



FGU Fachgruppe für Untertagbau
GTS Groupe spécialisée pour les travaux souterrains
GLS Gruppo specializzato per lavori in sotterraneo
STS Swiss Tunneling Society

KOSTEN IM TUNNELBAU VOM VORANSCHLAG ZUM ENDPREIS

**Vortrag an der Generalversammlung der
FGU in Zürich vom 14. Mai 2004**

Dr Ing. Giovanni Lombardi

INHALTSVERZEICHNIS

	Seite
1. EINLEITUNG	1
2. DER GLAUBE AN DEN KOSTENVORANSCHLAG	2
3. EINFLUSS DER INFORMATIK	6
4. DIE WICHTIGSTEN UNSICHERHEITEN	6
5. DIE NATÜRLICHEN UNSICHERHEITEN	9
6. VERMINDERUNG DER NATÜRLICHEN UNSICHERHEITEN	11
7. TECHNISCHE UNSICHERHEITEN	15
8. ZUSCHLAG FÜR UNVORHERGESEHENES	16
9. WAS IST EIGENTLICH EIN KOSTENVORANSCHLAG?	19
10. KOSTEN VON UNTERTAGBAUTEN	20
11. SCHLUSSFOLGERUNGEN	21

1. EINLEITUNG

In den letzten Monaten haben in den Medien heftige und spannende Auseinandersetzungen und Diskussionen zur Frage von Nachtragskrediten oder sogenannten Kostenüberschreitungen im Tunnelbau stattgefunden.

Gleich wittert man Skandale, die sich hinter den Zahlen verbergen sollten.

Bemerkenswert ist, dass wenn Kostenunterschreitungen gegenüber einem Kostenvoranschlag oder einer Budgetzahl eintreten, sich kaum jemand aufregt.

Oder manchmal doch, zum Beispiel wenn der Projektverfasser oder der Bauleiter an den Ersparnissen finanziell beteiligt oder davon betroffen ist.

Um berühmt, oder zumindest im Tunnelbau bekannt zu werden, muss man anscheinend vier Bedingungen, oder mindestens einige davon erfüllen und zwar

- Menschenopfer auf der Baustelle;
 - Schäden an der Oberfläche;
 - Zeitverzug, gegenüber dem Bauprogramm, und
 - Kostenüberschreitung gegenüber dem Kostenvoranschlag,
- zu verantworten haben.

Von allen vier Bedingungen ist die letzte, diejenige, welche in der Regel die höchsten Wellen schlägt.

In diesem Fragenkomplex spielt die eine Seite des Bildes eine sehr grosse Rolle: nämlich die Aufstellung des Kostenvoranschlags. Wir sollten sie etwas genauer anschauen.

Sicherlich werde ich ihnen nichts neues erzählen können, sondern vielleicht es nur ein bisschen systematischer tun, als dies im allgemeinen geschieht, dabei jedoch nur den baulichen Teil ansprechen. Ausgeklammert sein soll die elektromechanische Ausrüstung, die übrigens den Eindruck erweckt, einen immer grösseren Teil der Gesamtkosten zu beanspruchen.

Übrigens wäre "Kostenschätzung" entsprechend dem französischen "Devis estimatif" geeigneter, als der übliche Ausdruck "Kostenvoranschlag".

Es ist durchaus verständlich, dass die Frage der Kosten der Bauwerke im allgemeinen und der Tunnel im Besonderen grosse Beachtung findet und sogar Sorge verursachen kann. Man darf indessen nicht verhehlen, dass in unserem Lande diesen Kosten eine recht hohe Qualität der Bauwerke gegenübersteht; man kann sogar nicht allzu selten von überschüssiger Qualität sprechen. In diesem Sinne führen

bestimmte Normen und Vorschriften zur Herstellung von eigentlichen Luxusbauten. Und dies gilt an sich für alle Sparten des Bauwesens, und nicht nur für den Tunnelbau. Am einfachsten verglichen mit dem Ausland können die Kosten für Wohnbauten herangezogen werden, welche diese Tatsache vollauf bestätigen.

2. DER GLAUBE AN DEN KOSTENVORANSCHLAG

Es ist vorerst erstaunlich festzustellen, wie tief der Glaube an die Gleichwertigkeit von Kostenvoranschlag und Endpreis des Bauwerkes verankert ist. Eine, aber nur kleine, Toleranz wird zwar von Zeit zu Zeit gütigst zugestanden.

Der Kostenvoranschlag ist indessen nur eines der Elemente, die zur Beschlussfassung über das Bauwerk, insbesondere über einen Tunnel herangezogen werden. Andere Entscheidungsgrundlagen sind in etwa

- die Notwendigkeit des Bauvorhabens,
- der Wunsch nach besseren Verbindungen,
- die Schätzung des künftigen Verkehrs,
- die Entlastung von anderen Verkehrsträgern,
- die Wirtschaftlichkeit der Anlage,
- allenfalls die künftige erhoffte Rendite, oder
- der Einfluss des neuen Verkehrsträgers auf die wirtschaftliche Entwicklung des Landes oder der Region,
- der Einfluss auf den Tourismus,
- die Umweltfaktoren, die allenfalls eine Rolle spielen können, und dies alles
- ohne von allfälligen politischen Überlegungen gar zu reden.

Da alle diese Elemente der Beurteilung des Projektes äusserst unscharf sind und nur ungenau, wenn überhaupt, bewertet werden können, ist es überaus erstaunlich, dass man von einem einzigen Element, dem Kostenvoranschlag, eine grosse Genauigkeit und Zuverlässigkeit verlangt, welche allen anderen Faktoren mangeln, die auf der gegenüberliegenden Schale der Waage aufgetürmt werden.

Es ist dabei selbstverständlich, dass im Stadium des Baubeschlusses, eine möglichst genaue Kostenschätzung, sorgfältig und ehrlich wie nur möglich erarbeitet werden soll.

Dass manchmal Abweichungen von dieser Regel stattfinden – aus welchen Gründen auch – soll hier nicht verhehlt werden.

Indessen stellt sich selbst die sehr grosse Kostenüberschreitung, um etwa 100%, beim Ärmelkanaltunnel, bescheiden dar, im Vergleich zum Beispiel zu den festgestellten Abweichungen im erhofften und eingeplanten Verkehrsaufkommen und somit in der erwarteten Rendite des Eurotunnels.

Von der Schätzung des künftigen Strassenverkehrs durch den Gotthard – zwar im umgekehrten Sinne als im Ärmelkanaltunnel – soll hier gar nicht die Rede sein, denn hier geht es vorderhand um ein Missverhältnis von 7 zu 1.

Man kann sich daher die Frage stellen, woher der Glaube an die absolute Genauigkeit eines Kostenvoranschlages herrührt, und warum im Rahmen der Beurteilung des Projekts ein aussergewöhnlicher Anspruch an sie gestellt wird. Vielleicht weil man in der Epoche des sogenannten Positivismus, oder auch Determinismus genannt, der Wissenschaft und der Technik unbegrenzte Möglichkeiten zutraute.

Wenn in vielen Gebieten dieses Zutrauen mit der Zeit leider geschwunden ist, so sitzt immer noch scheinbar der Glaube fest, dass gute Ingenieure in der Lage seien, mit einer Vorausschau von 10 oder 20 Jahren genaue, endgültige Kosten zu errechnen, oder besser gesagt, den Endpreis eines Tunnelbauwerkes vorhersagen zu können. Scheinbar hat man anderen Sparten der menschlichen Tätigkeit nie ein solches Vertrauen entgegengebracht.

Wir werden jedoch sehen, aus welchen Gründen die Genauigkeit eines jeden Kostenvoranschlages beschränkt ist und sein muss. Man darf in diesem Zusammenhang bemerken, dass es höchst erfreulich wäre, wenn Regierungen, Finanzminister, Parlamente, Wirtschaftsexperten und Finanzfachleute in der Lage wären, mit nur einem Bruchteil der Zutreff-Wahrscheinlichkeit eines Kostenvoranschlages für Tunnelbauten die Staatsauslagen, die Staatskote, die Steuereinnahmen und die öffentlichen und privaten Rechnungsabschlüsse vorauszusagen und zwar auch nur für eine viel kürzere Zeitspanne. Von den Börsenanalysten spreche ich lieber gar nicht!

Es soll ferner nicht vergessen werden, dass ein Kostenvoranschlag den Preis für ein noch nicht existierendes Objekt oder Bauwerk darstellt. Eigentlich ist das ohnehin noch der Preis eines Traumes und ist somit nicht mit dem Preis eines im Handel angebotenen Objektes zu vergleichen. Ein mehrfach oder gar millionenfach erstelltes industrielles Gut basiert auf vergangenen Kosten; ein Kostenvoranschlag hinge-

gen wird auf Grund von geschätzten, künftigen Auslagen, unter unsicheren Bedingungen aufgestellt.

Ein Bauwerk ist vorerst nur eine Vision, die vielleicht ein Paar Jahrzehnte später eine andere Wirklichkeit wird als die erträumte.

Die Tatsache darf auch nicht verschwiegen werden, dass die begrenzte Voraussichtbarkeit die grundsätzliche Norm der Natur und der Welt zu sein scheint.

Im **Bild 1** ist in sehr summarischer Art die übliche, wohlbekannte, Entwicklung eines Bauvorhabens gezeigt, und zwar ohne die häufigen, normalen juristischen oder gerichtlichen Komplikationen zu berücksichtigen.

Ausgehend von einer ursprünglichen Idee, gelangt man zu einem Bauprojekt und einer Kostenschätzung, einschliesslich eines möglichen Bauprogramms, und zwar gestützt auf den nur ungenau definierten Randbedingungen, die zu einem virtuellen vorläufigen Bild des Baumfeldes führen.

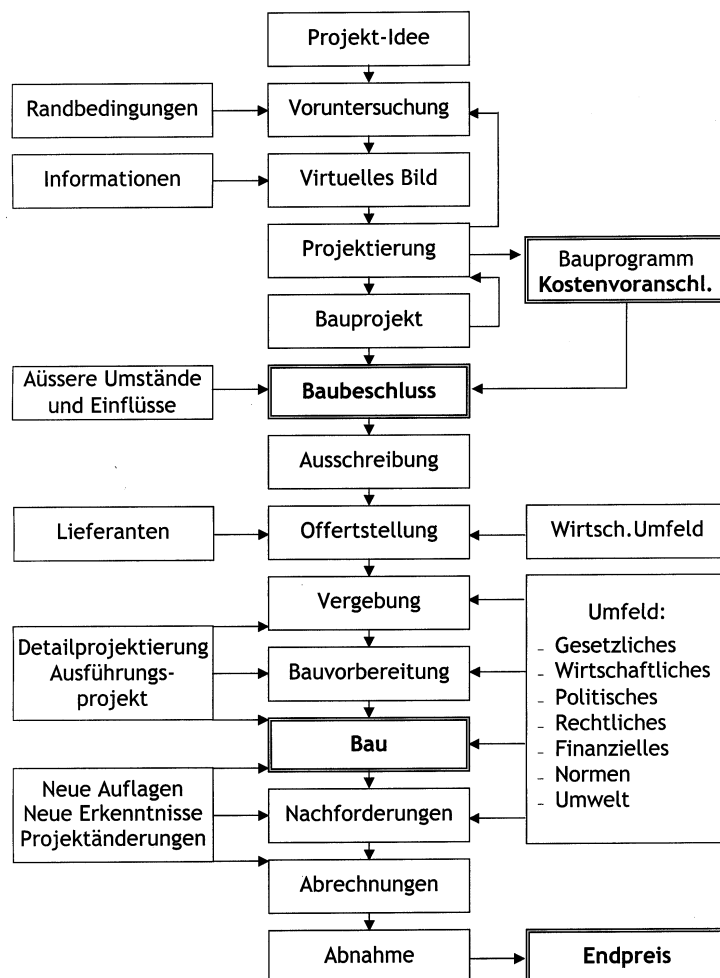


Bild 1: Vereinfachter Ablauf eines Bauvorhabens.

Auf Bauprojekt, Bauprogramm und Kostenvoranschlag gestützt, wird alsdann allenfalls ein Baubeschluss gefällt, unter globaler Rücksichtnahme auf eine Unmenge von äusseren Umständen und Einflüssen.

Wenn von juristischen Prozeduren bezüglich Oppositionen, Einwände, Rekurse und dergleichen abgesehen wird, kommt dann die eigentliche Bauphase, welche Ausschreibung, Offertstellung, Vergebung, Bauausführung und Abrechnung einschliesst, bis zur Abnahme des Bauwerkes und der Ermittlung der Endkosten oder des Endpreises.

Während dieser ganzen Prozedur sollen selbstredend neue Erkenntnisse berücksichtigt werden. Es handelt sich um Verbesserungen und Verfeinerungen des Ausführungsprojekts, um Berücksichtigung von zusätzlichen geologischen Daten, um Einbau von Änderungswünschen der Bauherrschaft - zum Beispiel nach grösserer Sicherheit - sowie von allfälligen Auflagen, die vom allgemeinen Umfeld der politischen, gesetzlichen, wirtschaftlichen, gewerkschaftlichen und umweltbedingten Komponenten herrühren. Alle diese Faktoren sind auch im Hintergrund wirksam, indem sie die Teuerung, die Finanzierungsprobleme und weitere Auslagen bedingen; all dies bei allfällig parallel verlaufenden Änderungen von Normen oder Vorschriften.

Dass alle diese Ursachen und Wirkungen nicht unbedingt nach der einfachen linearen Logik unserer üblichen ingenieurmässigen Gedankenwelt erfolgen, und dass bei jedem Schritt undeutliche und unscharfe Beziehungen auftreten, erklärt einiges. Dies um so mehr, als zwischen dem Kostenvoranschlag und der Ermittlung der Endkosten, Jahre, wenn nicht gar Jahrzehnte liegen.

In der Tat hat man zweifelsohne mit einem Problem der unscharfen Logik zu tun (Fuzzy Logic). Sollten somit die Endkosten - selbstverständlich unter Korrekturen aufgrund verschiedener Faktoren wie etwa der Teuerung und der wichtigsten Projektänderungen - dem Kostenvoranschlag entsprechen, müsste man eher von Glücksfall sprechen als von etwas Anderem.

Wenn man die Länge der Kette der Ereignisse, die zwischen den beiden Endpunkten liegt, und die seitlichen Einflüsse richtig beachtet, kommt man in der Tat hier wiederum der neuerlichen wissenschaftlichen Erkenntnis nahe; der beschränkten Genauigkeit aller dem Mensch zur Verfügung stehenden Daten und Informationen, die dazu in ein äusserst komplexes System einfliessen werden.

3. EINFLUSS DER INFORMATIK

Vielleicht, oder gar wahrscheinlich, liefert auch die Einführung, oder der Einbruch, der Informatik im Baugeschehen einen Beitrag an den Glauben an die sehr hohe Genauigkeit des Kostenvoranschlages; denn, wie könnte ein Kostenvoranschlag nicht absolut genau sein, wenn er vom Computer errechnet wurde, gestützt auf eine Lawine von Daten und Positionen? Wenn man es fertig bringt, die Oberfläche eines Sees in Quadratcentimetern anzugeben, das Volumen eines Speicherbeckens auf den Liter genau zu bestimmen, oder die Verformung einer Sperre auf den tausendstel Mikrometer genau zu errechnen, warum sollte dann ein Kostenvoranschlag für einen Tunnel nicht auf den Rappen genau stimmen?

Dabei merkt man kaum, dass es sich hier meistens um C.U.Z. (Computer unterstützte Zahlen-Spielerei) handelt. Andere sagen sogar C.A.S., d.h. "Computer Assisted Stupidity"!

In der Tat, ist ja im Bauingenieurwesen jede signifikante Stelle einer Zahl ab der vierten unsicher oder falsch. Nur auf die Nullen ist Verlass!

In der Tat, wie man anschliessend sehen wird, ist jede der Eingabedaten mit einer bekannten oder zu vermutenden Streuung versehen; somit folgerichtig muss auch der Kostenvoranschlag mit einer entsprechenden, bestimmten Unschärfe behaftet sein. Diese glaubt man - manchmal ein bisschen zu einfach - mit einem bescheidenen sogenannten "Zuschlag für Unvorhergesehenes" kompensieren zu können.

4. DIE WICHTIGSTEN UNSICHERHEITEN

Im **Bild 2** sind einige der wichtigsten Unsicherheiten aufgeführt, welche Abweichungen zwischen Kostenvoranschlag und Endkosten mindestens zum Teil erklären.

Von den Projektänderungen soll hier nicht die Rede sein, denn man versucht in der Regel deren Einfluss auf die Kosten durch eine Anpassung des Kostenvoranschlages – häufig als Zusatzkredit bezeichnet – zu kompensieren. Dabei es aber nicht unbedingt immer möglich ist, alle Folgekosten jeder Projektanpassung im Voraus zu erfassen.

Der Einfluss von bestimmten Änderungen im wirtschaftlichen Umfeld kann allerdings einigermassen, etwa durch Indexierung, in Rechnung gestellt werden, insbe-

sondere was die Teuerung anbetrifft; vorausgesetzt man kenne und verwende den richtigen Index.

- **Projektänderungen** infolge von neuen Auflagen.
- **Allgemeines Umfeld** (wirtschaftlich, gesetzlich, rechtlich, politisch, gewerkschaftlich)
- **Wirtschaftliches Umfeld** (Teuerung, Finanzierung, Konjunktur)
- **Technisches Umfeld** (Normen, Vorschriften, Auflagen, Arbeitsverhältnisse)
- **Vergabe** (Konjunktur, Konkurrenz)
- **Natürliche Unsicherheiten** (Geologie, Felsmechanik, Hydrogeologie)
- **Ungenügende Voruntersuchungen** (z.B. aus finanziellen Gründen)
- **Technische Unsicherheiten** (z.T. auf natürlichen Unsicherheiten zurückzuführen, z.B. Bewährung der gewählten Baumethoden)
- **Administrative Vorschriften** (z.B. verspätete Entscheide)
- **Lange Dauer der Arbeiten** (Änderung der Vorstellungen)
- **ungenügende Erfahrung** und unzureichenden Kenntnisse von Beteiligten
- **Menschliches Versagen** in der Ausführung
- und weiteres

Bild 2: Wichtigste und häufigste Ursachen von Abweichungen zwischen Kostenvoranschlag und Endpreis.

Änderungen und Unsicherheiten sind aber dauernd auch im technischen Umfeld möglich, indem Normen, Auflagen, Vorschriften, und dergleichen geändert oder Innovationen eingeführt werden. Sie können auf das eigentliche Baugeschehen, aber auch auf die Herstellung und die Kosten der Baueinrichtungen, einen wesentlichen Einfluss haben.

Bei der Beurteilung der Leistungen der Menschen und Maschinen auf der Baustelle sind in der Regel kleinere Abweichungen vom Idealbild in Rechnung zu stellen, als bei der geologischen Vorhersage. Immerhin können auch dort einige unerwartete Situationen vorkommen. Nicht zu vergessen, dass bei langen Bauzeiten unweigerlich ein Personenwechsel stattfindet, so dass andere Auffassungen als die ursprünglichen allenfalls zum Durchbruch kommen.

Die Auswirkungen der administrativen Handhabung des Bauvorhabens, sowie allfälliges menschliches Versagen sollen hier nicht eingehender zur Sprache kommen, da wir uns auf die natürlichen und technischen Unsicherheiten konzentrieren wollen.

Immerhin sollen noch einige weitere Aspekte des Problems gestreift werden.

Unsicherheiten und mangelnde Kenntnisse oder Erfahrungen bei den Beteiligten, insbesondere bei den Projektierenden, können sehr teuer zu stehen kommen. Die Tendenz geht aber heute leider eindeutig dahin, den billigsten Projektanten, nicht den geeignetsten, zu bevorzugen. Die auflaufenden Mehrkosten sind zuletzt so fein in den unzähligen Falten der Bauabrechnungen zerstreut, dass, wenn überhaupt möglich, sie zu ermitteln äusserst mühsam wäre. In jedem Fall kommt die Erkenntnis einer ungeeigneten Wahl in der Regel reichlich spät.

Dazu kommt, dass fallweise zugezogene Spezialisten sehr wohl ihr enges Fachgebiet ausgezeichnet beherrschen und sich zu sehr um ihre allfällige Verantwortlichkeit kümmern, ohne die volle Übersicht über das Projekt besitzen, und die Gesamtkosten beurteilen zu können.

Da eine absolute Sicherheit definitionsgemäss unerreichbar ist, besteht auch keine obere Grenze für die Auslagen, die man machen kann, um dieselbe noch ein bisschen zu erhöhen.

Ähnliches kann man von den Normen und Richtlinien sagen, die in der Regel von hochgezüchteten Spezialisten aufgestellt werden, welche häufig Maximallösungen anstreben, ohne sich für die massvolle Verwendung der zur Verfügung stehender Mittel besonders verantwortlich zu fühlen. So werden, zum Beispiel, Abdichtungsmassnahmen vorgeschrieben auch dort, wo, aller Voraussicht nach, kein Wasser zu erwarten sein wird.

In der Tat, fördern Normen, Richtlinien oder Vorschriften die Eigeninitiative von Projektanten und Bauleitern sicher kaum, weil die Wahl der grundsätzlichen Annahmen, und der Prozeduren sowie viele Entscheidungen anderen, eigentlich Unbeteiligten, am Ende überlassen werden. Dieses Vorgehen ist ja bequem und reduziert dazu die allfällige eigene Verantwortlichkeit.

Jemand hat ja gesagt: "Normen seien da, damit man nicht zu denken brauche."

Ich weiss nicht ob dies stimmt, da ich gewohnt bin auf jeden Fall zu denken.

Bei besonderen Bauten, so zum Beispiel sehr tiefen Tunneln, können auch neue Probleme auftreten, zu deren Meisterung, die Erfahrung allenfalls noch gesammelt werden muss.

5. DIE NATÜRLICHEN UNSICHERHEITEN

Jeder Parameter, den wir in unseren Überlegungen und Berechnungen einführen, ist - wie bereits gesagt - mit einer bestimmten Streuung behaftet, die eine entsprechende Unsicherheit im Endergebnis, d.h. in den Kosten bedingt.

Die Unschärfe, die sich in den Daten zeigt, stellt sich eigentlich aus zwei Anteilen zusammen:

- die natürliche, objektive Streuung des Wertes, und
- die subjektive, ungenaue Kenntnis, die wir von der diesbezüglichen Wirklichkeit haben. Es handelt sich somit um eine epistemische Schwierigkeit, die zum Beispiel von der Verfügbarkeit einer ungenügenden Anzahl Messwerten herrühren kann.

Eine häufig festgestellte Ursache von Mehrkosten wird mit dem Beiwort "geologischer Natur" bezeichnet. Es handelt sich im wesentlichen um Abweichungen zwischen der Prognose und dem tatsächlichen Befund während des Baues. Diese Abweichungen beziehen sich, entsprechend **Bild 3** auf geologische Grenzen zwischen verschiedenen Formationen, oder im Falle von Störungen auf deren Anzahl, Ort, Mächtigkeit oder Orientierung.

Auch die felsmechanischen Eigenschaften der entsprechenden Gesteine (unter Umständen Lockergesteine), der natürlichen Spannungszustand und die hydro-geologischen Verhältnisse, das heisst im wesentlichen die Karsterscheinungen oder die Durchlässigkeiten können Abweichungen zeigen.

- | |
|---|
| <ul style="list-style-type: none">- Grenzen zwischen geologischen Formationen
(allenfalls unerwartete Formationen)- Hauptstörungen (Anzahl, Ort, Streichen, Fallen, Mächtigkeit)- Felsmechanische Eigenschaften (Festigkeit, Moduli, Zähigkeit, Quarzanteil, Langzeitverhalten, Löslichkeit)- Spannungszustände- Hydrogeologische Probleme (Karst, Durchlässigkeit, Wasserzufluss) |
|---|

Bild 3: Wichtigste und häufigste Abweichungen von der geologischen Prognose im Tunnelbau.

Schwierigkeiten können auch daher kommen, dass die Felsproben nicht immer in einer dem künftigen Bauwerk entsprechenden Tiefe entnommen werden können und, dass zur natürlichen Unsicherheit die Wirkung der Handhabung der Probestücke und die Streuung der Versuche selbst hinzukommen. Dazu kommt, dass nicht immer eindeutige Skaleneffekte vorkommen.

Dass nicht immer die wirklich nützlichen Parameter bestimmt werden, sondern häufig diejenigen, die am einfachsten zu ermitteln sind, mag dahin gestellt werden. Zu berücksichtigen ist auch der Umstand, dass die mit der Ermittlung der Kennwerte beauftragten in der Regel die Übersicht über das Projekt nicht besitzen können.

Vor allem bei langen und tiefen Tunneln sind solche Abweichungen immer wieder festzustellen. Einige Beispiele aus jüngster Zeit können erwähnt werden. So ist im Lötschberg-Basistunnel vor kurzem eine Karbon-Zone an einer Stelle aufgetreten, wo man mit kristallinem Gebirge gerechnet hatte.

Unerwartete wichtige Störungen sind etwa in der Multifunktionsstelle in Faido des Gotthard-Basistunnels gefunden worden.

Die felsmechanischen Eigenschaften des Gebirges selbst können aber auch zu Überraschungen führen.

Während der erste Ablauftunnel des Kraftwerkes Manapouri in Neuseeland ohne Schwierigkeiten im Sprengvortrieb ausgeführt werden konnte, hat der Bohrvortrieb des zweiten, in kurzer Distanz liegenden Tunnels, etwelche Schwierigkeiten verursacht, die auf das Gesteinsgefüge zurückzuführen waren. Das Vorhandensein von Gesteinstypen ganz unterschiedlicher Härte im dichten Wechsel, verursachte starke Vibrationen, die den Vortrieb beeinträchtigten. Dieser petrographische Umstand hatte keinen nachteiligen Einfluss auf den Sprengvortrieb gezeigt.

Die hydro-geologischen Probleme, die mit Karstvorkommen zusammenhängen, sind wohlbekannt. Erwähnt sei zum Beispiel der Fall des Druckstollens Pueblo Viejo in Guatemala, wo das Zusammenwirken von Karst im unterliegenden Kalk und vom löslichem Anhydritgestein der darüberliegenden Formation, zu äusserst schwierigen Problemen und Mehrkosten geführt hat.

Dies, um nicht den Fall eines berühmten Geologen zu erwähnen, der in Florida über ein Karstproblem auf einer Baustelle im fernen Lande tief sinnte und die plötzliche Bildung einer Doline im eigenen Garten erleben dürfte.

Die beschränkte Kenntnis der geologischen und insbesondere der felsmechanischen Eigenschaften kann zu Fehlbeurteilungen führen, so insbesondere bei der Wahl der Baumethode. Der Fall des Tunnels Manapouri ist bereits erwähnt worden. Andere Fälle, bei welchen der Bohrvortrieb zu Gunsten des Sprengvortriebes aufgegeben werden musste, sind bekannt, wie zum Beispiel im talseitigen Abschnitt des Druckstollens Casecnan in den Philippinen. Dass solche Umstellungen bedeutende Mehrkosten verursachen können, ist wohl leicht einzusehen.

Es brauchen aber nicht unbedingt solch ausgeprägte Zustände aufzutreten, um bedeutende unvorhergesehene Auslagen gegenüber dem Kostenvoranschlag zu verursachen.

6. VERMINDERUNG DER NATÜRLICHEN UNSICHERHEITEN

Zur Verminderung der natürlichen Unsicherheiten stehen viele Methoden zur Verfügung die hier nicht behandelt zu werden brauchen: sie gehen von geophysikalischen Messungen bis zu Probeentnahmen aus Sondierbohrungen und gar zum Ausbruch von Sondierstollen entlang der Tunnelachse. Diese Untersuchungen verursachen Kosten die möglicherweise bedeutend sein können.

Bezüglich ihres Zweckes kann man sie in drei Gruppen einteilen, gemäss **Bild 4**.

<p>Untersuchungen durchgeführt</p> <ul style="list-style-type: none">- zur Optimierung des Projektes (Projekt- und kostenwirksam)- zur Optimierung der Bauarbeiten (Vorwarnung, kostenwirksam)- zur Ermittlung der Kosten ohne deren Beeinflussung (Abrechnung, Vorschau auf Kosten und Termine, etc.)
--

Bild 4: Zweck von geologischen und felsmechanischen Untersuchungen.

Vor Baubeginn, am besten gar vor Baubeschluss ausgeführt, haben solche Untersuchungen vorwiegend den Zweck, das Projekt mitsamt des Kostenvoranschlages zu optimieren. Sie beeinflussen somit das Projekt und die Baukosten. Als Beispiel kann man die für den AlpTransit Gotthard-Tunnel ausgeführten Untersuchungen nennen, welche zu einer S-förmigen Trassierung geführt haben (**Bild 5**). Es ging

darum, die ungünstigen Zonen, die Pioramulde und das Tavetscher-Zwischenmassiv, an den möglichst schmalsten Stellen zu kreuzen.

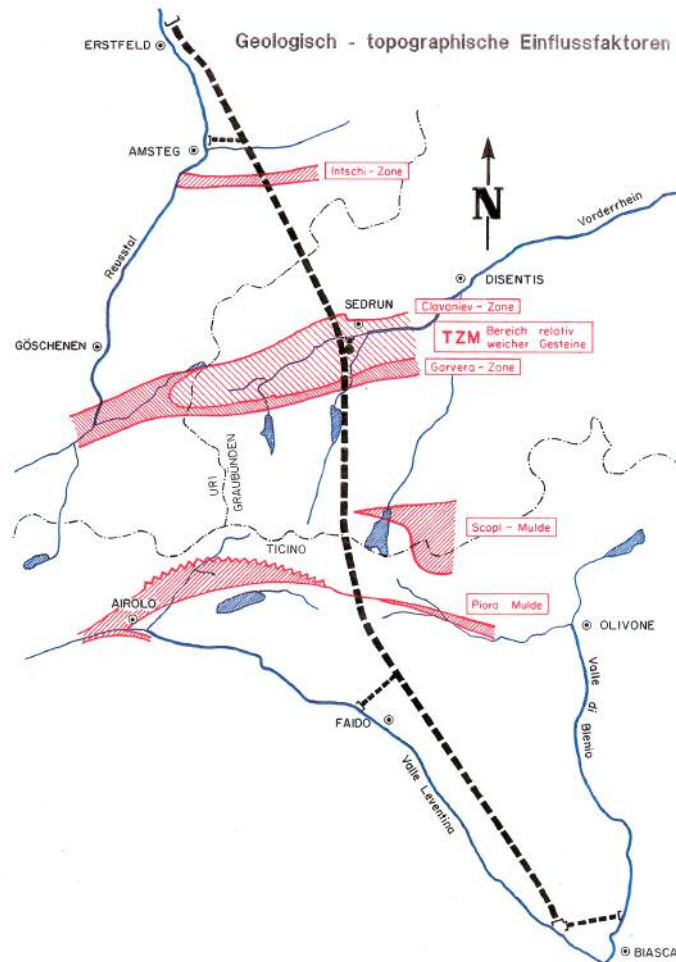


Bild 5: Geologische Gründe für Trassierung des ATG-Basistunnels.

Die sehr hohen in Kauf genommenen Kosten von über 100 Mio CHF der Sondieranlage in der Pioramulde, hatten eigentlich die Aufgabe die Machbarkeit des Gotthard-Basistunnels überhaupt abzuklären (**Bild 6**).

Eine zweite Gruppe von Untersuchungen, die während der Bauarbeiten durchgeführt werden, haben den Zweck, dieselben zu optimieren. Sie können somit kosten-wirksam sein. Als Beispiel kann man Vorbohrungen an der Brust, um etwa die Gefahr von Wassereinbrüchen im karstigen Gestein, Hauptstörungen oder dergleichen rechtzeitig zu erkennen, erwähnen. Sie haben den Zweck, die nötigen Vorkehrungen für eine Anpassung des Tunnelprofils oder der Baumethoden an neue Gegebenheiten zu erlauben und eine Überwindung der Schwierigkeiten zu ermöglichen.

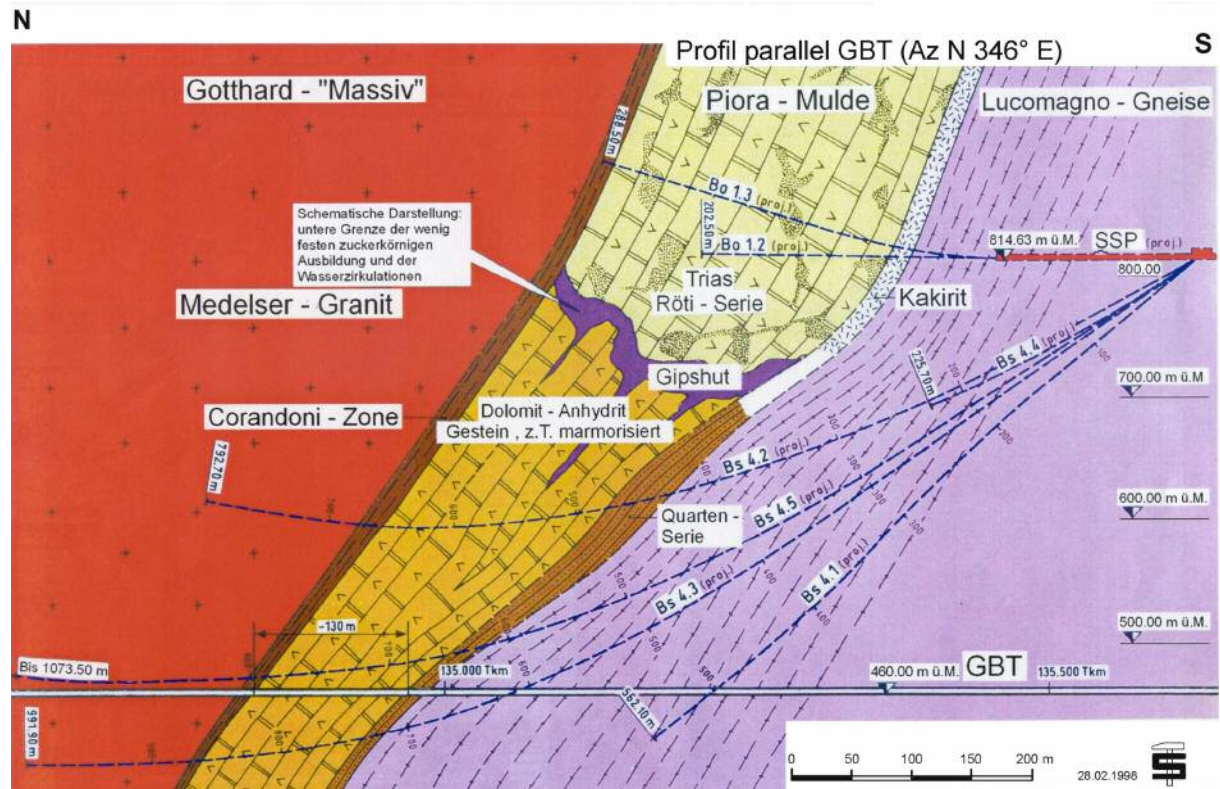


Bild 6: 6 km langer Zugangsstollen und Sondierbohrungen in Pollegio für den ATG-Basistunnel.

Es gibt ferner eine dritte Gruppe von Untersuchungen, die wohl nützlich sein können, die aber keinen Einfluss auf das Baugeschehen und somit keine Wirkung auf die Endkosten haben. Eine Vorbohrung ab der Brust in einem anständigen Felsen, die nur den Zweck der Vorschau auf die Klüftigkeit im nächsten Tunnelabschnitt hätte, mag wohl die Voraussage der Klasseneinteilung – zum Beispiel zwischen Klasse 1 und 2 – erlauben und die Kenntnis der voraussichtlichen eigentlichen Ausbruchskosten liefern, beeinflusst dieselbe indessen nicht, wenn die Möglichkeit oder die Notwendigkeit nicht besteht, besondere Vorkehrungen zu treffen. Solche Untersuchungen mögen auch zum Zwecke der Abrechnung interessant und für theoretische Studien, oder gar zur Archivierung zu Gunsten von allfälligen künftigen Bauvorhaben, nützlich sein. Als Beispiel kann man die geologische Detailaufnahme nach dem Aushub erwähnen.

Ihre Absicht ist es eigentlich, die genauen vertragskonformen Kosten zu ermitteln, oder sie zu bestätigen, nicht aber sie reduzieren zu helfen.

Vom theoretischen Standpunkt aus, sollte für jegliche Untersuchung eine vorausgehende Kosten/Nutzen-Analyse aufgestellt werden.

Eine solche Voranalyse ist allerdings im Allgemeinen äusserst schwierig und fragwürdig, denn der Wert der Erkenntnisse kann meistens nur im Nachgang beurteilt werden. Denn, wenn keine Unbestimmtheit zu lösen wäre, hätte die Untersuchung gar keinen Sinn; dies ohne das Risiko der Untersuchung selbst in Rechnung zu stellen, sowohl bezüglich ihrer Kosten, als auch der Treffsicherheit und Zuverlässigkeit der Ergebnisse. Nicht wenige sind die tiefen Bohrungen, die das vermutete und allenfalls reelle Problem verfehlt haben. Erwähnen kann man, unter anderen, die sehr kostspielige Tiefbohrung am Lukmanier, welche 1972 die Kote des Gotthard-Basistunnels nicht hat erreichen können und die Piora-Mulde verpasste.

Sicher mit zahlreichen Ausnahmen, steht somit scheinbar als Entscheidungshilfe für solche Untersuchungen vorwiegend die Intuition des Geologen und allenfalls des Ingenieurs zur Verfügung.

Dies alles soll selbstverständlich nichts gegen genügend ausgedehnte und genügend zahlreiche Untersuchungen aussagen, sondern nur eine Warnung sein vor allzu grossem Optimismus, insbesondere im Falle von tiefliegenden Bauwerken.

Wenn ein Problem im Tunnelbau auftritt, hört man jedoch häufig die Frage, warum man nicht an der entsprechenden Stelle gebohrt hätte. Die Antwort ist in der Regel sehr einfach; "weil niemand gewusst hatte, dass das Problem eben dort liegen würde"! Nun, die Bohrung hätte zwar das Problem nicht eliminiert, hätte aber vielleicht die Möglichkeit eröffnet, es anders, allenfalls kostengünstiger, anzupacken.

Dass selbst sehr ausführliche und ausgedehnte Untersuchungen nicht immer zu einer Lösung aller Probleme führen, zeigt das einfache bereits alte Beispiel des Umlaufstollens des Ausgleichsbeckens Val d'Ambra der Anlage Nuova Biaschina. Um sicher zu stellen, dass der etwa 400 m lange Stollen ganz im Fels durchlaufen würde, sind in 25 m Abstand vertikale Bohrungen durch die Lockergesteinsüberlagerungen abgeteuft worden. Eine solche doch recht intensive Untersuchung hat nicht vermeiden können, dass eine tiefe von Geröll gefüllte Furche verfehlt wurde, welche doch beim Vortrieb zum Vorschein kam.

Selbst viel weniger dichte Serien von Sondierbohrungen sind, selbstverständlich aus Kosten und anderen Gründen, für alpendurchquerende Tunnel ohnehin gar nicht denkbar.

In der Tat scheint die allgemeine Erfahrung zu zeigen, dass in der Regel eher zu wenige als zu viele Untersuchungen vor Baubeginn ausgeführt wurden. Aber dies ist ja auch wiederum nur eine Feststellung "post festum".

Es verbleiben, wohl bemerkt, einfache Fälle, bei welchen sich jede spezielle Untersuchung erübrigt, so etwa wenn es sich um einen kurzen Tunnel in untiefer Lage in einem wohlbekanntem homogenen Gebirge handelt.

Ähnlich eindeutige Verhältnisse würden etwa für die zweite Röhre des Gotthard-Strassentunnels - die ohnehin einmal kommen müssen - zutreffen, weil die Erkenntnisse aus der ersten Röhre und dem parallelverlaufenden Sicherheitsstollen vollauf genügen sollten, um geologische Überraschungen auszuschliessen. In diesem Fall würden allfällige Kostenüberschreitungen sicher nicht geologischen Problemen angelastet werden können.

Die ingenieurmässige Tätigkeit im Zusammenhang mit allen den möglichen Untersuchungen dreht sich im Wesentlichen um die Gewinnung, Sammlung und Auswertung von Informationen. Die Frage der Auswertung selbst kann jedoch auch eine heikle sein. Sogar eine elementare Operation wie die Mittelwertbildung von felsmechanischen Kennwerte ist nicht so eindeutig wie sie aussehen mag:

- soll man z.B. die Steifigkeiten oder die Verformbarkeiten des Gebirges mitteln?
oder
- soll man den Mittelwert aus den Reibungswinkeln oder aus deren Tangenten bilden?

Ähnliche Überlegung gelten für das Streumass jeder Variable.

Dies wiederum nur als Beleg der allgemein bestehenden Unschärfe der zur Verfügung stehenden Daten.

7. TECHNISCHE UNSICHERHEITEN

Wie bereits erwähnt, kann eine ungenügende Kenntnis der geologischen Gegebenheiten und der mechanischen Eigenschaften des Felsens zu Fehlbeurteilungen führen, und somit zur Wahl eines nicht optimalen Bauvorganges. Das Risiko scheint besonders ausgeprägt bei der Anwendung von starren Baumethoden, wie etwa mittels Tunnelbohrmaschinen.

Dazu kommt, dass technische Innovationen auch im Baubereich nicht immer das halten, was sie am Anfang zu versprechen schienen.

Fälle sind zu Genüge bekannt, bei welchen die erhofften und versprochenen Vortriebsleistungen nicht erreicht worden sind, noch werden. Das Problem soll aber hier nicht weiter verfolgt werden.

8. ZUSCHLAG FÜR UNVORHERGESEHENES

Es ist bekanntlich üblich, ausgehend von den errechneten Mengen bei der Aufstellung des Kostenvoranschlages, zum gerechneten Total einen bestimmten Betrag zuzuschlagen zur Berücksichtigung von sogenanntem "Unvorhergesehenem", dessen Höhe allerdings in der Regel etwas schematisch pauschalisiert wird. Dieser Zuschlag sollte, meiner Meinung nach, dem Masse der Unsicherheit oder dem Streumass der Kenntnisse entsprechen.

Jemand hat einmal vorgeschlagen, im Tunnelbau die errechneten Kosten einfach zu verdoppeln, um sicher zu sein, dieselben nicht zu überschreiten.

Abgesehen davon, dass auch dieser Betrag in einzelnen Fällen überschritten werden kann, hätte ein solch zu reichlicher Zuschlag zwei nachteilige Effekte:

- in erster Linie würden unnötig finanzielle Mittel für eine lange Zeit gebunden und somit anderen Projekten entzogen, und
- die Zurverfügungstellung von allzu bequemen Margen wäre sicher kein Ansporn für ein wirtschaftlich sparsames Handeln, da der gesunde Leistungs- und Kostendruck während der Projektierung und dem Bau entfallen würde.

Ohne genaue Zahlen anzugeben zu wollen, können aus dem **Bild 7** einige Hinweise herausgelesen werden, die sich nur auf die geologischen Faktoren beziehen.

So, sollten für Tunnel je nach Verhältnissen, sehr kleine bis sehr grosse Zuschläge in Frage kommen.

Es wird hier die Meinung vertreten, dass zur Berücksichtigung von geologischen Unsicherheiten ein vernünftiger Zuschlag zu den errechneten Kosten in Rechnung gestellt werden sollte, welcher die Art des Bauwerkes und die Zuverlässigkeit der geologischen Prognose berücksichtigt, sowie auch die tatsächlichen oder vermuteten Unsicherheiten widerspiegelt.

Dass dabei ein gewisser Spielraum für eine willkürliche subjektive Abschätzung deren Grösse besteht, soll allerdings nicht verschwiegen werden.

Ferner, müssen auch andere Unsicherheiten, über jene der Geologie hinaus, berücksichtigt werden.

Weiter, könnte sich die Frage stellen, ob ein Kostenvoranschlag nicht als oberste Grenze, sondern eher als Mittelwert der voraussehbaren Kosten unter Angabe eines als angemessen anzugebenden Streubereiches verstanden werden sollte.

Bauwerk (Beispiele)	Zuschlag im Kostenvoranschlag für "Geologie"		
	klein	mittel	gross
Normaler Hochbau	[Bar chart showing a small bar in the 'klein' category]		
Tiefe Fundationen	[Bar chart showing a bar spanning from 'klein' to the start of 'mittel']		
Brücken	[Bar chart showing a bar spanning from 'klein' to the middle of 'mittel']		
Sperren	[Bar chart showing a bar spanning from 'klein' to the end of 'mittel']		
Kurze, einfache Stollen	[Bar chart showing a bar spanning from 'klein' to the middle of 'mittel']		
Lange, tiefe Tunnels	[Bar chart showing a bar spanning the entire 'klein' and 'mittel' categories]		

Bild 7: Zuschlag für Unvorhergesehenes aus "geologischer" Sicht. Bauwerk auf oder im Fels (Schätzung).

NOTA: Zuschläge aus anderen als geologischen Gründen sind hier nicht berücksichtigt.

Der unternommene Versuch ist somit sicher auch erwähnenswert, dem Endpreis eines Tunnels und der vermutlichen Bauzeit durch eine eingehende Analyse aller denkbaren Einzelunsicherheiten aufgrund einer Monte Carlo-Methode näher zu kommen. Für jede "vague" Variable soll eine dreieckförmige Wahrscheinlichkeitsverteilung, wie aus dem **Bild 8** zu entnehmen, gelten.

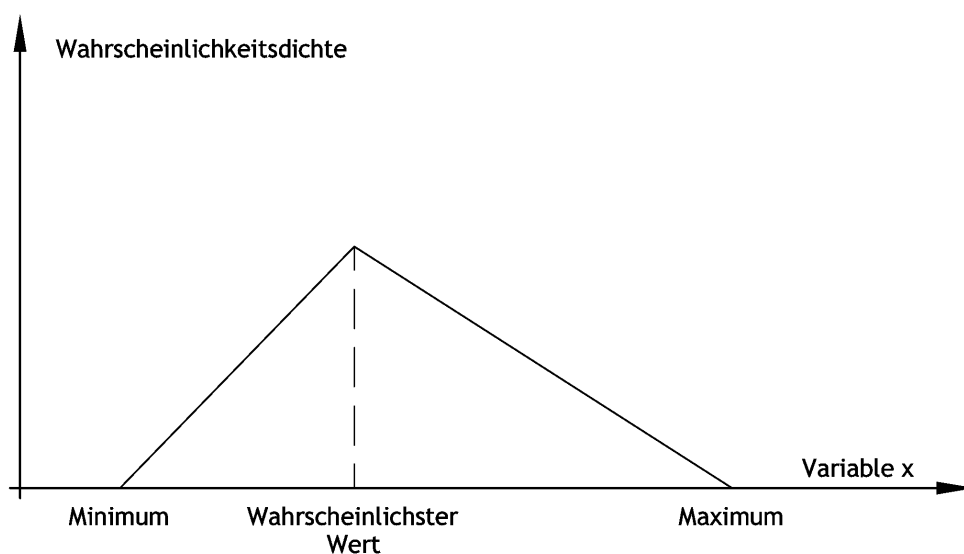


Bild 8: Dreieckförmige Wahrscheinlichkeitsverteilung einer "unscharfen" Variable als Unterlage für die Monte-Carlo-Analyse.

Es werden somit für jede Grösse,
 – ein minimaler,
 – ein maximaler, und
 ein wahrscheinlichster Wert geschätzt.

Bild 9 zeigt einen Versuch, welcher von J. P. Dudt an der ETH Lausanne für den Gotthard-Basistunnel durchgerechnet wurde, unter Einbezug einer grossen Zahl von Einzelunsicherheiten. Auf dem Mittelwert bezogen, ergäbe sich eine Bandbreite der Abweichungen von 24% oder 18% für die Bauzeit und von 18% oder 12% für die Kosten, je nachdem die Pioramulde berücksichtigt wird oder nicht.

Man kann sich allerdings fragen, welche von allen den gerechneten Kombinationen die wahrscheinlichste sei und welche als Grundlage für den Baubeschluss verwendet werden soll. Die Extremwerte weisen ja, mindestens theoretisch, eine verschwindend kleine Wahrscheinlichkeit auf. Der Mittelwert ist nicht unbedingt der wahrscheinlichste. Die Einzelwahrscheinlichkeiten der verschiedenen Faktoren müssen selbsterständlich zum Teil willkürlich angenommen worden.

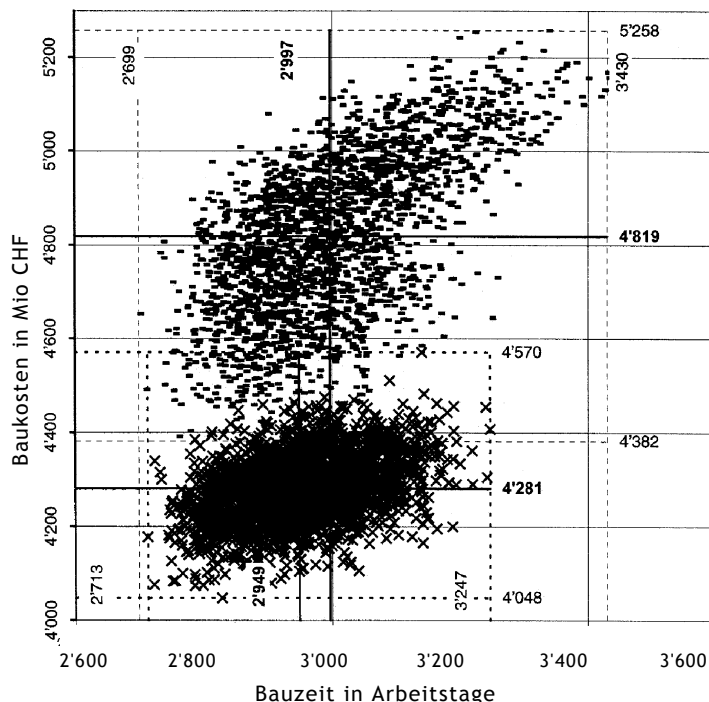


Bild 9: Streuung der Bauzeit und der Baukosten für den ATG-Tunnel nach J.P. Dudt 1996/1997
 - mit Piora-Mulde
 x ohne Piora-Mulde

Es kommt auch der Verdacht auf, ob nicht mit dieser Methode die Gefahr bestehe, die Willkür in der Wahl der Zuschläge einfach auf eine Unmenge von einzelnen Annahmen aufzuteilen und so zu verwässern, so dass sich niemand mehr zurecht finden kann, mit Ausnahme vielleicht des Computers, der ja nicht zu denken braucht.

9. WAS IST EIGENTLICH EIN KOSTENVORANSCHLAG?

Nach dem bis dahin Gesagten, kommen unweigerlich Zweifel auf, was eigentlich ein Kostenvoranschlag sei, sein sollte oder sein kann. Im **Bild 10** sind stichwortartig einige Definitionen aufgeführt, auf welche nicht im Detail eingegangen werden soll.

Sie reichen von einem "festen endgültigen Wert" bis zu einer "vernünftigen anpassungsfähigen Schätzung" des Endpreises des Bauwerkes.

Bevor man über allfällige künftige Kostenüberschreitungen diskutiert, sollte man sich über diese Begriffe einigen; es sei denn, man wolle "Zündstoff" für künftige ungeschlüssige Streitereien sorgfältig aufbewahren und speichern.

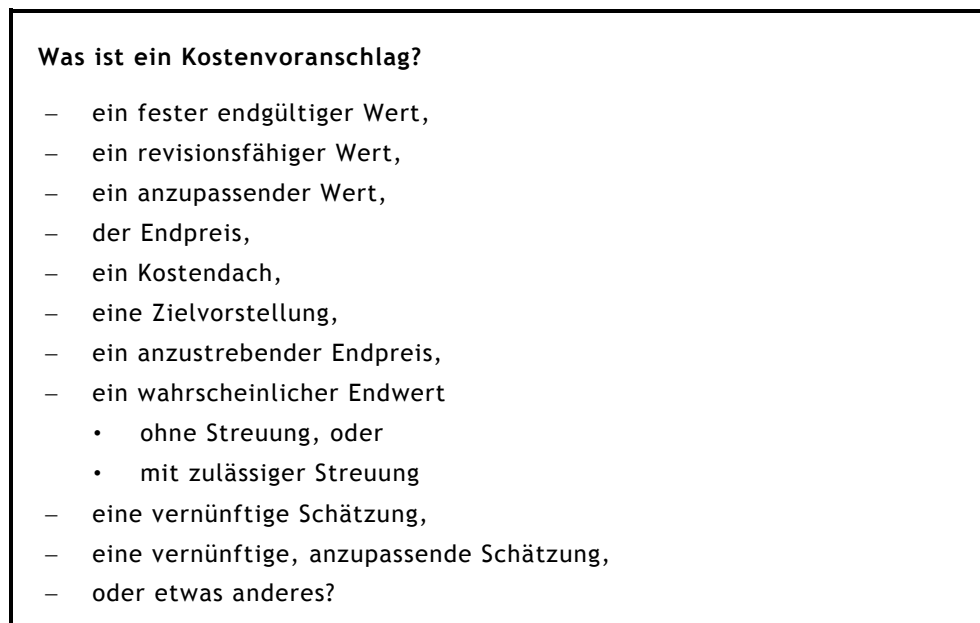


Bild 10: Mögliche Definitionen des Kostenvoranschlages

Nach üblicher Leseart, wäre der Begriff "Kostendach" nicht auf die Baukosten anwendbar, da anscheinend für die Ingenieurhonorare reserviert.

10. KOSTEN VON UNTERTAGBAUTEN

Ich bin wahrscheinlich zu lange auf die Frage des Kostenvoranschlags herumgeritten, so dass mir die Zeit fehlt, über die tatsächlichen Kosten von Untertagbauten zu sprechen.

Es soll bloss bemerkt werden, dass bezüglich Wirtschaftlichkeit im Laufe des letzten Jahrhunderts viel grössere Fortschritte im Untertagbau, als in allen anderen Sparten der Baukunst gemacht worden sind.

Dies führt dazu, dass die Kosten von im anständigen Fels "ausgehobener Raum" sich durchaus vergleichen lassen mit denjenigen vom "umbauten Raum" im Hochbau.

Die an Wichtigkeit gewinnenden Umweltprobleme und diejenigen der "Sicherheit" werden sicher noch zusätzliche Argumente für Lösungen unter dem Boden darstellen. **Bild 11** zeigt ein bekanntes Beispiel von unterirdischen grossen Anlagen.

Es lässt sich vermuten, dass andere folgen werden, wobei viele Nutzungen für "ausgehobenen Raum" denkbar sind.

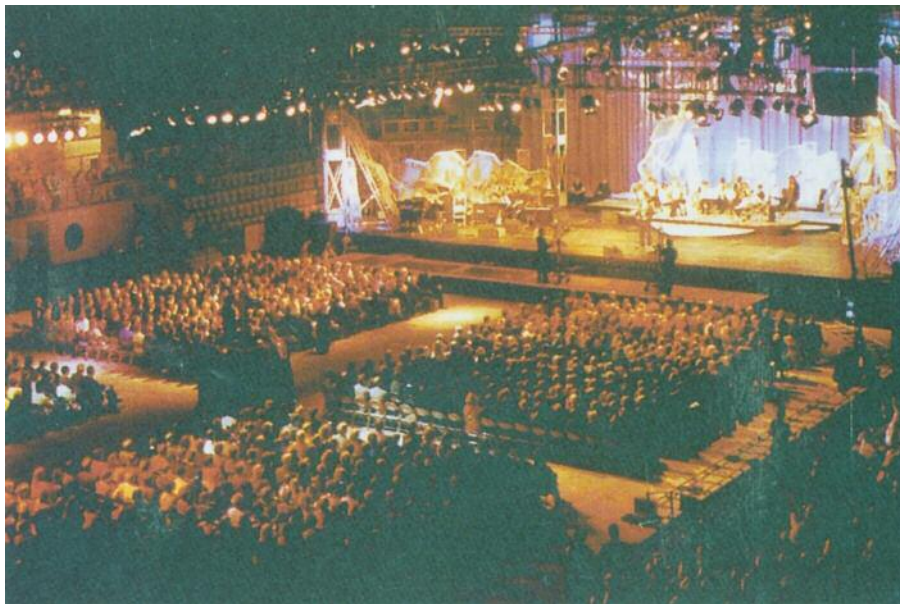


Bild 11: Unterirdische Sportanlage Gjørvik, bei Lillehammer, Norwegen.

Vor Jahren hat zum Beispiel der Fall Lucens gezeigt, dass Anwendungen im Kernenergiebereich durchaus denkbar sind. Neue Kernkraftwerke sind ohnehin in der Zukunft in vielen Ländern unverzichtbar. Vielleicht bieten sich, früher als man denkt, neue Möglichkeiten auch in diesem Sektor.

Vor- und Nachteile für beide Bauweisen werden sicher in vielen Fällen abzuwiegen sein (**Bild 12**).



Bild 12: Vor- und Nachteile von unterirdischen Anlagen sollen abgewogen werden.

11. SCHLUSSFOLGERUNGEN

Wie wir gesehen haben, sind zwischen Kostenvoranschlag - oder besser gesagt Kostenschätzung vor Baubeginn - und dem Endpreis des Bauwerkes in der Regel Abweichungen festzustellen, die nicht allzu sehr überraschen sollten. Wenn man die lange Kette der mit Unsicherheiten und Streuungen behafteten Ereignisse beachtet, welche zwischen dem Anfangs- und dem Endwert liegen, sowie die in der Regel sehr grossen Zeitspannen, die verstreichen, sieht man das Problem ein.

Von den Ingenieuren, welche die Kostenschätzung aufstellen, sollte man zudem kaum wahrsagerische Fähigkeiten erwarten, sondern nur eine sorgfältige, gewissenhafte, ehrliche und vorurteilsfreie Beurteilung des Projektes und des Umfeldes.

Dazu muss:

- einerseits eine sorgfältige, vollständige und möglichst genaue Berücksichtigung von äusseren Einflüssen, wie geänderte Ansprüche oder geänderte Randbedingungen während der Detailprojektierung und der Bauausführung stattfinden, und
- andererseits die Grösse des einzusetzenden Betrages für Unvorgesehenes eingehender studiert und flexibler gestaltet werden als heut zu Tage üblich. Dies unter Berücksichtigung von allen massgebenden Umständen, wie Typ und Besonderheiten des Bauwerkes, Dauer der Bauausführung, sowie, von Fall zu Fall, von speziellen Faktoren.

In Sachen des Kostenvoranschlages wollen wir somit nicht mit dem Dichter sagen:
"Und schier will mir das Herz verbrennen zu sehen, dass wir nichts wissen können",
sondern uns darüber freuen, dass wir die Kosten doch einigermaßen zu schätzen
wissen.

Und vergessen soll man auch nicht, dass

- "Erstens kommt es anders, und
- zweitens als man denkt"!