

GEOLOGISCHE RISIKEN UND MASSNAHMEN

Symposium Geologie AlpTransit GEAT 05

ETH-Zentrum Zürich
26. bis 30. September 2005

Dr Eng. Giovanni Lombardi



Geologische Risiken und Massnahmen

Dr. Eng. G. Lombardi¹

¹ *Consultant Engineer, Lombardi Engineering Ltd. Minusio, Switzerland*

ABSTRACT

Like any other construction project, tunnelling works should be carried out in an optimal way, that is in trying to minimize the hazards, the impacts on the environment, the duration of the works as well as their costs.

The concept of "geological risk" is often misunderstood and too widely used. Indeed, one should make the difference between:

- the risk of a deviation of the actual findings from the geological prognosis, and
- the many risks of different nature involved in the construction activities, which are to face the actual "geological conditions" on the site.

(Other technical risks will not be dealt with hereafter).

In this matter three fundamental questions do arise:

- coincidence of the geological prognosis with the reality;
- conclusions drawn from that prognosis at design stage for the tunnel as well as for the constructional activities;
- carrying out of the construction works in consideration of the actual geological facts.

It has to be taken into account that, as a rule, the geological forecast can show only limited precision, especially if referred to underground works at great depth. There are numerous reasons for this fact. Indeed, the "prognosis on the terrain" includes, especially today, much more than just a geological description of it.

As a rule, the existing technical means are unfortunately of a limited validity and precision and not always available: many of them give only an indirect information, which need a further interpretation. Risk at construction can only partially and conditionally be led back to the mentioned risk of imprecise and even wrong geological forecast.

Difficulties during the construction phase are fundamentally due to gas, water and rock conditions. Numerous counter-measures can and should eventually be taken.

Some recommendations can be drawn from the above mentioned concepts:

- possibly trustful geological prognosis should be strived for;
- its possible scatters should be taken into account,
- preparedness against possible unpredicted situations is required;
- sufficient flexibility of the constructional methods has to be considered, and
- timely recognising, analysing and taking into account of the actual conditions at the construction site are due.

ZUSAMMENFASSUNG

Bei jedem Bauobjekt, so auch im Tunnelbau, soll eine optimale Ausführung angestrebt werden und zwar hinsichtlich der Minimierung der Gefahren, der Beeinflussung der Umwelt, der Bauzeit und der Kosten.

Dabei bestehen zahlreiche Risiken verschiedener Natur. Der Begriff „geologisches Risiko“ wird häufig zu weit gespannt. In der Tat, soll unterschieden werden zwischen:

- dem Risiko einer Abweichung des Befundes von der geologischen Prognose, und
- den Risiken bei den Bauarbeiten, die mit den gegebenen „geologischen Verhältnissen“ zusammenhängen.

In dieser Hinsicht stellen sich drei grundsätzliche Fragen:

- zutreffen der geologischen Prognose;
- gezogene Schlussfolgerungen aus derselben bei der Planung der Bauarbeiten, und
- Bauausführung unter Berücksichtigung der tatsächlichen geologischen Gegebenheiten.

Es muss beachtet werden, dass in der Regel die geologische Prognose, insbesondere bei tiefen Bauwerken, nur eine beschränkte Genauigkeit aufweisen kann. Die Gründe dafür sind zahlreich.

Die „Baugrundprognose“ schliesst heutzutage viel mehr ein, als nur eine geologische Beschreibung des Untergrundes.

Die existierenden Hilfsmittel sind leider nur beschränkt aussagefähig und verfügbar; viele geben nur indirekte Antworten, die es dann zu interpretieren gilt. Risiken bei der Bauausführung sind nur teilweise und bedingt auf das erwähnte Risiko der geologischen Prognose zurückzuführen.

Schwierigkeiten bei der Bauausführung sind grundsätzlich auf Gasaustritte, Bergwässer und schwierige Felsverhältnisse zurückzuführen. Es ergeben sich zahlreiche Massnahmen, die ggfs. zu treffen sind.

Aus den obigen Aussagen ergeben sich einige Empfehlungen:

- möglichst zuverlässige Prognosen anstreben;
- von deren Streubereich bewusst sein,
- auf Unvorhergesehenes gefasst und vorbereitet sein;
- auf genügende Flexibilität der Baumethode achten;
- bei der Bauausführung die tatsächlichen Verhältnisse rechtzeitig erkennen, prüfen und berücksichtigen.

1 EINLEITUNG

Der Begriff des geologischen Risikos ist weitgespannt, ziemlich häufig angewendet und manchmal auch missbraucht. Er bedarf somit einer genaueren Definition.

Im Folgenden soll nur von unterirdischen Bauten die Rede sein. So werden Probleme der Gründung von Talsperren oder anderen Bauwerken, sowie diejenigen der Hangstabilität nicht berührt, sowenig wie Aspekte des Bergbaues.

Im Rahmen dieser Tagung werden tiefliegende lange Tunnel in den Betrachtungen selbstverständlich bevorzugt.

Spezifische Fragen die ohnehin in anderen Vorträgen eingehend zur Sprache kommen, werden nur gestreift.

Wie bei jedem Bauwerk soll auch für die unterirdischen Bauten eine optimale Ausführung angestrebt. Dies bedeutet, dass vorerst vier Aspekte optimiert oder entsprechende Zielgrössen minimiert werden sollen.

Es sind dies:

- Gefahren für Beteiligte und Dritte,
- Einflüsse auf die natürliche oder auf die gebaute Umwelt,
- Bauzeit (End- und Zwischentermine), sowie

- Baukosten (einschliesslich jeder Art von direkten und indirekten Nebenkosten, wie für Untersuchungen und Sondierungen).

Dabei ist klar, dass diese vier Aspekte der Bautätigkeit nicht von einander unabhängig sind noch sein können, und dass somit theoretisch nicht jeder für sich optimiert werden sollten. In der Praxis sieht es jedoch anders aus.

Ferner liegt es auf der Hand, dass viele Randbedingungen einzuhalten sind, wie:

- Projektabsichten,
- gesetzliche Vorgaben,
- behördliche Anweisungen,
- technische Richtlinien,
- Qualitätsnormen,
- vertragliche Bedingungen, und
- vieles mehr.

Aus dem Gesagten ergibt sich eine Art globaler Zielfunktion mit Randbedingungen die es zu optimieren gibt, die aber selbstverständlich in keiner Weise mathematisch definierbar ist. Selbst die relativen Gewichte der einzelnen Ziele sind schwer, wenn überhaupt, festzulegen. So, der Wert und somit auch die erträglichen und zulässigen Mehrkosten für eine allfällige Terminverkürzung, können durch eine Unmenge von äusseren Faktoren jeder Natur beeinflusst und nur im besten Falle einigermaßen abgeschätzt werden.

In Ermangelung besseren Wissens, müssen leider in der Praxis die genannten vier Zielgrössen weitreichend unabhängig von einander behandelt werden. Dies bezieht sich vor allem auf die Sicherheit der Menschen, die von den anderen Zielen losgelöst bevorzugt behandelt werden muss, da man dem menschlichen Leben kaum einen finanziellen Wert zuordnen dürfte.

Festzuhalten ist indessen, dass auf jeden Fall bei jedem der vier genannten Aspekte, Risiken bestehen, die unerwünschte Folgen haben können.

Die Frage die uns angeht wäre: welche dieser Risiken sind "geologischer" Natur?

Mathematisch gesehen ist das Risiko als Produkt der Schadengrösse mit der Eintreffenswahrscheinlichkeit definiert. Indessen kommt es leider häufig vor, dass unter Risiko einfach die Grösse eines möglichen Schadens, d.h. die nicht auszuschliessende Grösse des Schadens verstanden wird.

2 DAS GEOLOGISCHE RISIKO

Was soll man dann eigentlich unter "geologischem Risiko" verstehen?

Betrachtet man den üblichen Bauablauf eines unterirdischen Vorhabens, so kann man das sehr vereinfachte Schema des Bildes 1 aufstellen. Wobei die konzeptuellen a priori Visionen den tatsächlichen Verhältnissen gegenüber gestellt werden in der Annahme, dass das angestrebte Projekt-Vorhaben beibehalten werden kann und auch behalten wird.

Links im Schema ist die "erweiterte Prognose" für das Bauvorgehen dargestellt. Sie schliesst die eigentliche geologische Prognose im üblichen Sinne ein, aber auch die Schlussfolgerungen hinsichtlich des Projektes und der Bauabwicklung, die sich aus derselben ergeben. Es handelt sich eigentlich um eine Zustandaufnahme vor dem Baubeginn.

Auf der rechten Seite des Bildes ist hingegen die tatsächliche Bauabwicklung in verschiedenen Etappen gezeigt.

Aus dem Vergleich der verschiedenen Aktivitäten lassen sich mindestens theoretische und zum grössten Teil die Abweichungen erklären, die man in den vier Zielgrössen zwischen Erwartungen und tatsächlichen Ergebnissen feststellen kann.

Es wäre sicher viel zu einfach, und auch ungerecht, die Gesamtheit der Abweichungen der eigentlichen "geologischen Prognose" anzulasten.

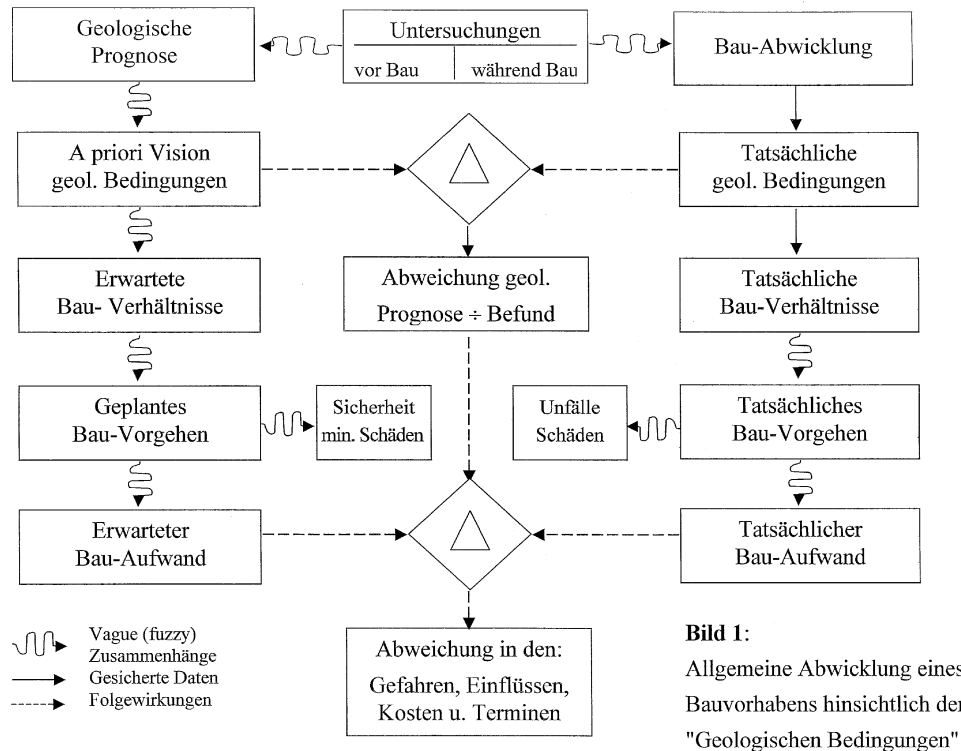


Bild 1. Allgemeine Abwicklung eines Bauvorhabens hinsichtlich der "Geologischen Bedingungen".

In der Tat, wie aus dem erwähnten Bild abzuleiten, sind grundsätzlich drei Fragen zu stellen und zwar:

- wie gut traf die "geologische" Prognose zu?
- Wie genau und zutreffend sind die Schlüsse die aus derselben gezogen wurden, bezüglich des Projektes, des Bauvorgehens, der Baumethode, der Ausschreibung und der vertraglichen Bedingungen?
- Wie optimal haben die ausgeführten Bauarbeiten die tatsächlichen Verhältnisse in Rechnung gestellt und berücksichtigt?

Zu dieser letzten Frage muss noch vermerkt werden, dass allenfalls die aufgrund der geologischen Prognose, getroffenen Entscheide - wie etwa die Wahl von bestimmten Baueinrichtungen oder Baumethoden - das Erreichen des Optimums bei der Ausführung allenfalls verunmöglicht haben könnten.

Aus der Beantwortung dieser Fragen kann die auf eine allenfalls unzutreffende geologische Prognose zurückzuführende Abweichungen bezüglich Sicherheit und Bauaufwand eingegrenzt werden, wobei wie gesehen zwischen direkten und indirekten Einflüssen zu unterscheiden ist. Unter "geologischem Risiko" im strengen Sinne sollte man daher nur die auf die bedingt zutreffende geologische Prognose zurückzuführenden Abweichungen im Bauaufwand und Sicherheit gegenüber den Erwartungen verstehen. Dies zu definieren ist zwar nicht immer eine einfache Aufgabe.

In der üblichen Praxis wird leider der Begriff des geologischen Risiko häufig eher zu weit gefasst.

Bedauerlicherweise wird nicht allzu selten jede bauliche Schwierigkeit, jedes Hindernis, oder unangenehmer Umstand als geologisches Risiko bezeichnet. In der Tat besteht das Risiko nur darin, dass diese Verhältnisse allenfalls nicht vorgesehen waren und sicher nicht darin, dass die Wirklichkeit tatsächlich auftritt und sich zeigt.

3 DIE GEOLOGISCHE PROGNOSE

Es ergibt sich indessen auch die Notwendigkeit den Begriff der sogenannten "geologischen Prognose", oder besser der "erweiterten Prognose" besser zu definieren.

Der klassische geologische Bericht, der sich in beschreibender Weise auf den allgemeinen geologischen Aufbau des durchzufahrenden Gebirges beschränkt, kann bestenfalls heute zu Tage nur eine der Komponenten der geologischen Prognose darstellen.

Die allgemeine geotechnische und felsmechanische Beurteilung der verschiedenen Formationen muss berücksichtigt werden; aber auch die für den Bau massgebende Eigenschaften des Gebirges kommen hinzu und zwar qualitativ aber, soweit möglich, auch quantitativ. Selbstverständlich beziehen sich alle diese Werte auf die festen, flüssigen und allenfalls gasförmigen Phasen des Gebirges.

Die erweiterte Prognose enthält u.a.

1. Allgemeine geologische Beschreibung des Gebirgsaufbaus
2. Geotechnische und felsmechanische Bewertung des Gebirges
 - a. Feldgrößen
 - Spannungen
 - Temperatur
 - Grundwasserträger
 - Hydrostatischer Druck
 - b. Örtliche Werte
 - Physikalische Materialeigenschaften*
 - Klüftigkeit
 - Störungen
 - Reibungswinkel und Kohäsion
 - Viskosität
 - Scher- und Druckfestigkeiten
 - Verformungseigenschaften
 - Durchlässigkeit
 - u.s.w.
 - Chemische Materialeigenschaften*
 - Zusammensetzung und Konzentrationen
 - Löslichkeit
 - Aggressivität
 - u.s.w.
 - c. Gesetzmässigkeiten (aller Eigenschaften)
 - Homogenität
 - Anisotropie
 - Korrelationen
 - Zeitliche Schwankungen
 - Streubereiche
3. Bewertung des Gebirgsverhaltens
 - Profiltypen
 - Felsklassen
 - Baumethoden
 - Bestimmungen für den Bau

Tabelle A: die erweiterte Prognose

Dabei muss zwischen "Feldgrößen" - wie etwa Spannung- und Temperaturumfelder, Grundwasserträger und - drücke einerseits - und "örtliche" Materialeigenschaften wie Klüftigkeit, Störungszonen, Reibungswinkel, Kohäsion, Viskosität, Scher- und Druckfestigkeiten, Verformungsmoduli, Durchlässigkeiten, chemische Zusammensetzungen und Konzentrationen, Homogenität, Anisotropie, und so weiter, unterschieden werden.

Alle diese Werte sind nicht unbedingt fest, sondern zahlreichen Wechselwirkungen unterzogen. Diese Aspekte sind im wesentlichen in Tabelle A aufgeführt.

Die Bestimmung der Profiltypen und der Felsklassen und dergleichen samt den entsprechenden "speziellen und Ausschreibungsbedingungen" kommen auch dazu und sind eigentliche Teile der erweiterten Prognose.

Es handelt sich bekanntlich um einen ganzen Katalog von Daten und Bestimmungen, der nicht immer einfach aufzustellen ist.

Kaum nötig zu erwähnen ist der Umstand, dass auch die Angabe des Streubereiches jedes Parameters zur Beschreibung des Gebirges gehört.

Einige grundlegende Fragen stellen sich hier: wie weit geht die Aufgabe des Geologen, wo fängt diejenige des Geotechniker und wo die des projektierenden Bauingenieurs an? Und somit auch die entsprechenden Aufgaben, Zuständigkeiten und Verantwortlichkeiten?

Es will mir scheinen, dass häufig die Grenzen ziemlich unscharf sind. Können sie aber überhaupt endgültig klar ein für alle Male festgelegt werden? Oder wie weit und wie intensiv sollen die verschiedenen Beauftragten zusammenwirken?

Ich traue mich sicher nicht an eine Beantwortung dieser Fragen heran.

4 THEORETISCH ZUR VERFÜGUNG STEHENDE HILFSMITTEL

Zu den klassischen Methoden der Feldbegehungen und der Analyse der vorhandenen geologischen Unterlagen kommen heute in grosser Anzahl neue Hilfsmethoden zur Erkundung des Gebirges hinzu, angefangen von den Luftbildern und Satellitenaufnahmen und den vielen geophysikalischen Methoden.

Es stellen sich indessen im allgemeinen Sinne zwei Hauptfragen:

- die der Interpretation und
- die der Extrapolation (die allenfalls auch eine Interpolation sein kann).

Es muss zusätzlich unterschieden werden ob direkte, eher lokale, oder indirekte, eher weitwirkende, Untersuchungsmethoden zur Verfügung stehen.

Die ersten geben gesicherte oder nur lokal gültige Werte. Sie führen zur Notwendigkeit von Inter- und Extrapolation, welche immer einen bestimmten Grad der Willkür implizieren und somit beschränkter Zuverlässigkeit sind.

Andere Hilfsmittel, wie die geophysikalischen, können zwar Daten über grosse Räume liefern, welche aber nicht unbedingt den tatsächlichen nützlichen brauchbaren Parameter entsprechen. Eine Umformung der gelieferten Werte drängt sich daher auf, die eine Verzerrung der Wirklichkeit oder zumindest ein unscharfes Abbild derselben liefern könnte.

Wenn, in einem Fall, die Druckfestigkeit des Gesteins an Probekörper aus Sondierungen in einzelnen Punkten genau ermitteln werden kann, so muss sie in anderen Fällen auf Umwege – etwa über den Verformungsmoduli, die grossräumig mit geophysikalischen Methoden ermittelt wurden – abgeschätzt werden.

Aus dem Gesagten ergibt sich, dass die verschiedenartigen zur Verfügung stehenden Untersuchungsmethoden von Fall zu Fall nach Bedarf herangezogen werden müssen.

Es ergibt sich daraus, dass selbst im theoretischen besten Falle gewisse Streuungen und Unsicherheiten in Kauf genommen werden müssen; was leider von Zeit zu Zeit übersehen wird.

5 PRAKTISCHE VERFÜGBARKEIT DER HILFSMITTEL

In der Praxis stösst jedoch der Einsatz der theoretisch zur Verfügung stehenden Mittel auf weitere Grenzen.

Die Gründe hierzu können mannigfaltig sein, wie Unzugänglichkeit der wünschbaren Bohrstellen, zu grosse Tiefe oder Distanz, ungeeigneter Gebirgsaufbau, der etwa ungünstige Wellenstreuungen verursacht, Umweltschutzmassnahmen, administrative Probleme und dergleichen.

Die schwerwiegendste Begrenzung besteht indessen häufig auf der Ebene der Kosten und des zur verfügungstehenden Zeitrahmens. Diese Umstände schränken häufig wesentlich die Aussagekraft der Untersuchungen ein.

Ein interessanter Weg scheint manchmal der Bau eines Sondierstollens entlang des künftigen Bauwerkes zu sein.

Abgesehen davon, dass selbst ein solcher Stollen etwelche vorangehende Untersuchungen und Sondierungen verlangen mag, wälzt man in erster Linie die geologischen Unsicherheiten und Risiken vom eigentlichen Bauwerk auf ein kleineres um.

Die Kosten- und Zeitargumente spielen auch in diesem Fall immer noch eine wesentliche Rolle.

Eindeutig günstiger ist die Situation wenn etwa ein "Sicherheits-" oder technischer Stollen im voraus ausgebrochen werden kann, der auch als Sondierstollen dient.

Aus dem Dargestellten ergibt sich schliesslich, dass in jedem Fall der Kenntnisse des Gebirges Grenzen aufgelegt sind, die umso bedeutender und wichtiger sind als das Bauwerk lang und tief unter der Bodenoberfläche zu liegen kommen soll.

In der Regel geht es darum ein vertretbares Verhältnis zwischen Aufwand und Sicherheit der Prognosen zu suchen.

6 HÄUFIGSTE ABWEICHUNGEN

Die Notwendigkeit anlässlich der Bauarbeiten mit Abweichungen von der geologischen Prognose rechnen zu müssen drängt sich daher auf.

Die zu erwartenden Häufigkeit und Bedeutung von Abweichungen eines gegebenen Typs sind selbstverständlich von geologischer Region zu geologischer Region verschieden. Sie sind etwa in den Alpen normalerweise häufiger und verschiedenartiger als im kanadischen oder skandinavischen Granit-Schild.

Im allgemeinen Sinne können sich die Abweichungen und Unsicherheiten etwa auf die Felsmasse selbst, auf Wasser- oder Gas-Vorkommnisse, sowie auf Spannung- und Temperaturfelder beziehen.

Bei den Felsmassen geht es vorwiegend um:

- geologische Grenzen die anders liegen als erwartet,
- Hauptstörungen die an anderen Stellen oder mit einer anderer Orientierung als vermutet auftreten;
- die ungenaue Kenntnis der Klüftigkeit (Orientierung, Häufigkeit, Scherwiderstand, Verformbarkeit);
- Festigkeit und Steifigkeit der Felsmatrix selbst;
- Anfälligkeit auf Bergschlag;
- Physikalisches-Chemisches Verhalten wie etwa Löslichkeit.

"Geometrische" Abweichungen, etwa in den Abgrenzungen zwischen verschiedenen Formationen, könne allenfalls auch andere Felstypen als die erwarteten zum Vorschein kommen lassen, wenn überhaupt möglich.

In Karstgebieten ist weiter die Voraussage der Hohlräume recht schwierig und im allgemeinen sehr unsicher.

Was das Wasser anbetrifft sind unerwartete Einbrüche nicht unbedingt eine Seltenheit. Allerdings werden sie mit der Tiefe unter Boden in der Regel weniger häufig, da die Felsspannungen rascher als die Wasserdrücke zunehmen und somit danach trachten die wasserführenden Klüfte zu schliessen.

Gas-Vorkommnisse sind an gewisse Formationen gebunden, oder hängen von bestimmten Störzonen ab.

Im allgemeinen können Abweichungen gross- aber auch klein-räumig auftreten.

7 EINFLUSS DER ABWEICHUNGEN

Dementsprechend kann der Einfluss einer gegebenen Abweichung von der aufgestellten Prognose sehr verschiedenartig gewichtig sein.

Die "diskreten" Einteilung und Beurteilung des Gebirges, wie etwa die Klasseneinteilung nach verschiedenen Baukriterien, kann die Bedeutung der Abweichung stark beeinflussen.

So kann eine auch relativ kleine "geologische" Abweichung den Übergang von einer zu einer anderen Sicherungsart – oder Ausbautyp – oder gar zu einer anderen Baumethode bedingen.

Umgekehrt können gegebenenfalls auch nicht unbedeutende Abweichungen von der Prognose wenig Einfluss haben, wenn die Bauausführung sich im Rahmen der vorgesehenen Ausbrucharten oder Stabilitätsfälle bewegen kann.

Damit soll gesagt werden, dass keine ein-eindeutige allgemein gültige Beziehung zwischen den Abweichungen in der Prognose und der Grösse der möglichen Behinderung und somit der Höhe der Baukosten sich herleiten lässt, und dass die Analyse von Fall zu Fall geführt werden muss.

8 DIE BAU-PROGNOSE

Neben den geologischen, oder besser gesagt, den erweiterten geologischen Prognosen, besteht auch die Bau-Prognose, welche die Ausgangslage für die Bauausführung bilden soll.

Es geht hier um alle jene geistigen Arbeiten, die vor dem eigentlichen Baubeginn von projektierenden oder ausführenden Ingenieure geleistet werden müssen und die der Vorbereitung der eigentlichen Bauarbeiten dienen sollen; gestützt auf die geologischen Prognose führen sie zu zahlreicher und vielfältigen Entscheidungen.

Dieselben sollen die Möglichkeit von Abweichungen zwischen Prognose und Befund berücksichtigen und somit erreichen, dass die Bauausführenden den auf allfällige Abweichungen möglichst gut gefasst und vorbereitet sind.

Eine Frage bleibt allerdings offen: bis zu welchem Grad der Abweichung?

Es geht hier sicher um einen Diskussionspunkt, der bei weitem nicht gelöst ist und wahrscheinlich nie genau quantifiziert werden wird. Sollte man auf alles gefasst sein, so wäre ja jede geologische Prognose mehr oder weniger überflüssig. Es geht viel mehr darum ein Optimum zu finden zwischen Vertrauen in die Prognose und Flexibilität der Baumethode, wobei eine Unmenge von Fällen ausgemacht werden können. Die Unsicherheit der Prognose aber auch die Schwierigkeit einer eindeutigen Beziehung zwischen Gebirgsbeschreibung und Bauausführung spielen hier somit eine Rolle.

Historisch gesehen hat dieser Umstand zur Definition von Fels- und Ausbruchklassen, Sicherungs- und Profiltypen und dergleichen geführt, die wahlweise zur Anwendung kommen sollen.

Alle diese Unterteilungen sind im Grunde genommen nur ein Versuch

- die unzähligen anzutreffenden Verhältnisse in Gruppen oder Klassen zusammenzufassen,
- den Unsicherheitsgrad einzugrenzen und
- die Streuungen in den Daten einigermaßen zu berücksichtigen und wenn möglich deren Folgen im Rahmen zu halten.

Es muss aber immer wieder vor Augen behalten werden, dass die Unsicherheiten im Untertagbau systembedingt immer höher sein werden als in anderen Sparten der Bautätigkeit.

Das geologische Risiko ist im Grunde genommen nur eine Ausdrucksform für die unvermeidliche Unsicherheit in der Kenntnis der anzutreffenden Gebirgsverhältnisse.

9 DAS BAURISIKO

Wie bereits erwähnt, wäre es aber zu einfach jedes Risiko im Untertagbau der unzutreffenden Prognose anzulasten.

In der Tat existiert eine grosse Zahl von eigentlichen Baurisiken, die selbst bei der besten Prognose weiterhin bestehen würden. Es geht häufig einfach um die Schwierigkeit die ange-troffenen Verhältnisse richtig zu beurteilen.

Ist etwa das Vorkommen von Methangas vorangesagt worden, so schliesst dies selbstver-ständiglich das Risiko oder die Gefahr einer Explosion noch nicht aus; das Risiko mag ja klei-ner ausfallen, wenn hoffentlich alle nötigen Vorkehrungen auf Grund der Warnung getroffen wurden.

Wassereinsickerungen, im Hohlraum, vorausgesagt oder nicht, können zu einer Senkung des Grundwasserspiegels führen und somit allenfalls zu Setzungen an der Terrainoberfläche mit nachteiligen Folgen, falls nicht geeignete Gegenmassnahmen getroffen werden.

Unabhängig der Prognose sollen schliesslich die anzuwendenden Baumassnahmen auf der Grundlage der effektiven Verhältnisse beschlossen und ausgeführt werden. Alle Risiken und Gefahren die im Untertagebau vorkommen können, sind ja bekannt und brauchen hier nicht aufgeführt zu werden. Sie stehen häufig im Zusammenhang mit der Geologie, aber sind auch ebenso häufig rein technischer Natur. Sie bestehen auch, wenn das Gebirge vor Augen liegt und somit jeder "Überraschungseffekt" entfällt.

10 VERMINDERUNG DER "GEOLOGISCH BEDINGTEN RISIKEN"

Die erwünschten oder vorgeschriebenen Massnahmen zur Verminderung der technischen Risiken im Untertagebau sollen hier nicht behandelt werden.

Die als geologisch bedingten Risiken bezeichnete Unsicherheiten können in drei Kategorien unterteilt werden:

- Die unvermeidlichen Abweichungen gegenüber der Voraussage, oder das nicht genaue Zu-treffen der geologischen Prognose, kann etwa zu einem nicht optimalen Projekt führen. So könnte etwa eine andere als die gewählte Trassierung günstiger sein; diese kann allenfalls zu einem grösseren Bauaufwand und indirekt zu weiteren technischen Risiken führen.
- Ähnliches kann gesagt werden, wenn, aufgrund der geologischen Vorhersage, nicht opti-male oder gar ungeeignete Baumethoden gewählt wurden und entsprechende Mehraufwen-dungen für Anpassungen oder Schwierigkeiten sich ergehen.
- Selbst wenn die auftretenden Abweichungen mit den gewählten Baumethoden und den zur Verfügung stehenden Mitteln gemeistert werden, können Mehraufwendungen erwachsen. Im gleichen Sinne wie die Mehraufwendungen entwickeln sich möglicherweise auch die technischen Risiken und die Gefahren jeder Art.

Sie werden wohl gemerkt haben, dass hier oben implizite die Annahme getroffen wurde, dass die tatsächlichen Verhältnisse ungünstiger ausfallen als erwartet. Dieser scheint der übli-che Fall zu sein. Liegt hier ein zu grosser Optimismus des Geologen oder des Projektierenden vor?

Indessen, kann sich aber auch der umgekehrte Fall einstellen, d.h. dass die Verhältnisse güns-tiger sind als erwartet. In diesem Falle wird man sich über dem Minderaufwand und der kür-zeren Bauzeit freuen und in der Regel den Umstand übersehen, dass Möglichkeiten von Ein-sparungen wegen der zu pessimistischen Prognose verpasst worden sind.

Dies kann etwa der Fall sein wenn etwa überdimensionierte Auskleidungen vorgesehen wurden oder unnötig schwere und teure Baueinrichtungen eingesetzt wurden.

Im Grunde genommen können die geologisch bedingten Risiken sich auf die vier Zielgrös-sen auswirken und zwar direkt auf Aufwand, und Bauzeit, und indirekt auf Gefahren für die Umwelt und für die Menschen, falls die geeigneten Massnahmen in Anbetracht der tatsächli-chen Verhältnisse nicht oder nicht rechtzeitig angepasst werden könnten (Bild 2).

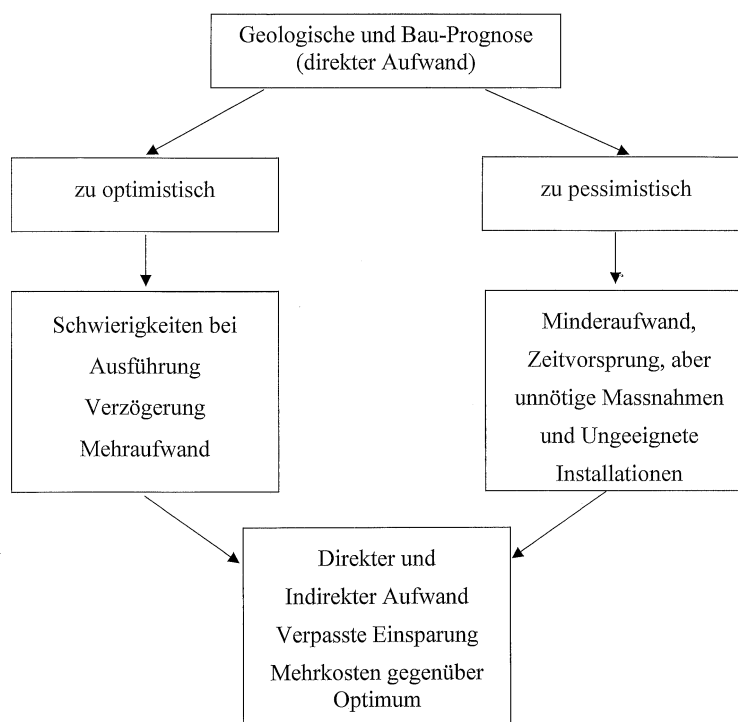


Bild 2. Abweichung des Ergebnisses vom Optimum infolge ungenauer Prognose.

Im Sinne der Verminderung der erwähnten Nachteile ergibt sich somit selbstverständlich, dass eine möglichst genaue und zutreffende Prognose angestrebt werden soll.

Ein grosses Sparpotential besteht häufig darin die Unsicherheiten der Prognose zu reduzieren und somit den erwähnten Mehraufwand zu vermindern. Dies rechtfertigt meist die Kosten und die Zeit für zusätzliche Untersuchungen.

Dass dies bei sehr tief unter der Bodenoberfläche liegende Bauwerken nicht leicht zu erreichen ist, liegt leider auf der Hand.

Eine absolute Sicherheit der Voraussage und eine vollständige Optimierung des Projektes zu erreichen ist leider kaum denkbar. Mindestens sollen aber die grössten Abweichungen und die wichtigsten Fehldispositionen vermieden werden. So soll, wenn nicht eine absolute Sicherheit der Prognose, doch eine "moralische Sicherheit" derselben erreicht werden, wie Jakob Bernoulli sich damals ausdrückte; es geht eigentlich um eine vernünftige, überzeugende Voraussage, die allerdings kaum genau zu quantifizieren ist.

In Anbetracht der schliesslich beschränkten Zutreffenswahrscheinlichkeit müssen in Projekt und in der Wahl der Baumethoden jene Flexibilitäten eingebaut werden, welche vernünftigerweise die Meisterung der unweigerlich vorhandenen Abweichungen und Streuungen erlauben sollen. Von denselben Abweichungen und Streuungen muss man daher klar bewusst sein.

Es soll auch berücksichtigt werden, dass bekanntlich nachträgliche Anpassungen einen beträchtlichen Mehraufwand verlangen und sich ungünstiger auf die Fristen auswirken als im voraus eingebauten.

11 SCHLUSSFOLGERUNGEN

Das wesentliche aus dem Gesagten kann kurz wie folgt zusammengefasst werden:

- Eine absolute Zuverlässigkeit der geologischen Prognose ist kaum zu erwarten und wäre allenfalls zu aufwendig, würde man sie erreichen wollen, vor allem wenn es sich um tief-liegende Bauwerke handelt.

- Eine sogenannte "moralische Sicherheit", d.h. eine vernünftige Zuverlässigkeit soll doch angestrebt werden.
- Sowohl Projektierenden wie Ausführenden sollen sich der möglichen Abweichungen und des wahrscheinlichen Streubereiches bewusst sein.
- Sie sollen somit auf Unvorhergesehenes gefasst sein und sich entsprechend vorbereitet haben.
- Dies schliesst die Notwendigkeit einer bestimmten Flexibilität im Projekt und in der Bauausführung ein.
- Dementsprechend ist eine ständige Überwachung und Verfolgung der geologischen Verhältnisse während der Bauausführung unerlässlich, wenn nötig durch fortgesetzte Erkundungen und laufende Verfeinerung der Prognose.

Nun, wenn ich auch viel gesprochen habe, habe ich doch nicht den Eindruck viel Neues gesagt zu haben. Vielleicht sind nur einige Tatsachen ein wenig anders als üblich dargelegt und einige allenfalls unbequeme Fragen gestellt worden.