen Tunnelbau
2 Structure of a safety plan in urban tunnelling

scheinlich – unwahrscheinlich, ausgeschlossen – nicht ganz auszuschließen.

Wahrscheinlichkeit: Vermutete Richtigkeit oder annähernde Gewissheit [3]. Die Verwandtschaft mit Ungewissheit ist offenkundig. Der deutsche Begriff „wahrscheinlich“ stammt vom lateinischen Wort „versimiles“, d. h. wahr + ähnlich [3]. Im strikt mathematischen Sinne ist die Wahrscheinlichkeit die quantitative Abschätzung der Möglichkeit für das Eintreten eines zufälligen Ereignisses [4]. Ein Ereignis ist zufällig, wenn es unter gegebenen Bedingungen eintreten oder nicht eintreten kann. Wenn unter gewissen Bedingungen eines von einander ausschließenden zufälligen Ereignissen eintreten muss, wobei keines der Ereignisse den anderen vorzuziehen ist, so sagt man, dass diese Ereignisse die gleiche Wahrscheinlichkeit $w = 1/n$ haben⁽¹⁾. Die Wahrscheinlichkeit eines beliebigen Ereignisses liegt zwischen 0 und 1.

Risiko: Möglichkeit, dass aus einem Zustand oder Vorgang ein Schaden entstehen kann [1]. Nach einer anderen Definition versteht man darunter einen – mindestens nach Eintretenswahrscheinlichkeit und Ausmaß bewerteten – Schaden. Im engeren Sinne ist Risiko (R) als Produkt von Schadensausmaß (A) und Eintretenswahrscheinlichkeit (w) definiert: $R = A \cdot w$. Der Begriff setzt sich somit aus zwei Elementen zusammen: Schaden + Ungewissheit. Das Wort Risiko



3 Die Lockergesteinsstrecke des Zimmerberg-Basistunnels im geologischen Längensprofil

3 The stretch in soft ground of the Zimmerberg Base Tunnel in longitudinal geological section

leitet sich vom Verb „risicare“ ab, das in der italienischen Umgangssprache „Gefahr laufen“ oder „wagen“ bedeutet und ursprünglich auf das vulgärlateinische „risicare“ (Klippen umschiffen) zurückgeht. Im Griechischen steht „rhiza“ für Wurzel, Klippe [3]. Befasst man sich mit Ereignissen und Vorgängen, die nur von der Technik herrühren, spricht man von „technischen Risiken“. Sie stehen im Gegensatz zu den so genannten „wirtschaftlichen Risiken“, mit denen sich Unternehmungen befassen. Hier gilt zu Recht der Satz „Je größer die Risiken, desto größer die Ertragschancen“. Demgegenüber ist es bei technischen, die Sicherheit von Menschen betreffenden Risiken unan-

probability $w = 1/n^{(1)}$. The probability of an arbitrary event is between 0 and 1.

Risk: The possibility that damage can result due to a state or a process [1]. According to another definition it is understood that damage is evaluated on the basis of probability of occurrence and amount of damage. In a more restricted sense risk R is defined as a product of amount of damage A and probability of occurrence w: $R = A \cdot w$. Thus the definition consists of two elements: damage and uncertainty. The word risk is derived from the verb “rischiare”, which in colloquial Italian means “run into danger” or “dare to attempt something”, and originally from the common Latin “risicare” (to negotiate an obstacle). In Greek, the

word “rhiza” stands for root, rocks [3]. If one is concerned with events and processes, which are of a technical nature, one speaks of “technical risks”. These are unlike so-called business risks such as those firms are concerned with. Here the saying “The bigger the risk, the bigger the chance of profits” is apt. In contrast, with technical risks involving the safety of persons it is inappropriate to speak of chance in the sense of stroke of luck or favourable opportunity [3].

Danger: Threat of damage [3]. State or process from which damage can arise [1]. It is clear that danger and risk are related words. Expressions like “danger of risk”, “threat of risk” or “risk potential” are pleonasm and

(1) Beim Würfeln ist beispielsweise die Bedingung der statistischen Variabilität erfüllt, weshalb die Eintretenswahrscheinlichkeit einer von 6 Zahlen $w = 1/6$ beträgt. Besteht hingegen Ungewissheit darüber, ob alle 6 Zahlen wirklich nur einmal und nicht mehrmals vorkommen (Fälschung), so wird diese Bedingung verletzt und eine zahlenmäßige Kennzeichnung der Ungewissheit verunmöglicht. Bei der Beurteilung des möglichen Ausgangs eines Wurfes müssten nämlich zusätzliche, mathematisch nicht erfassbare Faktoren berücksichtigt werden, wie etwa der Charakter des Spielers.

(1) For instance, in the case of a game of dice the condition for statistical variability is fulfilled, so that the probability of occurrence equals one of the six numbers, $w = 1/6$. If, however, there is some uncertainty whether all 6 numbers are present only once and not more than once (falsification), then this condition is not fulfilled and a numerical treatment of the probability is impossible. In estimating the possible outcome of a throw other factors, which cannot be handled mathematically, have to be taken into consideration, like the moral character of the player.

gebracht, von Chancen im Sinne von Glücksfall oder günstiger Gelegenheit [3] zu sprechen.

Gefahr: Drohender Schaden [3]. Zustand oder Vorgang, aus dem ein Schaden entstehen kann [1]. Es ist offenkundig, dass Gefahr und Risiko sinnverwandte Wörter sind. Ausdrücke wie „Risikogefahr“, „drohendes Risiko“, „Risikopotenzial“ sind deshalb als Pleonasmen abzulehnen. Das „Risiko von Verlusten“ deutet ebenfalls auf eine sprachliche Entgleisung, weil dem Begriff „Risiko“ der Schaden und somit die Möglichkeit eines Verlustes bereits innewohnt. Der Hauptunterschied zwischen Gefahr und Risiko besteht darin, dass es nur für das Letztere eine mathematische Definition gibt.

Gefährdung: Auf eine bestimmte Situation oder ein bestimmtes Objekt konkret bezogene Gefahr [1] (englisch: hazard).

Gefährdungsbild: Gemäß SIA-Empfehlung [5] eine mögliche kritische Situation oder ein unerwünschtes Ereignis für ein Bauwerk. Wir benutzen fortan nur den Begriff „unerwünschtes Ereignis“.

Unerwünschtes Ereignis: Ein Vorkommnis, das nachteilige Folgen haben oder zu einem Schaden führen kann (englisch: undesired event). Dieser Ausdruck berührt die Begriffe „Risiko“ und „Schaden“, zielt aber primär auf einen Vorgang und fragt nicht nach der Wahrscheinlichkeit des Eintretens oder nach dem Ausmaß des möglichen Schadens. Der Ausdruck „unerwünschtes Ereignis“ ist emotional weniger belastet als das Wort „Risiko“.

Risikoanalyse: Systematisches Verfahren, um ein unerwünschtes Ereignis hinsichtlich der Häufigkeit des



4a Tagbruch in unbebautem Gebiet

4a Ground failure extending to the surface in undeveloped area

Eintreffens und des Ausmaßes der Folgen zu charakterisieren [1]. Nach einem anderen Verständnis bedeutet sie die systematische Identifizierung und Charakterisierung von Risiken [6] (englisch: hazard analysis). Die Methoden der Risikoanalyse unterscheiden sich je nach Anwendungsgebiet.

Risikomanagement: Einsatz von Maßnahmen und Methoden mit dem Ziel, die angestrebte Sicherheit zu erreichen [1]. Der Ausdruck wird häufig im gleichen Sinne wie Risikoanalyse, Risiko beherrschung, Systemsicherheit usw. verwendet.

Risikotypen: Gründet auf die Charakterisierung von

should thus be avoided. The expression “risk of loss” is also a linguistic inconsistency, since the term risk already implies the possibility of loss. The main difference between danger and risk is that there is a mathematical definition only for the latter.

Hazard: Danger related specifically to a particular situation or object [1].

Hazard Scenario: According to the relevant Swiss Code [5] this is a possible critical situation or an undesired event for a structure. In the following the term “undesired event” is mainly employed.

Undesired Event: Occurrence that can lead to detrimental consequences or

damage. This term involves the terms “risk” and “damage”, but relates primarily to a process and does not inquire about its probability of occurrence or about the extent of possible damage. The expression “undesired event” is emotionally less encumbered than the word “risk”.

Risk Analysis: Systematic procedure to characterize an undesired event regarding frequency of occurrence and the amount of damage [1]. According to another definition – bearing the name “hazard analysis” – it signifies a systematic identification and characterization of risks [6]. The methods of risk analysis differ according to the area of application.

Risk Management: Use of measures and methods with the goal of achieving the desired safety [1]. The term is often employed in the same sense as risk analysis, risk control, system safety etc.

Types of Risk: Characterization of risks according to specific evaluation criteria [2].

Residual Risk: As fixed by codes [1] this signifies an admissible known and therefore acceptable risk according to clear evaluation criteria. In the descriptive sense, it is understood to be the risk that remains after the application of planned safety measures. It comprises accepted, possibly falsely estimated and possibly unforeseen risk [1]. According to this definition it is not meaningful to speak of the “minimization” of a risk, because such an action is completely non-binding. In the mathematical sense, a risk does not usually possess a minimum, so that consequently a successful minimization would always have to result in its disappearance.

Risk Control: Reducing risk to the accepted risk. Syn-



4b Tagbruch in bebautem Gebiet

4b Ground failure extending to the surface in built-up area

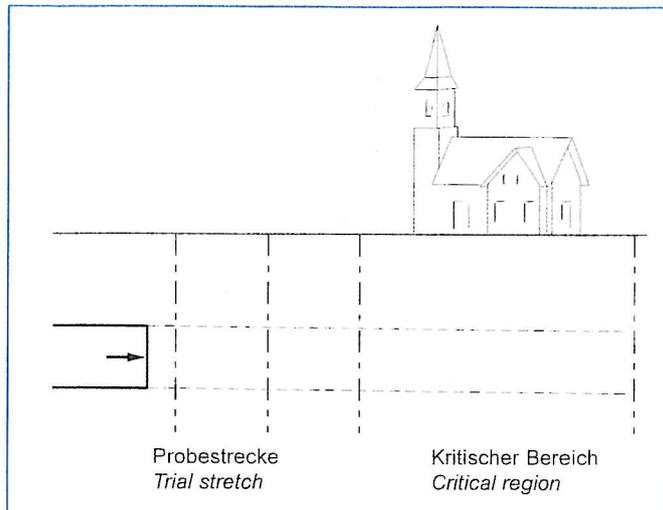
Risiken nach bestimmten Bewertungskriterien [2].

Restrisiko: Gemäß einer normativen Festlegung [1] bedeutet es ein nach klaren Beurteilungskriterien als zulässig erkanntes und deshalb akzeptiertes Risiko. Im deskriptiven Sinne versteht man darunter das nach dem Einsatz der vorgesehenen Sicherheitsmaßnahmen noch verbleibende Risiko. Es ist zusammengesetzt aus akzeptiertem, allfällig falsch beurteiltem und möglicherweise nicht erkanntem Risiko [1]. Gemäß diesen Definitionen ist es nicht sinnvoll, von der „Minimierung“ eines Risikos zu sprechen, weil eine solche Handlung vollkommen unverbindlich ist. Ein Risiko hat im mathematischen Sinn in der Regel auch kein Minimum, sodass eine erfolgreiche Minimierung folgerichtig stets zu seinem Verschwinden führen müsste.

Beherrschung von Risiken: Risiken auf das Restrisiko reduzieren. Synonym von „Risiken meistern“ [7].

Die oben angeführten Fachtermini kreisen gedanklich alle um die Möglichkeit von Verlust und Schaden. Es gibt aber eine Reihe von Ausdrücken, die gedanklich auf das Gegenteil abzielen, nämlich auf das Geschütztsein vor Verlust und Schaden. Der innere Zusammenhang zwischen den beiden Kategorien von Begriffen ist offenkundig. In vielen Fällen ist sogar eine eigentliche Dualität zwischen gegensätzlichen Begriffen unverkennbar.

Sicherheit: Geschütztsein, Schutz [3]. Gänzliche Abwesenheit eines bestimmten Risikos oder Nichtvorhandensein eines Risikos über das akzeptierte Maß hinaus [1]. Im Begriff „Sicherheit“ ist



5 Lage einer mit Messinstrumenten ausgerüsteten Probestrecke vor einem kritischen Vortriebsbereich [9]

5 Location of a trial stretch, fitted with field instruments, near a critical driving zone [9]

somit jener der Gefahr mit eingeschlossen.

Sicherheitskonzept: Gesamtheit der Tätigkeiten und Vorkehrungen, die darauf abzielen, die Risiken in einem System auf das Restrisiko zu beschränken; eng verwandt mit „Risikomanagement“.

System: Gefüge von Teilen, die voneinander abhängig sind, ineinander greifen oder zusammenwirken [3].

Systemsicherheit: Zustand eines Systems mit akzeptiertem Risiko (siehe auch Sicherheitskonzept). Im englischen Sprachgebrauch wird der Ausdruck „system safety“ synonym mit Risikomanagement verwendet.

Die Begriffskategorie mit Ausdrücken von Verlust, Schaden, Gefahr, Gefährdung, Gefährdungsbild, Risiko usw. wird zwingend in der Risikoanalyse und im Risikomanagement verwendet. Jene mit Ausdrücken von Schutz, Sicherheit, Sicherheitskonzept, Sicherheitsplan, Gewissheit, Zuverlässigkeit usw. findet besonders häufig bei kommunikativen Aufgaben Anwendung. Die

onym für „overcoming risks“ [7].

The above technical terms all concentrate on the possibility of loss and damage. There are, however, a number of expressions which are geared to the opposite idea, namely that of being protected from loss and damage. The connection between the two categories is obvious. In many cases, there is even an unmistakable duality between the contrasting concepts.

Safety: To be protected, protection [3]. Complete absence of a particular risk or non-existence of a risk beyond the acceptable degree [1]. Thus danger is included in the concept of safety.

Safety Concept: Totality of activities and precautions with the aim of limiting the risks in a system to the accepted risk; closely connected with „risk management“.

System: Group of things or parts, which are independent of one another, interlink or work together [3].

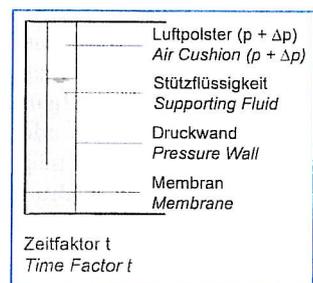
System Safety: State of a system with acceptable risk (please also see Safety Concept). The expression „system

safety“ is used interchangeably with „risk management“ in the English speaking world.

The terms in the first category, like loss, damage, danger, hazard, hazard scenario, etc., have their proper place in risk analysis and risk management. Those in the second category, terms like protection, safety, safety concept, safety plan, certainty, reliability, etc., have more to do with communication tasks. The emotional association of the first category with fear, anxiety, doubts, etc. is also evident, just as the second category with a feeling of being protected, of having no reservations, etc. One thinks for example of the expressions „dam catastrophe“ and „dam safety“, which represent two sides of the same coin, but which create quite different emotions: worry/doubt on the one hand, appeasement/confirmation on the other. Although increasing safety is the same thing as reducing the risks, the one or the other formulation is preferred depending on the situation.

3 Risk Evaluation

Within the sphere of risk management „risk“ is regarded as an entity, which, depending on the nature of the problem at hand, is evaluated either quantitatively or quali-



6 Stützmechanismus beim Hydroschildvortrieb

6 Support mechanism in the hydro-shield method

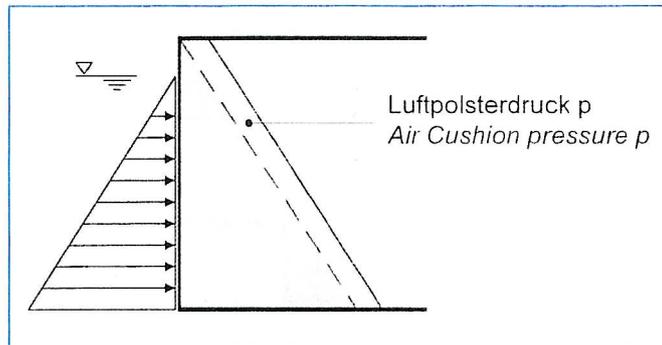
Zimmerberg-Basistunnel

Zimmerberg Base Tunnel

gefühlsmäßige Assoziation der ersten Begriffskategorie mit Furcht, Angst, Bedenken usw. ist ebenso unverkennbar, wie die Verbindung der zweiten Kategorie mit Geschütztsein, Zustand ohne Bedenken usw. Man denke beispielsweise an die Ausdrücke „Talsperrenkatastrophe“ und „Talsperrensicherheit“, die zwei Seiten derselben Medaille darstellen und doch ganz entgegengesetzte Empfindungen auslösen: beunruhigende – zweifelnde – beständige andererseits. Obwohl die Erhöhung der Sicherheit gleichbedeutend ist mit der Verringerung der Risiken, wird je nach Situation die eine oder andere Formulierung bevorzugt.

3 Risikobewertung

Im Rahmen des Risikomanagements gilt „Risiko“ als eine Entität, die je nach der Natur des vorliegenden Problems quantitativ erfasst oder qualitativ beurteilt werden soll. Eine Bewertung, wie immer sie auch durchgeführt wird, geht mindestens in drei Schritten vor sich: Bewertung des möglichen Schadensausmaßes, der Eintretenswahrscheinlichkeit und der kombinierten Wirkung der beiden. Die Kombination denkt man sich in der Regel als Produkt der beiden Faktoren, selbst dann, wenn es mangels zahlenmäßiger Erfassung der Größen nicht zu einer arithmetischen Operation kommt. Lassen sich die Eintretenswahrscheinlichkeit als Sonderfall statistisch erfassen und das Ausmaß des Schadens quantifizieren, so kann man auf die



7a Betriebszustand beim Hydroschild: Vortrieb

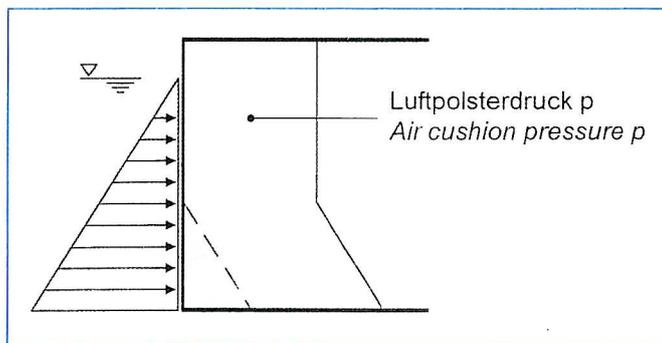
7a Conditions during operation of hydro-shield when driving

oben erwähnte Formel $R = A \cdot w$ zurückgreifen.

Bei den meisten technischen Risiken, insbesondere jenen des Tunnelbaus, kann die Eintretenswahrscheinlichkeit nur geschätzt und nicht nach den Kriterien der statistisch gegebenen Variabilität festgelegt werden. Oft stößt auch die Bestimmung des Schadensausmaßes auf große Schwierigkeiten, weshalb die Risikobewertung meistens den Weg der qualitativen Einschätzung geht. Die Auswirkung der Einzelkomponenten A und w auf R kann dabei durch die Darstellung nach Bild 1 veranschaulicht werden. Geht man von einem bezogenen Schadensausmaß A/A_{\max} aus, so

tativ. An evaluation, regardless of how it is carried out, proceeds in three steps: evaluation of the possible amount of damage, of the probability of occurrence and of the combined effect of both. The combination is usually considered as a product of both factors, even if the lack of numerical values for the factors does not allow an arithmetical operation to be arrived at. If, as a special case, the probability of occurrence can be quantified statistically as well as the amount of damage, then the formula provided above: $R = A \cdot w$ can be used.

In the case of most technical risks, especially those in tunnelling, the probability of occurrence can only be esti-



7b Betriebszustand beim Hydroschild: Begehung der Arbeitskammer

7b Conditions during operation of hydro-shield when inspecting the working chamber

mated and not specified according to the criteria of statistically given variability. Often the determination of the amount of damage presents great difficulties, so that risk evaluation usually has to be carried out qualitatively. The influence of the individual components A and w on R is illustrated in Fig. 1. If a relative amount of damage A/A_{\max} is taken, then both factors lie within the range 0 to 1. According to definition, the value of R , which can be visualized as a quantity plotted normal to the plane of the figure, vanishes along both co-ordinate axes. The straight line $O-G$ represents an axis of symmetry and shows the direction of the biggest increase of the value of risk from the origin of the co-ordinate axes O to the point G .

If the risk characterized by the point P ($P \rightarrow P'$) has to be decreased, this is achieved by reducing the corresponding starting values A/A_{\max} and w . Certain measures are specific, i.e. they either limit the damage or reduce the probability of occurrence.

A special case of risk is represented by a very large amount of damage combined with an extremely small probability of occurrence (Fig. 1). This type of risk is called the "sword of Damocles" [2]. With regard to the probability of occurrence nevertheless, this is not an apt description⁽²⁾. In practice, this type of risk is not treated uniformly. Some always consider it as an accepted risk and exclude it from the very beginning so that it is relegated to vague further considerations. Others make it the subject of detailed investigations and study the possibility of applying extensive counter-

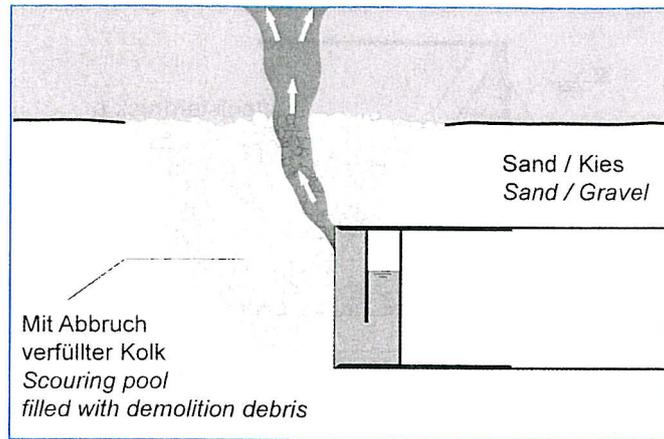
(2) This is based on the story from antiquity with a sword hanging by a horse's hair over the head of Damocles, the servant of the tyrant of Syracuse. This denotes the risk with the greatest amount of damage (loss of life) combined with the highest probability of occurrence (tearing of the horse's hair).

ergibt sich für beide Faktoren der Wertbereich 0 bis 1. Der Wert von R, den man sich als eine senkrecht zur Bildebene aufgetragene Größe vorstellen kann, verschwindet definitionsgemäß entlang der beiden Koordinatenachsen. Die Gerade O-G stellt eine Symmetrieachse dar und zeigt die Richtung des größten Anstieges des Risikowertes vom Ursprung des Koordinatensystems zum Punkt G.

Will man ein mit dem Punkt P charakterisiertes Risiko verringern ($P \rightarrow P'$), geht dies mit einer Reduktion der entsprechenden Ausgangswerte von A/A_{max} und w einher. Gewisse Maßnahmen sind spezifisch, d. h., sie begrenzen entweder den Schaden oder vermindern die Eintretenswahrscheinlichkeit.

Einen besonderen Fall stellt ein Risiko mit sehr großem Schadensausmaß bei außerordentlich geringer Eintretenswahrscheinlichkeit dar (Bild 1). Dieser Risikotyp trägt den Namen Damoklesschwert [2]. Diese Bezeichnung ist bezüglich der Eintretenswahrscheinlichkeit⁽²⁾ allerdings nicht zutreffend. Die Praxis geht mit diesem Risikotyp uneinheitlich um. Die einen fassen ihn stets als Restrisiko auf und scheiden ihn für weitergehende Betrachtungen von vornherein aus. Die anderen machen ihn zum Gegenstand vertiefter Untersuchungen und prüfen die Möglichkeit weit ausgreifender Maßnahmen zu seiner Verringerung oder gar gänzlichen Eliminierung.

Abschließend sei darauf hingewiesen, dass bei vielen Risikotypen neben den Faktoren „Schadensausmaß“ und



8 Beispiel für den Verlust von Stützflüssigkeit [14]

8 Example of the loss of slurry [14]

„Eintretenswahrscheinlichkeit“ auch Einflüsse wie Abschätzungssicherheit, Reversibilität von Schäden (z. B. Personenschaden), Verzögerungswirkung (Zeitspanne zwischen auslösendem Ereignis und Schadenseintritt) sowie Mobilisierungspotenzial (Konflikte mit Bevölkerung) zur Risikobewertung herangezogen werden sollten [2].

Um die Akzeptanz eines ausgewiesenen Risikos im Sinne des Restrisikos zu prüfen, muss neben dem bislang erörterten Sachwissen ein

measures to reduce or even eliminate it.

Finally, we want to draw attention to the fact that with many types of risk, besides the factors “amount of damage” and “probability of occurrence”, other factors like reliability of estimation, reversibility of damage (e.g. damage to persons) consequences of delays (time between event and occurrence of damage) as well as mobilization potential (conflicts with the public) have to be included in the risk evaluation [2].

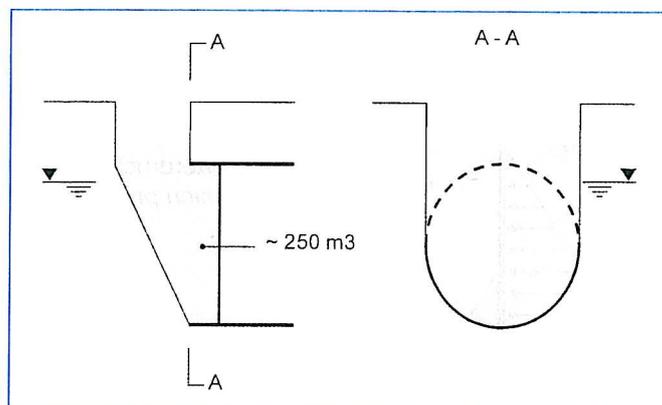
In order to investigate the acceptance of a proven risk, besides the technical knowledge discussed above, “orientation knowledge” must also be included. This orientation knowledge takes into account the demands of the public to be protected from damage (safety needs). If a risk was correctly determined (technical knowledge) and, on the basis of legitimate criteria, regarded as an accepted risk (orientation knowledge) then in the case of damage occurrence, those responsible cannot be said to have made a mistake.

4 Safety Plan in Urban Tunnelling

Although the term “safety plan” was introduced into tunnelling practice some time ago, there is still no generally accepted definition of what it means. According to the most widely used sense of the term the safety plan is a tool of risk analysis and risk management. To a large extent it involves a visualization of the objects it deals with, whereby for a clear cut system or subsystem the facts, assumptions, scientific knowledge, operational instructions, etc., are represented on a plan (Fig. 2). The aspects of “risk and safety”, therefore, provide the client, consulting engineers, geologists, contractors, authorities, experts, etc., with a clear overview. Experience with the use of such a safety plan has been reported elsewhere [8, 9].

The safety plan serves three purposes:

a) The methodical recognition of possible undesired events, whereby experience



9 Verschüttung der Arbeitskammer infolge Instabilität der Ortsbrust und Tagbruch

9 Filling up of the working chamber with soil debris due to instability of the working face and failure extending to the ground surface

(2) Man erinnere sich an die Geschichte aus dem Altertum mit dem an einem Rosshaar hängenden Schwert über dem Kopf des Damokles, des Dieners des Tyrannen von Syrakus. Es handelt sich hier um eine Metapher für das Risiko mit dem größten Schadensausmaß (Verlust des Lebens), gepaart mit der höchsten Eintretenswahrscheinlichkeit (Reißen des Rosshaars).

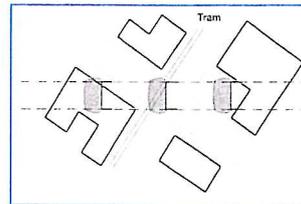
„Orientierungswissen“ hinzutreten [2]. Das Orientierungswissen nimmt Rücksicht auf die Ansprüche der Gesellschaft auf Schutz vor Schaden (Sicherheitsbedürfnis). Wurde ein Risiko korrekt ermittelt (Sachwissen) und auf Grund korrekter Kriterien als Restrisiko eingestuft (Orientierungswissen), so kann im Falle des Eintreffens des Schadens nicht von einer Fehlleistung der Verantwortlichen gesprochen werden.

4 Sicherheitsplan im städtischen Tunnelbau

Der Ausdruck „Sicherheitsplan“ hat sich in der Praxis des Tunnelbaus zwar seit einiger Zeit eingebürgert, doch liegt eine klar umrissene Begriffsbestimmung noch nicht vor. Entsprechend der am meisten verbreiteten Auffassung handelt es sich dabei um ein Instrument der Risikoanalyse und des Risikomanagements. Er bedient sich weitestgehend einer Visualisierung der von ihm behandelten Gegenstände, indem für ein klar abgegrenztes System oder Teilsystem Fakten, Annahmen, Erkenntnisse, operative Anweisungen usw. auf einem Plan ihre Darstellung finden (Bild 2). Die Aspekte von „Risiko und Sicherheit“ werden somit für Bauherrn, Projektverfasser, Geologen, Unternehmer, Behörden, Experten usw. überschaubarer. Über Erfahrungen mit der Anwendung eines solchen Sicherheitsplanes im städtischen Tunnelbau wurde anderswo berichtet [8, 9].

Der Sicherheitsplan dient drei Zielen:

- Dem methodischen Erkennen von möglichen unerwünschten Ereignissen, wobei die Erfahrung eine besonders wichtige Rolle spielt⁽³⁾. Mit anderen Worten handelt es sich hier um Risikoermittlung bzw. die Erzeugung von Gefährdungsbildern. Hinter diesen stehen – wie das Wort andeutet – bildhafte Vorstellungen über Ereignisse und Mechanismen mit unerwünschten Folgen. Die große Bedeutung dieser Tätigkeit geht alleine schon aus der Tatsache hervor, dass nur erkannte Risiken Eingang in das Risikomanagement finden und allenfalls eliminiert oder verringert werden können.
- Der Beurteilung der unerwünschten Ereignisse (siehe Risikobewertung).
- Der Festlegung von Maßnahmen, welche die erforderliche Sicherheit des Systems gewährleisten sollen (Beschränkung der Risiken auf das akzeptierte Maß). Da das unerwartete Vorkommen ungünstiger geologischer und hydrogeologischer Bedingungen oft die



10 Unterschiedliches Schadensausmaß eines Tagbruchs je nach Lage des Einbruchtrichters

10 Varying amount of damage due to failure extending to the ground surface for different positions of the resulting crater formation

plays a particularly important part⁽³⁾. In other words, it is a question of the determination of risk or the preparation of hazard scenarios. Behind these, there are – as the word implies – graphical representations of events and mechanisms with undesired consequences. The great importance of this activity is evident alone from the fact that only recognised risks are taken into account in risk management since they alone can be eliminated or reduced.

b) The assessment of the undesired event (see Risk Evaluation).

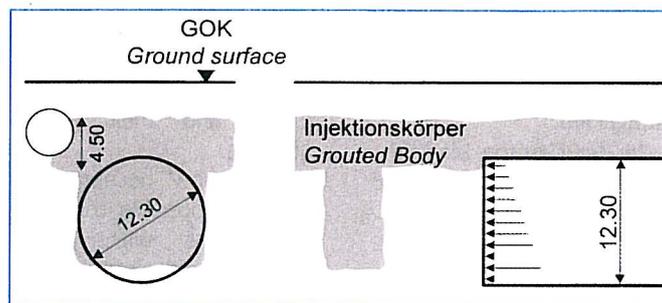
c) The specification of measures to guarantee the required safety of the system (limiting the risks to an acceptable level). Since the unexpected presence of unfavourable geological or hydro-geological conditions is often the real origin of risks, it is very important to carry out an adequate geological investigation beforehand⁽⁴⁾ and the construction work has to be accompanied by a geologist. The so-called geological surprises are a fitting example of ignorance as a form of uncertainty.

In the execution of b) and c) the technical knowledge of those involved has priority, while in specifying the accepted risk, as mentioned above, the „orientation knowledge“ comes into play [2]. The ideal logical structure of the safety plan can be formulated as follows: Conception → Analysis → Evaluation → Decision.

As a rule such a procedure involves iterations working alternately with pictures and ideas.

4.1 Structure

The first step is to define, in the sense of a system demarcation, the tunnel section that should be subjected to a risk analysis by specifying the kilometric distances TmX and TmY (Fig. 2). The system can comprise a whole construction lot or just a part of it, as for example, when passing under a building, bridge foundation or important traffic arteries. It is clear that all considerations apply only to a particular point in time, e.g. for a certain phase of planning, execution or geological investigation. Obviously, the safety plan has to be



11 Maßnahmen gegen Tagbruch: besondere Mischung der Stützflüssigkeit und durchgehender Injektionskörper

11 Measures to prevent failure extending to the ground surface: special slurry mix and continuous grouted body

(3) Hier denkt man unwillkürlich an den scherzhaften Spruch: „Die Erfahrung besteht darin, dass man erfährt, was man nicht zu erfahren wünscht.“

(3) Here one thinks instinctively on the half joking saying: „Experience is to experience what one doesn't want to experience.“

(4) The most striking example for the elimination of a high risk solely by geological investigation is the Piora Trough. Due to the initial risk relating to technical, economic and scheduling aspects, the 57 km long Gotthard Base Tunnel project due to begin in 1998 was temporarily postponed. It has been shown that the sugar-like grains of dolomite under high water pressures do not extend to the level of the tunnel.

eigentliche Wurzel von Risiken ist, liegt die große Bedeutung einer angemessenen geologischen Vorerkundung⁽⁴⁾ bzw. die Baubegleitung durch einen Geologen auf der Hand. Die so genannten geologischen Überraschungen stellen ein treffendes Beispiel für Ahnungslosigkeit (Ignoranz) als eine Form der Ungewissheit dar.

Bei der Durchführung der Punkte b) und c) steht das Fachwissen der Beteiligten im Vordergrund, bei der Festlegung des Restrisikos tritt, wie oben erwähnt, das „Orientierungswissen“ hinzu [2]. Die anvisierte logische Struktur des Sicherheitsplanes lässt sich wie folgt andeuten: Vorstellen → Analysieren → Werten → Entscheiden.

In der Regel wird ein solches Verfahren mit abwechselungswisem Denken in Bildern und Begriffen iterativ durchgeführt.

4.1 Aufbau

Als Erstes wird der Tunnelabschnitt, welcher der Risikoanalyse unterworfen werden soll, im Sinne einer Systemabgrenzung durch Angabe der Kilometrierung (TmX – TmY) festgelegt (Bild 2). Das System kann ein ganzes Baulos umfassen oder nur einen Teil davon wie zum Beispiel die Unterfahung eines Gebäudes, Brückenfundamentes oder bedeutenden Verkehrsweges. Es leuchtet ein, dass alle Betrachtungen nur für einen bestimmten Zeitpunkt ihre Gültigkeit haben, beispielsweise für eine bestimmte Phase der Planung, der Bauausführung oder der geologischen Erkundung. Natürlich wird der Sicherheitsplan laufend dem jeweils gültigen Erkenntnis-

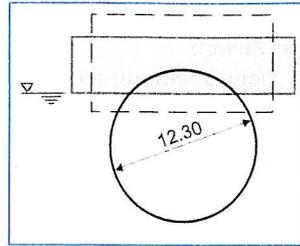
stand angepasst; er ist somit raum- und zeitbezogen.

Bei den Fakten (Bild 2) müssen im städtischen Tunnelbau eine Reihe von Faktoren berücksichtigt werden: Topografie, Bebauung, Verkehrswege, unterirdische Anlagen, Geologie, Grundwasserhältnisse, Fremdojekte im Profil oder in unmittelbarer Nähe des Ausbruchs, Erkundungsbohrungen, Einzelheiten der Baumethode (insbesondere die Elemente der Ausbruchsicherung) usw.

In der Kategorie unerwünschte Ereignisse stehen im städtischen Tunnelbau zum einen der Tagbruch, zum anderen die unzulässigen Setzungen und ihre Folgen im Vordergrund.

Es ist nun erforderlich, alle denkbaren und begründeten Auslöser und die damit verbundenen Mechanismen zu prüfen, die zu einem unerwünschten Ereignis führen können. Beim Tagbruch kommen beispielsweise als häufigste Auslöser der Einbruch der Ortsbrust (einschließlich Verschüttung oder Überflutung größerer Tunnelstrecken) und das Versagen der Ausbruchsicherung in Frage. Als Begleitumstände treten oft ungenügende Wasserhaltung, unerwartete ungünstige geologische Verhältnisse und Ausführungsmängel auf.

In der Gruppe Maßnahmen (Bild 2) werden jene Vorkehrungen aufgeführt, welche die durch die unerwünschten Ereignisse gegebenen Risiken auf ein akzeptierbares Maß verringern sollen. Ein bestimmtes Risiko kann dabei in vielen Fällen nicht nur verringert, sondern auch vermieden oder gänzlich eliminiert werden.



12 Wahl der Form und Abmessungen des Injektionskörpers

12 Selection of the shape and dimensions of the grouted body

constantly updated according to the actual state of knowledge, therefore it is both time and space dependent.

In urban tunnelling a series of factors have to be taken into account with regard to the facts (Fig. 2): topography, whether a built-up area is involved or not, traffic routes, underground facilities, geology, groundwater conditions, foreign objects located within the projected tunnel profile or in the immediate vicinity of the excavation, trial boreholes, aspects of the construction method (especially the elements of the excavation supports), etc.

In the undesired events category, the main interest in urban tunnelling is, on the one hand, collapse extending to the ground surface and, on the other, inadmissible settlements and their consequences.

It is now necessary to check all possible triggering mechanisms, which could lead to an undesired event. In the case of collapse extending to the ground surface, for example, the commonest causes are the collapse of the working face (including the filling up and flooding of substantial stretches of tunnel)

and failure of the support. Other causes are often inadequate control of the groundwater, unexpected unfavourable geological conditions and faulty execution of the work.

In the group relating to measures, those precautions are listed, which reduce the risks, initiated by the undesired event, to an acceptable level. In many cases, a particular risk can not merely be reduced, but actually eliminated.

The definition of risk control usually means the methodical execution of observations, especially field measurements (monitoring). These also represent measures designed to reduce a risk, which is why they are included in the safety plan. Monitoring aims either to limit the amount of damage or the probability of occurrence, or both. However, it should be taken into account that such observations and measurements are only useful as a means of risk control, if the undesired event is progressive, i.e. involving a sufficient time delay. The results of observation and measurement can only provide clear indications or criteria (alarm values) for the use of the contingency measures if this is the case. If, for instance, there is failure of a structural element without advance warning in the form of deformations (brittle failure) then deformation measurements are of no use for controlling the risk of failure.

A number of documents also belong to the safety plan (Fig. 2). These provide additional information, the reasons for doing something, instructions for actions to be taken, etc. Since the complexity of a safety problem often

(4) Das wohl markanteste Beispiel für die Beseitigung eines hohen Risikos alleine durch geologische Erkundung ist die Pioramulde. Infolge des anfänglich vorhandenen Risikos sicherheitstechnischer, wirtschaftlicher und terminlicher Art wurde das Projekt des 57 km langen Gotthard-Basistunnels 1998 vorläufig zurückgestellt. Es hat sich gezeigt, dass der zuckerartige Dolomit unter hohem Wasserdruck nicht bis zum Tunnelniveau reicht.

Spricht man von der Kontrolle eines Risikos, so meint man damit in der Regel die methodische Durchführung von Beobachtungen, insbesondere von Feldmessungen (Überwachung). Sie sind Maßnahmen zur Verringerung eines Risikos, weshalb sie im Sicherheitsplan aufgeführt werden. Die Überwachung zielt wiederum auf die Begrenzung des Schadensausmaßes, auf jene der Eintretenswahrscheinlichkeit oder auf beide. Man muss allerdings beachten, dass solche Beobachtungen und Messungen nur dann als Mittel der Risikokontrolle brauchbar sind, wenn das unerwünschte Ereignis progressiv, d. h. mit einer ausreichenden zeitlichen Verzögerung, verläuft. Nur so liefern die Ergebnisse der Beobachtung und Messung klare Indikatoren (z. B. Alarmwerte) für das Auslösen vorbehaltener Maßnahmen. Erfolgt beispielsweise der Bruch eines Tragelementes ohne Vorankündigung durch Deformationen (Sprödbruch), so nützen Deformationsmessungen im Sinne der Kontrolle eines Versagensrisikos nichts.

Zum Sicherheitsplan gehören eine Reihe von Dokumenten (Bild 2), die ergänzende Informationen, Begründungen, Handlungsanweisungen usw. enthalten. Da die Komplexität eines Sicherheitsproblems oft die Möglichkeiten einer visuellen Darstellung sprengt, sind Detailberichte erforderlich. Der Hinweis auf solche Dokumente steht an der entsprechenden Stelle des Sicherheitsplanes.

4.2 Durchführung

Der Sicherheitsplan bezieht sich stets auf ein kon-

kretes Projekt, das nach den „Regeln der Baukunst“ erarbeitet wurde. Er bietet Gewähr, dass die Aspekte von „Sicherheit und Risiko“ entsprechend ihrer Bedeutung berücksichtigt werden. Als Folge können am ursprünglichen Projekt Modifizierungen angebracht und vorbehaltene Maßnahmen beschlossen werden.

Um ein adäquates Maß an Objektivität zu erzielen, empfiehlt sich der Beizug von Fachleuten, die nicht in die Projektierungsarbeit oder Bauausführung eingebunden sind. Da sie sich nicht gleichzeitig mit den terminlichen und wirtschaftlichen Aspekten des Projektes befassen, haben sie einen freieren Blick für die Risikoanalyse. Diesbezüglich hilft bereits ein firmeninternes Koferat oder die Mitarbeit auswärtiger Experten. Auch die Bildung eigener Gremien, die sich baubegleitend ausschließlich oder zumindest schwerpunktmäßig mit Sicherheitsfragen befassen, hat sich bewährt. In solchen Gremien gilt als oberstes Gebot: unausgesprochene Gewissheiten meiden, methodische Zweifel anwenden.

goes beyond the possibility of a visual representation, detailed reports are necessary. Reference to such documents is given at the corresponding place in the safety plan.

4.2 Execution

The safety plan always relates to a particular project, prepared according to standard building and construction rules. It guarantees that the aspects of "safety and risk" are recognized according to their importance. As a result, modifications can be carried out on the original project and appropriate contingency measures decided on.

In order to achieve an adequate measure of objectivity it is recommendable to bring in experts who are not directly involved in the planning or construction work. Since they are not bound by the deadlines and economic aspects of the project they are not constrained in their approach to the risk analysis. They may even belong to the same firm or be external experts. The setting-up of specialist advisory groups, which accompany the project dealing exclusively or at least mainly with safety issues, has also proved to be

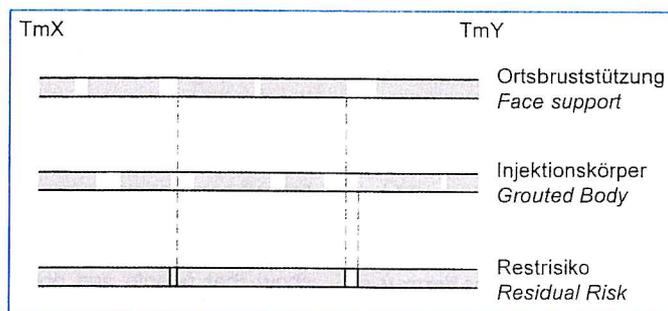
worthwhile. In such groups, the first priority is: avoid unexpressed (unarticulated) certainties, apply doubt methodically.

5 Zimmerberg Base Tunnel

In the following, the above statements are illustrated by means of the problems encountered when tunnelling through the Zimmermann Base Tunnel's soft ground section. The project has been described in detail elsewhere [10, 11, 12, 13], so that here we only need to discuss those aspects that were relevant for the risk management study.

The 780 m long stretch in soft ground (Fig. 3), consisting of moraine, river gravel and lacustrine deposits, lies between the Lochergut portal and the section in bedrock (beddings of mudstone and sandstone). The river gravel includes blocks and erratic boulders up to several cubic metres in size. This gravel exhibits a high permeability ($k \geq 10^{-3}$ m/s), whereas the lacustrine deposits are practically impermeable. In the moraine, the water table lies at the tunnel apex elevation and falls gradually to about 4 m below the tunnel roof at the Lochergut portal. Over the whole stretch, the tunnel passes under a built-up area. In one case, a tall building (the SSF building) lies directly over it, its underground garage lying within the cross-section of the planned tunnel tube. This required the removal of the lowest parking floor as well as the underpinning of the whole building [11, 12].

From the beginning, it was clear that this construction lot exhibited a very high risk of failure involving failure extending to the ground surface. In this respect, among others, the following factors can be mentioned:



13 Restrisiko für einen Tagbruch aus dem Zusammentreffen von ungenügender Stützung der Ortsbrust und Fehlstelle im Injektionskörper

13 Residual risk for a failure extending to the ground surface from the coincidence of insufficient support of the working face and a defective point (insufficient strength) in the grouted body

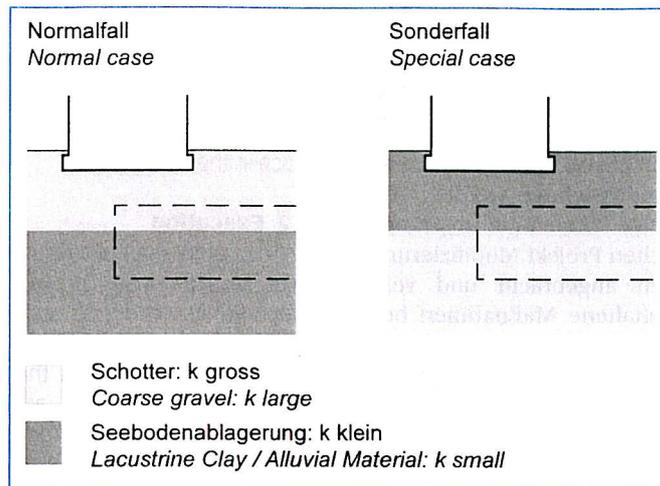
5 Zimmerberg-Basistunnel

Im Folgenden sollen am Beispiel der Lockergesteinsstrecke des Zimmerberg-Basistunnels die vorstehenden Ausführungen konkretisiert werden. Das Bauvorhaben wurde schon anderswo eingehend beschrieben [10, 11, 12, 13], sodass wir uns hier auf die Erörterung jener Aspekte beschränken können, die für das durchgeführte Risikomanagement relevant waren.

Die 780 m lange Lockergesteinsstrecke (Bild 3) aus Moränenmaterial, Sihlschotter und Seebodenablagerungen liegt zwischen dem Portal Lochergut und der Felsstrecke (Obere Süßwassermolasse). Der mit Blöcken und Findlingen (bis mehrere Kubikmeter) durchsetzte Sihlschotter weist bereichsweise eine hohe Durchlässigkeit auf ($k \geq 10^{-3}$ m/s), während die Seebodenablagerungen wenig durchlässig sind. Der Grundwasserspiegel liegt in der Moräne auf der Höhe des Tunnelscheitels und sinkt kontinuierlich bis auf ca. 4 m unter die Tunnelfirste beim Portal Lochergut ab. Der Tunnel durchquert durchweg überbautes Gebiet. In einem Fall musste gar ein Hochhaus (SSF-Gebäude) unterfahren werden, dessen Tiefgarage im Profil der geplanten Tunnelröhre lag. Dies erforderte die Entfernung der untersten Parkebene sowie die Unterfangung des ganzen Gebäudes [11, 12].

Es war von Anfang an klar, dass dieses Baulos mit außergewöhnlich hohen Risiken bezüglich eines Tagbruches behaftet war. Hierfür können u. a. folgende Faktoren angeführt werden:

- großes Ausbruchprofil ($\varnothing = 12,3$ m)



14 Fälle von „gemischter“ Ortsbrust

14 Cases of a "mixed" working face

- geringe Überlagerung (6–15 m) im Vergleich zum Tunnelndurchmesser
- geringer Abstand zu Gebäudefundamenten (3–6 m)
- Tunnel im Grundwasser
- ungünstige Beschaffenheit des Baugrundes
- vorhandene Fremdobjekte wie z. B. Vorspannanker benachbarter Baugrubensicherungen.

Findet ein Tagbruch in unbebautem Gebiet (Bild 4 a) statt, so beschränkt sich der Schaden in der Regel auf eine Mehrarbeit bzw. eine allfällige Bauzeitverzögerung, die leicht durch Geldwerte beziffert werden können. Demgegenüber kann in bebautem Gebiet (Bild 4 b) die Gefährdung von Anwohnern, Verkehrsteilnehmern usw. auf Grund der sensiblen Wahrnehmung solcher Ereignisse außerordentlich schwer wiegende Folgen zeitigen (Mobilisierungseffekt). So kennt man Beispiele aus dem Ausland, bei denen das Vertrauen in die Technik durch einen Tagbruch verloren ging. In der Folge mussten die laufenden Arbeiten selbst an Projekten eingestellt werden, die in keinem Zusammenhang mit dem Verursa-

- large excavation profile ($\varnothing = 12.3$ m)
- shallow overburden depth (6–15 m) in comparison to the tunnel diameter
- small distance to the foundations of buildings (3–6 m)
- tunnel within the groundwater
- unfavourable character of the ground
- presence of foreign objects like pre-stressed anchors from neighbouring excavation support systems

If there is a case of failure extending to the ground surface in an undeveloped area (Fig. 4 a), then the damage is limited to extra work and a possible delay in completion, which can be easily estimated in terms of cost. However, if such a failure occurs in a built-up area (Fig. 4 b) the threat to the residents, the road-users, etc., due to exposure to such events, can have extremely serious consequences (mobilisation effect). For example, case studies from abroad show that people and politicians can lose confidence in technology following this type of failure. As a result, even work on projects had to be stopped, which had nothing to do with the cause of failure. For good reason, therefore,

the Zimmerberg Base Tunnel client showed great interest in risk management at an early phase of the project [13]. The evaluation of different tunnel drive concepts finally led to the choice of a shield machine with slurry support (hydro-shield).

In many cases it is possible to clarify open questions purely empirically by having a trial stretch (Fig. 5). The amount of damage resulting from failure extending to the ground surface is in this way limited and can be determined with sufficient accuracy in advance. The construction experience gained in this way can then be utilized in the decision making when driving under a critical zone. A similar case has been reported elsewhere [8].

In the Zimmerberg Base Tunnel, there was no opportunity to carry out such a trial investigation because of the heavily built-up area above it. Therefore a procedure had to be chosen, which despite an inadequate knowledge of numerous factors, still guaranteed the required safety against collapse of the ground above the tunnel over the complete stretch under consideration. However, it emerged that particularly favourable conditions existed when driving the TBM from the rock into the loose ground section:

- minor importance of the roads that had to be driven under at the beginning
- relatively large overburden depth (15 m)
- high in situ density of the moraine.

Before we look at the system safety in this construction lot in detail, it is necessary to remind readers of the hydro-shield's support mechanism. The working face is constantly supported by the slurry (suspension) during the removal of the soil (Fig. 6). Due to the filter cake that is continuously

cher standen. Aus gutem Grund schenkte deshalb der Bauherr dem Risikomanagement beim Zimmerberg-Basistunnel bereits in einer frühen Projektphase große Aufmerksamkeit [13]. Die Evaluation verschiedener Vortriebskonzepte führte schließlich zur Wahl einer Schildmaschine mit Flüssigkeitsstützung (Hydroschildvortrieb).

In vielen Fällen besteht die Möglichkeit, offene Fragen rein empirisch durch die Einrichtung einer so genannten „Probestrecke“ zu klären (Bild 5). Das Schadensausmaß eines Tagbruchs ist hier ausreichend begrenzt und kann im Voraus genau ermittelt werden. Die dabei gewonnene Erfahrung wird sodann bei der Festlegung der Entscheidungen betreffend die Unterfahrung eines „kritischen Bereichs“ verwertet. Über einen solchen Fall wurde bereits anderswo berichtet [8].

Im Zimmerberg-Basistunnel bot sich infolge der dichten Bebauung keine Gelegenheit zu solch einem Probetrieb. Man musste deshalb eine Vorgehensweise wählen, die trotz der ungenügenden Kenntnis zahlreicher Faktoren die erforderliche Sicherheit gegen Tagbruch auf der gesamten Strecke lückenlos gewährleisten konnte. Es hat sich allerdings erwiesen, dass beim Einfahren der TBM aus dem Fels in das Lockergestein besonders günstige Verhältnisse vorlagen:

- geringe Bedeutung der anfänglich zu unterquerenden Straßen
- verhältnismäßig große Überlagerungshöhe (15 m)

- hohe Lagerungsdichte der dort anstehenden Moräne.

Bevor wir näher auf die Systemsicherheit in diesem Baulos eingehen, soll kurz an den Stützmechanismus bei einem Hydroschildvortrieb erinnert werden.

Die Ortsbrust wird laufend mit dem Abbau des Bodens durch die Suspension (Stützflüssigkeit) gestützt (Bild 6). Diese kann im Regelfall dank des sich ständig neu bildenden Filterkuchens nicht in den Baugrund eindringen, sodass man von einer Membrane spricht. Der Druck der Suspension wird durch den Luftpolsterdruck reguliert. Bei Stabilitätsuntersuchungen sind die betriebsbedingten Druckschwankungen ($p \pm \Delta p$) und der Zeitfaktor [14] – im speziellen Stillstände – zu berücksichtigen.

Während des Vortriebs ist die Kammer mit der Suspension voll gefüllt, weshalb der äußere Wasserdruck gemäß Bild 7a durch die Suspension kompensiert wird. Um die Stabilität der Ortsbrust auch bei geringer oder gar fehlender Kohäsion des Bodens zu gewährleisten, ist noch ein Luftpolsterdruck notwendig. Ganz anders liegen die Ver-

hältnisse, wenn die Ortsbrust gebildet, usually the slurry cannot penetrate the ground, which is why one speaks of a membrane. The slurry pressure is regulated by the air cushion pressure. In the stability analysis the pressure fluctuations ($p \pm \Delta p$) associated with the operations and the time factor – especially the times of standstill – have to be taken into account [14].

During driving operations, the chamber with the slurry is completely full, so that the external water pressure shown in Fig. 7a is compensated by the slurry. In order to ensure stability of the working face even with little or zero soil cohesion, an air cushion pressure is additionally necessary. The conditions are quite different if the slurry is partially or completely lowered, as is the case when working in the chamber. Thus, in this case, the air pressure in the roof is essentially high (Fig. 7b).

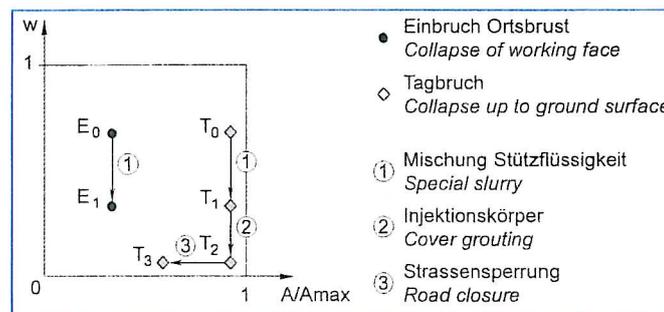
After these preliminaries it should be clear that only a loss of the slurry support can cause a failure of the working face. During excavation or a work break in the chamber, the membrane effect can be lost and the slurry can penetrate so far into the ground

that the support action no longer suffices to maintain equilibrium. This could happen, for instance, if unexpectedly high soil permeability is encountered, for which the slurry mix is not appropriate. Unexpected foreign bodies (pipes, sewers) can also exert an influence by allowing the slurry to escape in large quantities. A particularly striking example (Fig. 8) has been described by Braach [15].

When carrying out maintenance work in the working chamber the air pressure can drop due to blowouts, which can also lead to failure of the working face. Factors which favour such a process are either higher air pressure combined with a low permeability of the natural soil in the region of the roof or the loss of the filter cake membrane effect due to drying out. The lifting (break-up) of the soil at low overburden depths and the presence of foreign objects must also be taken into consideration.

When trying to estimate the consequences of a failure extending to the ground surface when using the hydroshield, it has to be considered that the amount of material (a mixture of soil and slurry) that breaks in or flows into the chamber is limited to the free volume of working space given closed lock gates. In the case of the Zimmerberg Base Tunnel this volume amounts, none the less, to about 250 m³ (Fig. 9). Should failure of the working face occur, the slurry, due to its low unit weight, would be displaced upwards⁽⁵⁾ through the collapsed soil material (Fig. 4a).

Depending on the free volume of the working space, an external crater-like surface



15 Verminderung des Tagbruchrisikos

15 Reducing the risk of failure extending to the ground surface to the accepted level

(5) Therefore, the fact that this mechanism cannot occur is ascribed to be an advantage of the ETB shield. But in a comparison of the two methods of driving there are many other influential factors.

hältnisse bei partiell oder vollständig abgesenkter Suspension, wie dies beim Begehen der Arbeitskammer der Fall ist. Der Luftüberdruck in der Firste ist in diesem Fall notwendigerweise groß (Bild 7b).

Nach diesen Erläuterungen wird klar, dass nur ein Verlust der Stützwirkung der Suspension einen Einbruch der Ortsbrust auslösen kann. Während des Vortriebes oder eines Stillstandes kann die Membranwirkung verloren gehen und die Suspension so weit in den Baugrund eindringen, dass die Stützwirkung für das Gleichgewicht nicht mehr ausreicht. Dies geschieht, wenn beispielsweise eine unerwartet hohe Durchlässigkeit des Bodens angetroffen wird, auf welche die Mischung der Suspension nicht abgestimmt ist. Auch unerwartet auftretende Fremdobjekte können eine Rolle spielen, indem sie ein Entweichen der Suspension in großen Mengen ermöglichen. Über ein besonders eindrückliches Beispiel wurde hierfür von Braach [15] berichtet (Bild 8).

Während der Arbeiten in der Arbeitskammer kann der Luftdruck durch Ausbläser abfallen, was zum Einbruch der Ortsbrust führen kann. Faktoren, die einen solchen Prozess begünstigen, sind entweder ein hoher Luftdruck in Kombination mit einer geringen Durchlässigkeit des im Firstbereich anstehenden Bodens oder der Verlust der Membranwirkung des Filterkuchens infolge Austrocknens. Weiter ist auch auf einen Aufbruch des Bodens bei geringer Überlagerung und das Vorhandensein

von Fremdobjekten (Röhren, Kanäle usw.) zu achten.

Um die Folgen eines Tagbruches bei einem Hydro-schildvortrieb einzuschätzen, muss man bedenken, dass die eingebrochene Menge Wasser-Boden-Gemisch bei geschlossenen Schleusentüren auf das freie Volumen des Arbeitsraumes beschränkt ist. Im Falle des Zimmerberg-Basistunnels beträgt dieses Volumen immerhin rund 250 m^3 (Bild 9). Bei einer Instabilität der Ortsbrust wird die Stützflüssigkeit entsprechend ihres geringeren Raumgewichtes durch das eingebrochene Bodenmaterial nach oben verdrängt⁽⁵⁾ (Bild 4 a).

Entsprechend dem freien Volumen des Arbeitsraumes bildet sich bei einem Tagbruch an der Geländeoberfläche ein Einbruchkrater aus (Bild 4). Dessen Ausdehnung kann gemäß Bild 9 im Längs- und Querschnitt dargestellt werden. Seine Wände über dem Tunnelscheitel



16 Findlinge in den Seeablagerungen vor dem Bohrkopf

16 Erratic blocks in the lake deposits in front of the cutterhead

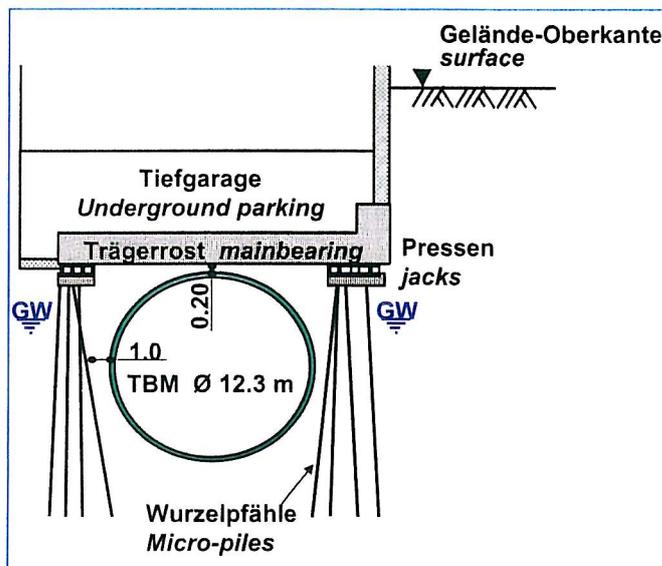
may form in the case of failure extending to the ground surface (Fig. 4). Its extent in length and cross-section can be represented as in Fig. 9. In cohesive soil, the crater walls above the crown of the tunnel are practically vertical. In the situation shown in Fig. 10, it is evident how the consequences of such a failure may differ according to the position of the crater along the tunnel axis.

Measures: In the river gravel, due to the presence of zones of extremely high permeability the reliability of the

support action of the slurry is questionable. It was therefore decided to implement supplementary measures. From the Lochergut portal up to the SSF building a 140 m long protective pipe umbrella was constructed [11]. In addition, from the auxiliary shaft at Kollerwiese, a 470 m long auxiliary tunnel was driven parallel to the main tunnel. The latter served primarily to create a continuous grouted body above the tunnel. In certain places the grouted body was enlarged to form "stations" (Fig. 11), where pre-planned maintenance work on the cutterhead had could be carried out. The auxiliary tunnel also offered the possibility, if necessary, of accessing the cutting head from any point as well as carrying out additional grouting work.

Grouted body: Its main purpose was, in the case of collapse of the working face, to bridge over the resulting void thus avoiding a failure extending to the ground surface. To achieve this goal the shape and size (Fig. 12) of the grouted body had to be determined together with the type of grout and the amount per cubic metre of soil, on which in turn, the planning of the grid of drill holes and the grouting intervals along the individual drill holes depended. The criteria for the quality of the grouted body were a minimum required strength and satisfactory homogeneity.

Slurry support: In view of the highly permeable river gravel it was decided to use a slurry mix which has already proved itself satisfactorily in the Zurich area in the same river gravel with a different hydro-shield



17 Unterfangung des Hochhauses (SSF-Gebäude)

17 Underpinning of the SSF building complex

(5) Deshalb rechnet man dem Erddruckschild oft den Vorteil an, dass sich dieser Mechanismus dort nicht abspielen kann, wobei natürlich bei einem Vergleich der beiden Vortriebsarten viele andere Faktoren einen Einfluss haben.

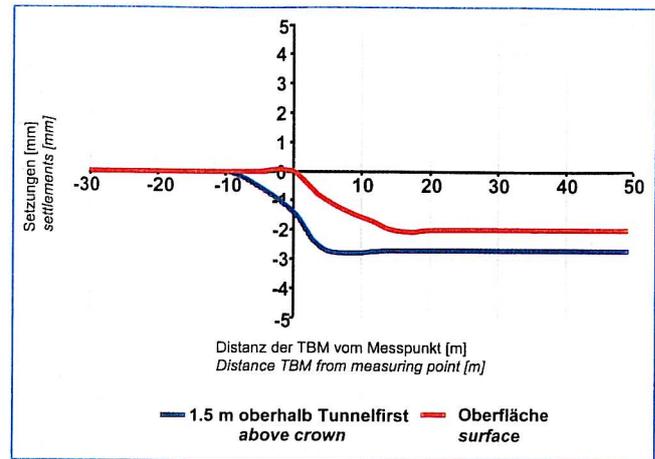
stehen in gering kohäsivem Material praktisch senkrecht. In der Situation (Bild 10) erkennt man, wie unterschiedlich die Tragweite eines Tagbruchs je nach der Lage des Kraters entlang der Tunnelachse sein kann.

Maßnahmen: Im Sihl-schotter war infolge des Vorhandenseins von Bereichen mit extrem hoher Durchlässigkeit die Verlässlichkeit der Stützwirkung der Bentonit-suspension infrage gestellt. Man beschloss deshalb, folgende Zusatzmaßnahmen durchzuführen. Vom Portal Lochergut wurde bis zum SSF-Gebäude ein 140 m langer Groß-Rohrschirm erstellt [10]. Ergänzend wurde vom Hilfsschacht Meinrad-Lienert-Platz aus ein 470 m langer, parallel zum Tunnel verlaufender Hilfsstollen vorgetrieben. Letzterer diente in erster Linie der Herstellung eines durchgehenden Injektionskörpers über dem Tunnel. Dieser Injektionskörper wurde an bestimmten Stellen zu „Bahnhöfen“ vergrößert (Bild 11), wo man vorgängig geplante Unterhaltsarbeiten am Bohrkopf durchführte. Der Hilfsstollen bot auch die Möglichkeit, sich bei Bedarf an irgendeiner Stelle Zugang zum Bohrkopf zu verschaffen oder zusätzliche Injektionsarbeiten durchzuführen.

Injektionskörper: Seine Hauptaufgabe bestand darin, bei einem allfälligen Einbruch der Ortsbrust den entstandenen Hohlraum zu überbrücken und damit einen Tagbruch zu vermeiden (Bild 12). Um dieses Ziel zu erreichen, galt es Form und Größe sowie die Art des Injektionsmittels und die Injektionsmenge je Kubikmeter Boden festzulegen. Da-

von wiederum hing die Wahl des Bohrrasters und der Injektionsintervalle entlang der einzelnen Bohrungen ab. Als Kriterium für die Qualität des Injektionskörpers galten eine Mindestdruckfestigkeit und eine ausreichende Homogenität.

Stützflüssigkeit: Angesichts des erraticen Vorkommens hoch durchlässigen Schotters beschloss man, eine Mischung zu wählen, die sich im Raum Zürich bei einem anderen Hydroschildvortrieb im selben Schotter bereits bewährt hat [16]. Die Zusammensetzung dieser besonders viskosen Suspension, bezogen auf 1 m³ Wasser, lautet: 40 kg/m³ Bentonit, 100 kg/m³ Sand, 0,5 kg/m³ Polymere und 20 kg/m³ Vermex. Der Letztere ist der Markenname für exfoliiertes (expandiertes) Vermiculit, bestehend aus einem Aluminium-Eisen-Magnesium-Silikat, das zur Gruppe der Glimmerminerale gehört. Infolge seiner hohen Porosität beträgt das Raumgewicht nur 8–9 kN/m³. Vermiculit bewirkt zusammen mit den Polymeren und dem Sand, dass bei der Bildung des Filterkuchens die oberflächennahen groben Poren im Schotter gefüllt werden. Die Scherfestigkeit (Viskosität) dieser Mischung wurde nach den in der Praxis geltenden Richtlinien bestimmt. Entscheidend waren die Ergebnisse von Versuchen im Labor (so genannte Stützdruckversuche) zur Bestimmung des maximalen Luftdrucks, bei dem der Filterkuchen einer bestimmten Suspension bei einem normierten Versuchsboden durchbrach [16]. Es muss allerdings erwähnt werden, dass eine solche Zusammensetzung der Stütz-



18 Resultate der Setzungsmessungen

18 Results of the observed settlements

project [16]. The composition of this especially viscous slurry for 1 m³ of water was: 40 kg/m³ of bentonite, 100 kg/m³ of sand, 0.5 kg/m³ of polymer material and 20 kg/m³ of Vermex. The latter is a brand name for exfoliated (expanded) vermiculite, consisting of aluminium-iron-magnesium-silicate, belonging to the family of micaceous minerals. Due to its high porosity, the unit weight is only 8–9 kN/m³. Together with the polymer material and the sand, the vermiculite ensures that during the formation of the filter cake in river gravel deposits the large pores near the surface are filled. The shear strength (viscosity) of this mixture was determined according to the guidelines available in engineering practice. The results of laboratory tests (so-called support pressure tests) were decisive to determine the maximum air pressure at which the filter cake was broken through for a particular slurry suspension in a standard test soil [16]. It ought to be mentioned, however, that such a slurry composition has disadvantages in operation (transport, separation), so that

in the end, it was only used in exceptional circumstances. For this reason the requirements placed upon the grouted body were increased.

Although the basic decision was made, on the one hand, to dimension the grouted cover for the case of a collapse of the working face, and, on the other, to design the slurry suspension for higher soil permeability, there still remained some risk of a failure extending to the ground surface. The probability of occurrence of local defects in the grouted body or for the loss of slurry support action could always be classified as small thanks to the special efforts and controls carried out; the coincidence of both factors was judged to be much less probable⁽⁶⁾. The diagrammatic representation in Fig. 13 illustrates this train of thought.

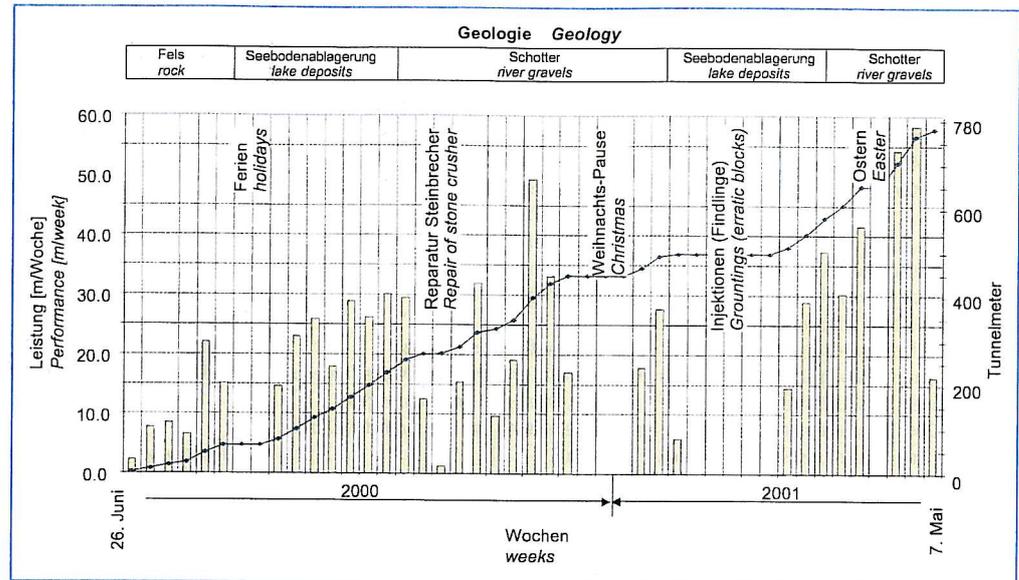
The example of a "mixed" working face illustrates that the occurrence of defects in the grouted body does not have to obey the law of chance (see under "Probability") (Fig. 14). Usually the river gravel lies above the lacustrine deposits. As a result, the conditions for producing a

(6) The probability for the simultaneous occurrence of several events is the product of their individual probabilities of occurrence.

flüssigkeit betriebliche Nachteile (Förderung, Separierung) mit sich brachte, sodass schließlich nur in Ausnahmefällen auf sie zurückgegriffen wurde. Aus diesem Grund wurden denn auch die Anforderungen an den Injektionskörper weiter erhöht.

Obwohl die Grundsatzentscheidung getroffen wurde, einerseits die Abdeckinjektionen auf den Fall eines Einbruchs der Ortsbrust zu dimensionieren und andererseits die Stützflüssigkeit auf eine große Durchlässigkeit des Bodens auszulegen, bestand immer noch ein Restrisiko für einen Tagbruch. Die Eintretenswahrscheinlichkeit für das Vorkommen lokaler Fehlstellen im Injektionskörper oder für den Ausfall der Stützwirkung wurde dank besonderer Anstrengungen und Kontrollen jeweils als gering eingestuft; das Zusammentreffen beider Faktoren wurde als noch viel weniger wahrscheinlich bewertet⁽⁶⁾. Die schematische Darstellung im Bild 13 veranschaulicht diese Gedankengänge.

Dass das Vorkommen von Fehlstellen im Injektionskörper nicht dem Gesetz des Zufalls folgen muss (siehe Begriff „Wahrscheinlichkeit“), zeigt sich am Beispiel der gemischten Ortsbrust (Bild 14). Im Normalfall liegt der Sthlschotter über den Seeablagerungen. Dies hat zur Folge, dass die Bedingungen sowohl zur Herstellung eines Injektionskörpers als auch für die Stützung der Ortsbrust günstig sind. In umgekehrter Reihenfolge der Schichten ist der Erfolg der Abdeckinjektionen in Frage gestellt, da infolge der geringen Überlagerung sowohl der Injektionsdruck als auch die



19 Leistungsdiagramm Hydro-Vortrieb in der Lockergesteinsstrecke

19 Hydro-shield TBM performance in the unconsolidated soil section

Injektionsmenge beschränkt sind (Aufreißen, Hebung der Oberfläche). Die Membranwirkung im unten liegenden Schotter mit hoher Durchlässigkeit musste ebenfalls infrage gestellt werden, sodass in solchen Fällen der Schotter wegen Einbruchgefahr der Ortsbrust ebenfalls injiziert werden musste.

Kehren wir nun zum Risikomanagement bezüglich des Tagbruchs zurück. Im Bild 15 sind die einzelnen Schritte bei der Risikominderung schematisch dargestellt. Den Ausgangspunkt bildet der Punkt E_0 , der das Risiko eines Einbruchs der Ortsbrust darstellt. Da eine solche Instabilität als Auslöser eines Tagbruchs gilt, weisen beide Ereignisse die gleiche Eintretenswahrscheinlichkeit auf. Da der Tagbruch mit dem größten Schadensmaß verbunden ist, steht für ihn im Diagramm der Punkt T_0 . Was bewirkt die Wahl einer verbesserten Mischung der Stützflüssigkeit?

grouted body and also for the support of the working face are favourable. With the reversed sequence of the layers the success of a grouted cover is doubtful, since due to the shallow overburden depth both the grouting pressure and the quantity of grout are limited (causing cracking and ground surface heaving). The membrane effect in the underlying river gravel possessing high permeability also has to be questioned, so that in such cases the river gravel, because of the danger of collapse of the working face, also has to be grouted.

We return now to the question of risk management for the case of failure extending to the ground surface. In Fig. 15, the individual steps to reduce risk are presented in diagrammatic form. The starting point is provided by the point E_0 , which represents the risk of collapse of the working face. Since such a collapse is the trigger for failure extending to the ground surface,

both events are deemed to have the same probability of occurrence. Since failure extending to the ground surface results in the greater amount of damage, it is described in the diagram by point T_0 . What does the choice of an improved slurry mix bring? It reduces the probability of occurrence of failure of the working face and moves the point E_0 vertically to E_1 . Thereby the point T_0 undergoes the same movement down to point T_1 . The establishment of a continuous grouted body further reduces the probability of occurrence of failure extending to the ground surface, so that the point T_2 ("The Sword of Damocles") is arrived at. Now in order to achieve an acceptable risk it was necessary to close the roads and evacuate certain buildings for the period of driving the tunnel under them. The corresponding point is denoted by T_3 and represents at the same time the residual risk.

(6) Die Wahrscheinlichkeit für das gleichzeitige Auftreten mehrerer Ereignisse ist das Produkt der jeweiligen Wahrscheinlichkeit des Auftretens der Einzelereignisse.

Sie verringert die Eintretenswahrscheinlichkeit für den Einbruch der Ortsbrust und verschiebt somit den Punkt E_0 lotrecht zu E_1 . Damit erfährt der Punkt T_0 die gleiche Verschiebung nach unten (T_1). Die Anordnung eines durchgehenden Injektionskörpers verringert die Eintretenswahrscheinlichkeit eines Tagbruchs weiter, sodass man den Punkt T_2 erhält („Damoklesschwert“). Um nun zu einem akzeptierbaren Risiko zu gelangen, wurde das Schadensausmaß durch Sperrung der Straßen und die Evakuierung bestimmter Gebäude für die Zeitdauer ihrer Unterfahrung angeordnet. Der entsprechende Punkt ist durch T_3 bezeichnet und bedeutet zugleich das Restrisiko.

Es sei hier bemerkt, dass die oben stehenden Erläuterungen die Probleme beim Zimmerberg-Basistunnel nur in groben Zügen wiedergeben. So hat beispielsweise die Anordnung eines durchgehenden Injektionskörpers auch die Wahrscheinlichkeit für einen Einbruch der Ortsbrust verringert. Ähnlich verhält es sich mit dem umfangreichen Beobachtungsprogramm (Risikokontrolle), das auf eine weitere Verringerung des Schadensausmaßes bei einem Tagbruch abzielte und im Bild 15 keine Berücksichtigung fand.

6 Erkenntnisse aus dem Vortrieb

Für den Hydrovortrieb in der Übergangszone (Bild 3) von Fels in die Seebodenablagerungen wurde Wasser als Stützflüssigkeit bei einer halben Füllung mit Druckluft eingesetzt. Beim Ort, wo etwa 2 m des Firstes in den Seebodenablagerungen wa-

ren, wurde auf eine volle Bentonitstützung umgestellt. Kennzeichnend für die TBM-Fahrt beim Übergang in die Seebodenablagerungen waren Verklebungen in der Tauchwandöffnung und Verstopfung der Materialöffnungen. Diese Probleme wurden mit dem Freilegen des Abbauraumes nach 2 bis 3 Ringen mit Spülen der Einlassöffnung und dem Entfernen des Rostes im feinkörnigen Boden behoben.

Für die Schotterstrecke wurde, wie im Kapitel 5 gezeigt, eine Spezialmischung der Stützflüssigkeit eingesetzt, die zusätzliche Installationen für die Separieranlage erforderten. Beim Vortrieb mit der geforderten „dicken“ Mischung zeigten sich bei der Separierung große Probleme. Die Vortriebsleistung wurde durch die Separierung bestimmt: 6 Stunden Vortrieb, 18 Stunden Separierung. Die Anforderungen an die Stützflüssigkeit wurden deshalb verringert – insbesondere bezüglich des Vermiculit-Gehaltes –, womit die Zentrifugen für die Separierung an Stelle der Kammerfilterpressen wieder eingesetzt werden konnten.

Infolge von Findlingen in den Seeablagerungen musste der Vortrieb eingestellt werden, da sie sich einer Zerkleinerung durch die Disken entzogen (Bild 16, [11]). Das Problem waren nicht eigentlich die Findlinge, sondern deren mangelnde Bettung in der Bodenmatrix. Es wurde deshalb beschlossen, vorausseilende stabilisierende Injektionen ab dem Pilotstollen auszuführen. Die Injektionsfächer für die verbleibenden 50 m Seeablagerungen wurden in einem Abstand von 1,5 m ausgeführt und dauerten ca. 5 Wochen. Da-

It should be pointed out that the explanations provided here only give a broad outline of the problems encountered in the Zimmerberg Base Tunnel. For example, the requirement of a continuous grouted body also reduces the risk of failure of the working face to some extent. The same can be said of the extensive monitoring programme (risk control), which also aimed to reduce the amount of damage in the case of failure extending to the ground surface, but was not considered in Fig. 15.

6 Construction experience

In the transition zone where the geology changes from rock to lake deposits, the Herrenknecht TBM advance

was undertaken using only water as support for the tunnel face. In this connection, the chamber was half filled with compressed air. At the point, where around 2 m of the roof lay in the lake deposits, it was changed to a full slurry support. Effects of adhesion in the submerged wall and blockages of the material inlet were characteristic for the TBM drive in the aforementioned change in geology from rock to lake deposits. These problems were solved by emptying the excavation chamber after 2 to 3 rings flushing the openings of the machine and removing the grill/rake in the fine-grain soil.

As described in Chapter 5, an especially viscous mixture was used for the river gravel section, which required addi-



20 Durchschlag des Hydroschildes beim Nordportal am 7. Mai 2001

20 Hydro-shield TBM breakthrough at north portal May 7th 2001

nach konnten die besser eingebetteten Findlinge mit den Disken des Schneirades problemlos abgebaut werden. Es ist anzumerken, dass der Injektionskörper seine vorgesehene Funktion (gem. Kap. 5) als Element zur Überbrückung des entstandenen Hohlraums während der Stillstandszeit der TBM vollumfänglich erfüllte.

Die Unterquerung des SSF-Gebäudes (Bild 17) erfolgte wiederum im Schotter. Da der aufzufahrende Boden während der Abfangungsarbeiten des Gebäudes bereits injiziert worden war, konnte mit der normalen Bentonitmischung gefahren werden. Eine Besonderheit bestand darin, dass der Stützdruck nur 0,2 bar (OK First) betragen durfte, da das Gebäude und die Abfangungskonstruktion keine größere Belastung von unten erfahren durften.

Die gemessenen Setzungen an der Oberfläche und des unterfahrenen SSF-Gebäudes betragen lediglich 1 bis 2 mm (Bild 18), als Resultat des erstrebten Zusammenwirkens von Bauhilfsmaßnahmen und TBM-Fahrt.

Bild 19 zeigt das Leistungsdiagramm der Lockergesteinsstrecke mit den Vortriebsleistungen im Bereich Fels/Seebodenablagerungen von lediglich 7 m bis 30 m pro Woche, während im Schotter unter dem Rohrschirm 60 m pro Woche erreicht wurden. Weiter sind die geplanten Stillstände in den Bahnhöfen sowie die nicht geplanten infolge Steinbrecherreparaturen und Findlingen ersichtlich.

Der Vortrieb endete erfolgreich am 7. Mai 2001. Im Bild 20 ist der Durchschlag des Hydroschildes beim Nordportal dargestellt.

7 Schlussbemerkungen

„Risiko und Sicherheit“ ist ein Themenbereich des Ingenieurwesens, der sich in den letzten Jahrzehnten zu einem eigenständigen Fachgebiet entwickelt hat [17]. Sein Begriffsgebäude und seine Methoden gestatten einen rationalen Umgang mit Risiken. Der Tunnelbau, insbesondere der städtische, kann auf diese Grundlagen zurückgreifen. So hat sich denn auch in der Praxis das Arbeiten mit dem Sicherheitsplan bestens bewährt. Die Formalisierung der Vorgehensweise sowie die Visualisierung der Fakten und Erkenntnisse fördern die Klarheit und ermöglichen die Zusammenarbeit von Fachleuten unterschiedlicher beruflicher Herkunft. Die große Leistungsfähigkeit des Sicherheitsplanes im städtischen Tunnelbau konnte bei der Lockergesteinsstrecke des Zimmerberg-Basistunnels ein weiteres Mal unter Beweis gestellt werden.

Literatur

- [1] ETH Zürich, Universität St. Gallen, ETH Lausanne (2000): Nachdiplomkurs „Risiko und Sicherheit“, Kursunterlagen.
- [2] Renn, O. (2000): Risikowissenschaft und Risikomanagement, in „Risiko und Sicherheit“, Magazin der Universität Zürich Nr. 3/00, Bulletin der ETH Zürich Nr. 279/November 2000.
- [3] Wahrig, G. (1996): Deutsches Wörterbuch, Bertelsmann Lexikon Verlag.
- [4] Bronstein, I.; Semendjajev, K. (1960): Taschenbuch der Mathematik, Teubner, Leipzig.
- [5] Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein SIA (1998): Erfassen des Gebirges im Untertagebau, Empfehlung SIA 199.
- [6] Kröger, W. (2000): Handhabung technischer Risiken – eine fortwährende Herausforderung, in „Risiko und Sicherheit“, Magazin der Universität Zürich Nr. 3/00, Bulletin der ETH Zürich Nr. 279/November 2000.
- [7] Locher & Cie AG (1980): Risiken erkennen und meistern, Selbstverlag Locher & Cie AG, Zürich.
- [8] Kovári, K.; Weber, J. (1991): Risikoverminderung bei der Spritzbeton-

tional separation plant installations. Significant separation problems arose during advancing using the required “dense” mixture. The advance rate was dependent on the separation: 6 hours advance, 18 hours separation.

The requirements on the viscous slurry mixture were thereby reduced – in particular with regard to the vermiculite content – whereby the separation by means of centrifuge could be reapplied in place of the chamber filter presses.

The TBM advance had to be stopped due to large erratic blocks being encountered in the lake deposits since they could not be crushed by the discs. (Fig. 16, [11]) In fact the problem was not so much the erratic blocks themselves as the lack of embedment in the soil matrix. It was therefore decided to conduct stabilizing grouting from the pilot tunnel. The grid of grouting boreholes for the remaining 50 m of lake deposits were set at 1.5 m intervals and the process lasted around 5 weeks. Subsequently, the better embedded erratic blocks could be tackled by the cutting wheel discs without difficulty. It should be mentioned that during the TBM standstill, the grouted cover completely fulfilled its foreseen bridging function (see Chapter 5).

The underpassing of the SSF-Building complex (Fig. 17) also took place through river gravel. Thanks to the grouting measures carried out during the underpinning work on the building, an ordinary slurry mixture could be applied. A special consideration was that the support pressure could only be allowed to reach a maximum of 0.2 bar (as measured from the roof), since the building and the supporting structure could not be sub-

jected to excessive loading uplift from below.

The observed surface settlements and those affecting the SSF building amount to only 1 to 2 mm (Fig. 18) as a result of the combined effect of the continuous grouted body above the crown of the tunnel and the successful TBM-drive.

Fig. 19 charts the unconsolidated soil advance rate, showing the advance rates in the rock/lake deposits to be only 7 m to 30 m per week, whereas 60 m per week was achieved in the river gravel under the jacked pipe umbrella. The planned downtimes in the grouted stations, the unplanned stone crusher repair work and the downtimes due to erratic blocks can also be seen.

The TBM drive was successfully completed on May 7th, 2001. Fig. 20 shows the breakthrough of the hydroshield at the north portal.

7 Conclusion

“Risk and Safety” is a topic that encompasses engineering and has developed in recent decades to become a subject in its own right [17]. Its conceptual structure and its methods allow a rational treatment of risks. Tunnelling, especially urban tunnelling can fall back on these fundamental principles. For example, the use of the safety plan has proved to be very successful in practice. The formalisation of the procedures as well as the visualisation of the facts and of recognitions promotes clarity and enables the experts from different professional backgrounds to cooperate. The power and efficiency of the safety plan in urban tunnelling has again proved its value in the case of the soft ground section of the Zimmerberg Base Tunnel.

Zimmerberg-Basistunnel

Zimmerberg Base Tunnel

bauweise im U-Bahn-Bau München, Berichte des Internationalen Symposiums „Sicherheit und Risiken bei Untertagbauwerken“, ETH Zürich (Institut für Geotechnik).

[9] Kovári, K.; Kradolfer, W. (1997): Innerstädtischer Tunnelbau unter schwierigen Verhältnissen, Schweizer Ingenieur und Architekt, Nr. 21.

[10] Kovári, K. (2001): Analyse und Handhabung von Risiken im Tunnelbau am Beispiel Zimmerberg-Basistunnel, Dokumentation SIA D 0169, Tunnelvortriebe im Raum Zürich – Risikomanagement im Untertagbau.

[11] Bosshard, M.; Müller, H. R.; Kovári, K.; Bolliger, J. (2001): Zimmerberg-Basistunnel, Erfahrungen beim Hydroschildvortrieb in stark wechselndem Baugrund, U-Verkehr und unterirdisches Bauen, STUVA Tagung 2001, Forschung + Praxis, Bertelsmann.

[12] Bosshard, M. (2001): Planung und Umsetzung von Sicherheitsmaßnahmen beim Vortrieb der Lockergesteinsstrecke, Dokumentation SIA D 0169, Tunnelvortriebe im Raum Zürich – Risikomanagement im Untertagbau.

[13] Guertner, R. (2001): Risikobetrachtungen des Bauherrn, Dokumentation SIA D 0169, Tunnelvortriebe im Raum Zürich – Risikomanagement im Untertagbau.

[14] Anagnostou, G.; Kovári, K. (1994): The Face Stability of Slurry-shield-driven Tunnels, Tunneling and Underground Space Technology 9 (2).

[15] Braach, O. (1992): Risiken und Chancen beim mechanisierten Tunnelbau, Vorträge der STUVA-Tagung '91, Düsseldorf, Studiengesellschaft für unterirdischer Verkehrsanlagen, Köln.

[16] Fritz, P.; Tandler, C. (1999): Hydroschildvortrieb Hermetschlo-Werdhölzli in hochdurchlässigem Schotter, Weiterbildungskurs (27.–28. September 1999) – Institut für Geotechnik, ETH Zürich.

[17] Safety, Risk and Reliability – Trends in Engineering, International Conference of the International Association for Bridge and Structural Engineering (IABSE), Malta, March 21–23, 2001.

Acknowledgements

The authors would like to express his gratitude to Mr. R. Guertner of the Swiss Federal Railways and to Mr. J. Bolliger of the Contractors Consortium for the excellent co-operation during the whole project development. The authors are also indebted to Mr. M. Ramoni of the ETH Zurich for his invaluable help in preparing the manuscript.

Bibliography: see German original

Weitere News,
Artikel oder
Informationen zu
aktuellen Projekten
finden Sie unter

www.tunnel-online.info

