

VORTRAG VOM 14. MAI 2009

Zürich “50 Jahre CRB”

Anforderungen und Grenzen in der Entwicklung von
Grosbauprojekten am Beispiel des Gibraltartunnels

Von Dr Ing. Giovanni Lombardi

INHALTSVERZEICHNIS

Seite

1.	EINLEITUNG	1
2.	BEGRIFFE	1
3.	DIE PIORA MULDE	2
4.	DIE EUROPA-AFRIKA VERBINDUNG	3
5.	DER GIBRALTARTUNNEL	5
6.	DIE KREUZUNG DER BRECCIEN	6
7.	ZUSAMMENFASSUNG	8

1. EINLEITUNG

Zuerst möchte ich bestens danken für die freundliche Einladung heute hier, anlässlich dieses Jubiläums, etwas über die Grenzen der Machbarkeit im Tiefbau vortragen zu dürfen.

Vor kurzem hat ein Vertreter einer Bauherrschaft, als ich ihm von Zweifeln über einige besondere Punkte eines Projektes erzählte, sehr überzeugt behauptet "Heute sie doch alles technisch machbar".

Ich konnte ihm ohne Schwierigkeiten erklären, dass man wohl sehr tiefe Schächte im Erdreich abteufen kann, aber auch, dass kaum ein menschliches Wesen je das Zentrum der Erde erreichen würde und zwar aus Gründen, die man sich sehr wohl vorstellen kann.

Einstein sagte sehr trefflich, alles sei beschränkt mit einer oberen und einer unteren Grenze, die nicht überschritten werden können. Eine Ausnahme mache nur die menschliche Dummheit – und man könnte hinzufügen – auch die Illusionen, die man sich auch im Tiefbau manchmal machen kann.

Der obige Begriff der "absoluten technischen Machbarkeit" ist recht gefährlich und kann zu den grössten Abenteuern führen. So dachten zum Beispiel Ferdinand de Lesseps und Andere, dass der Bau des Panamakanals durchaus mit Leichtigkeit machbar sei. Der Bau erwies sich wohl als machbar aber erst ein Vierteljahrhundert später, nach der sehr grossen Pleite der Panama Gesellschaft.

2. BEGRIFFE

Nun, es ist vorerst angezeigt einige Begriffe zu definieren (**Bild 1**).

Wir sollen überhaupt nicht von "Machbarkeit im absoluten Sinne" sondern von, sagen wir, einer "vernünftigen normalen Machbarkeit" sprechen. Darunter verstehe ich etwas, das wohl grösste Anstrengungen verlangt, aber mit vernünftigen Kosten, in einer annehmbaren Zeitdauer unter Verwendung der vorhandenen Kenntnisse und unter Einsatz der heute verfügbaren technischen Mitteln erreicht werden kann.

Eine erhoffte Machbarkeit setzt hingegen absehbare wissenschaftliche und technische Fortschritte und vielleicht etwa eine optimistische Einschätzung der natürlichen Gegebenheiten ein.

Im Tiefbau spielt der letzte Faktor häufig die bedeutendste Rolle.

Somit verbleibt, in der Regel, bei Tiefbauprojekten ein bedeutender Unsicherheitsfaktor bezüglich der Kosten und Termine.

Es fragt sich daher ob im Tiefbau nicht ein höherer Zuschlag für Unvorhergesehenes als in anderen Sparten des Baues angezeigt wäre.

3. DIE PIORA MULDE

Ein erstes interessantes Beispiel ist die sogenannte Piora-Mulde, die vor kurzem durch den Gotthard-AlpTransit-Tunnel gekreuzt wurde.

Wie aus dem geologischen Profil ersichtlich, bildet die sogenannte Piora-Mulde eine Zone von Zuckerdolomit, die vom Piora-Tal in die Tiefe sinkt und fast 1000 m tiefer die Tunnelachse quert. **(Bild 2)**

An der Oberfläche ist das Gestein völlig verwittert und praktisch zu Sand verwandelt.

In der Tiefe ist dasselbe gesättigt und praktisch als ein Art Schlamm zu finden.

Bei der Projektierung stellte sich die schicksalhafte Frage, in welchem Zustand wäre der Zuckerdolomit auf Höhe des Tunnels zu treffen sein? und ob der Tunnel überhaupt machbar sei.

Sollte sich das Gebirge im praktisch flüssigen Zustand befinden, wäre seine Durchörterung unter so hohem Druck nicht denkbar gewesen. Der Gotthard Basistunnel wäre somit nicht machbar. Richtigerweise, wurde daher ein Untersuchungsprogramm in der Höhe von etwa 100 Mio CHF beschlossen.

Es handelte sich um einen etwa 6 km langen Sondierstollen bei Polmengo, von welchem aus orientierte Bohrungen abgeteuft wurden. Dieselben haben gezeigt, dass auf Höhe der vorgesehenen Tunnelachse der Zuckerdolomit eher in der Form von Marmor vorhanden ist. **(Bild 3)**

Die Machbarkeit des Tunnels schien daher gesichert, was tatsächlich vor wenigen Monaten durch die Durchfahrung dieses Gesteins sich glänzend bestätigte.

Dieses Erkundungsprogramm hat somit erlaubt eine Hypothek über der Machbarkeit des Projektes aufzulösen.

Wie ernst die Hypothese zu nehmen war, zeigt folgender Unfall.

Am Ende des Vortriebs des horizontalen Sondierstollen wurde eine Sondierbohrung von 100 m Länge in Richtung "Piora Mulde" vorgetrieben, die dieselbe in einer Höhe von 350 m über dem Tunnel erreichte und dort den aufgelösten Zuckerdolomit im plastisch-flüssigem Zustand vorfand.

Durch eine Fehlhandhabung des Preventers konnte dieser Schlamm in grosser Menge ausfliessen.

In kurzer Zeit flossen einige Tausend m³ desselben aus und die Tunnelbohrmaschine wurde teilweise überschüttet. Man kann sich leicht vorstellen was hätte passieren können, wenn der Tunnel unter diesen Umständen hätte ausgehoben oder ausgebohrt werden müssen.

Zum Glück konnte mit den Sondierungen nachgewiesen werden, dass der Bahntunnel von einer etwa 300 m mächtige Schicht aus standfestem und gesundem Dolomit geschützt ist: darüber drückt eine Säule von etwa 900 m Höhe vom schlammartigen Material, das einen Druck von etwa 1'200 t/m² ausübt.

Wie bereits gesagt, war dieser Schutz vollauf genügend und die Durchörterung der Piora Mulde recht erfolgreich zu erlauben.

4. DIE EUROPA-AFRIKA VERBINDUNG

Die Schaffung einer festen Verbindung zwischen Europa und Afrika ist ein recht alter Traum.

Sehr viel Phantasie steckt in einer Anzahl von Ideen und Projekten, die vorgetragen wurden.

So hat 1930 der Architekt Sörgel von München die Idee einer Absperrung der Meerenge von Gibraltar lanciert und eine Stiftung gegründet, welche die Idee bis ins Jahr 1954 propagierte.

Die Idee war nicht nur, Strasse und Bahn über die Krone eines Dammes zu führen, sondern vor allem eine Absenkung des Spiegels des Mittelmeeres um etwa 200 m zu erreichen und somit eine Bodenfläche von 660'000 km² zu gewinnen.

Es sind auch Projekte entwickelt worden, um die grössten Städte auf tieferer Quote wiederaufzubauen. Eine Annahme wäre Venedig gewesen, die dank eines Dammes quer zur Adria den ihren jetzigen Wasserstand hätte weiterhin geniessen können.

Politisch und vom Umweltstandpunkt aus wäre ein solches Projekt sicher nicht machbar gewesen. Die technische Machbarkeit ist scheinbar nicht weiter untersucht worden ist aber zumindest sehr fraglich.

Seit 1980 als die Könige von Spanien und Marokko beschlossen haben, das Projekt einer festen Verbindung zwischen den beiden Ländern zu fördern, laufen ernsthaftere Untersuchungen und Studien. Verschiedene Lösungen sind danach auch ins Auge gefasst worden.

Es soll vorerst erwähnt werden, dass an der engsten Stelle – gegenüber Gibraltar – die Meerestiefe bis etwa 1000 m erreicht, während man etwa 20 km westlich davon die Wassertiefe sich etwa auf 300 m reduziert, um dann in Richtung Atlantik wieder zuzunehmen.

Es bietet sich somit eine "Schwelle" im Meeresboden, die als Achse der "Verbindung" scheinbar eher in Frage kommen könnte, trotz der grösseren Länge des Trasses.

Eine der ersten Ideen ging in Richtung einer Brücke, und zwar selbstverständlich einer Hängebrücke.

Die Gründung auf dem Meeresboden 300 m unter dem Wasserspiegel und der Bau von etwa 800 m hohen Türmen schien jedoch ein kaum hoffnungsvolles Unterfangen zu sein, vor allem wenn man die recht starken Wasserströmungen und den sehr intensiven Schiffsverkehr im Auge behält.

Diese Lösung wurde auch bald aufgegeben, da technisch als nicht machbar erachtet.

Zwischendurch wurde auch eine Idee untersucht, die darin bestand, eine schwimmende Insel in der Mitte der Meerenge zu bauen und sie mit zwei ebenfalls schwimmenden, im Meeresboden verankerten Tunnels mit dem Festland zu verbinden.

Technisch wäre das Projekt an sich wahrscheinlich machbar gewesen, jedoch wurde sich im Betrieb als recht riskant erwiesen.

Dies einerseits wegen den starken Meeresströmungen in beiden Richtungen sowie wegen des recht intensiven Verkehrs von Unterseebooten, nicht zu sprechen von

den zu einfachen Möglichkeiten von Terroristenaktionen nicht nur am Tunnel selbst, sondern vor allem an den Verankerungskabeln. Diese Lösung wurde somit nicht weiter verfolgt.

Der Bau eines auf Meeresboden abgesetzten Tunnels kommt nicht in Frage, wegen des zu unregelmässigen Profils und der Notwendigkeit von zu steilen Rampen.

Man kam somit unweigerlich zur Idee eines im Untergrund bergmännisch ausgehobenen

Tunnels.

5. DER GIBRALTARTUNNEL

Ermutigt durch die Präzedenzfälle des Ärmelkanals - und des Sei-Kan-Tunnels, konzentrieren sich dann die Studien um ein solches Vorhaben.

Sondierstollen und Schächte wurden auf beiden Seeufern ausgehoben und abgeteuft. In Malabata auf der marokkanischen Seite erreichte man – ohne grosse Schwierigkeiten – die Tiefe von 300 m.

Ferner wurden im Zuge von mehreren Kampagnen, Sondierungen vom Schiff aus abgeteuft und Bodenproben entnommen.

Auf Grund der Ergebnisse dieser Untersuchungen wurde ein geologisches Längensprofil aufgestellt und geotechnische Daten gesammelt.

Die ganze Gegend besteht aus Flysch-Formationen, wie man sie in vielen Zonen des Mittelmeeres vorfindet. Es handelt sich um Pakete von dünnen Lehm- und Sandstein-Schichten. Der Untergrund besteht im Wesentlichen aus einer Anzahl von mehr oder weniger vertikalen Schuppen von solchem Gestein. Durch dieselben läuft der Kontakt zwischen der afrikanischen und der Euro-Asiatischen Platte. Beide Kontinente nähern sich um etwa 2 cm pro Jahr.

Auf dieser Basis wurde im Jahre 1996 ein erstes Vorprojekt für einen solchen Tunnel aufgestellt (genannt AP96).

Es handelte sich um ein Projekt, das demjenigen der Ärmelkanalquerung sehr ähnlich war, wobei die Möglichkeit ins Auge gefasst wurde, dass in einer ersten Etappe nur eine Bahnöhre und der Sicherheitsstollen ausgehoben würden mit den entsprechenden Verbindungen. Die Machbarkeit des Projektes wurde nicht in Frage gestellt und stand auch nicht zur Diskussion.

Vorsichtshalber und richtigerweise gingen jedoch die Sondierungen im Meer weiter; sie führten bald zu neuen Erkenntnissen und sogar zu grossen Überraschungen.

Durch die besagte "Schwelle" verlaufen in der Tat zwei mit Brekzien gefüllten Täler oder Kanäle (**Bild 4**). Sie laufen mehr oder weniger in Richtung Ost-West und sollen durch Erosion wegen den Wasserströmungen bei der Angleichung der Wasserstände der zwei Meere entstanden sein. Sie sollen später durch Rutschungen von Flyschmassen ausgefüllt worden sein.

Ihre maximale Tiefe ist nicht bekannt; sie reichen mit Sicherheit eine Kote tiefer als 600 m unter Meeresspiegel. Selbst ihre Gesamtbreite ist noch nicht gesichert und kann zwischen 2.8 und 4.8 km schwanken.

Als Folge dieser neuen Situation beschlossen die beiden nationalen Bauherrschaften neue Studien auszuschreiben.

Der Auftrag wurde zuletzt unserem Konsortium anvertraut, wie im **Bild 5** ersichtlich, wobei unser Bureau für den baulichen Teil des Tunnels zuständig ist.

Zur Zeit sieht das Längenprofil des Tunnels wie folgt aus. Von den Endportalen tauchen Rampen mit 30‰ ein bis auf etwa 500 m unter Meeresspiegel (**Bild 6**).

Eine Strecke von etwa 8 km Länge und kleinem Gefälle verbindet die Endpunkte der beiden Rampen. Im tiefsten Punkt des Trassees ist eine "Sicherheitszone" vorgesehen.

Ein Stollen für die Rauchabsaugung verbindet diese Sicherheitshaltestelle mit dem marokkanischen Seeufer.

Im Querprofil ist die erwähnte klassische Anordnung von zwei Bahntunnels und einem Sicherheitsstollen gewählt worden; wobei auch eine Variante mit zwei Bahntunneln, aber ohne parallelen Sicherheitsstollen zur Diskussion steht (**Bild 7**).

6. DIE KREUZUNG DER BREKZIEN

Das Projekt bietet keine aussergewöhnlichen Besonderheiten auf, ausser der hohen Wasserdrücke und vor allem der Durchquerung der beiden mit Brekzien gefüllten Kanäle.

Der grosse Wasserdruck von 50 bar macht ein Vergleich mit dem Ärmelkanal kaum möglich; ist dieser Druck doch etwa 5 mal grösser. Dazu kommt, dass die Flysch-Formationen ein bedeutendes Quell-potential aufweisen. Dies führt dazu, dass langfristig die Auskleidung dem vollen natürlichen Spannungszustand zu widerstehen haben würde. Sehr dicke und schwere Tübbingselemente sind daher notwendig. Diese Situation kann sicherlich durch geeignete Massnahmen gelöst werden. Im Grundriss muss sich der Tunnel den topographischen und geologischen Gegebenheiten anpassen (**Bild 8**).

Das hier interessierende Problem ist dasjenige der Durchörterung der Brekzien, die sehr schwache aber dennoch recht variable Festigkeiten und Durchlässigkeitswerte aufweisen.

Als Vortriebsmethode kommt nur ein Schild mit ausgeglichenem Erddruck an der Tunnelbrust in Frage (**Bild 9**). Auch muss durch Drainagebohrungen rund um den Tunnel der Wasserdruck reduziert werden, um eine teilweise Konsolidierung der Brekzien zu erreichen.

Eine Anzahl von grundlegenden Fragen stellen sich hier auf. Die wichtigsten sind die folgenden (**Bild 10**):

- ist die Durchlässigkeit der Brekzien gros genug um die Drainage des Gebirges in vernünftiger Zeit erreichen zu können?
- ist jedoch die Durchlässigkeit derselben nicht zu gros – auch nur örtlich – um nicht mit zu hohem Wassereindrang rechnen zu müssen?
- sind die geomechanischen Eigenschaften der Brekzien hoch genug um unter dem vom Schild ausgeübten Erddruck standfest zu sein?
- sind dieselben geeignet um die Konvergenz des Gebirges unter bestimmten Grenzen zu halten?
- oder muss ein höherer stabilliegender Erddruck gewählt werden?
- ist es möglich einen geeigneten Schild zu bauen, da keine Präzedenzfälle für eine solche Anlage unter so hohem Druck zur Verfügung stehen? oder
- sind allenfalls neuen Entwicklungen nötig?

Wie man sieht stehen hier eine Anzahl Fragen geotechnischer Art die durch Sondierungen und Proben zu lösen sein werden. Dabei sollten die möglicherweise grosse Streuungen der Bodeneigenschaften nicht vergessen werden.

Sind diese Fragen technischer Art gelöst, stellen sich verschiedene andere zum Teil organisatorischer Art

- diejenigen der möglichen Vortriebsleistungen und somit der Dauer der Durchörterung der zwei mit Brekzien gefüllten Kanäle, und sogleich
- diejenige nach den Kosten, die selbstverständlich mit der ersten zusammenhängt
- diejenige der zu erwartenden Verkehrs und somit der möglichen finanziellen Einnahmen, diese Fragen verlangt die Aufstellung von Prognosen auf langer Sicht, welche manchmal zu Überraschungen führen.
- Von den politischen Fragen spreche ich lieber nicht!

7. ZUSAMMENFASSUNG

Das Projekt des Gibraltartunnels ist sicher recht anspruchsvoll, vor allem weil es von allen ähnlichen Vorhaben sehr viel abweicht, und somit in verschiedenen Hinsichten Neuland betritt.

Im wesentlichen können aber Fragen der besagten Art bei allen Grossprojekte auf, vor allem jedoch bei Untertagbauten.

Im Laufe der Geschichte sind viele Fortschritte in der Lösung von ähnlichen Fragen gemacht worden, die grosse Fortschritte ermöglicht haben, aber bestimmte Probleme noch nicht gelöst haben.

Man denke nur an den Fall des Gotthard Bahntunnels Airolo-Göschenen im vorletzten Jahrhundert.

Die Verwendung von neuen Bohrmaschinen und die Einführung von Dynamit an Stelle von Schwarzpulver haben zwar die Produktivität der Mannschaften gegenüber dem von wenigen Jahren fertiggestellten Mont Cenis Tunnel etwa verdoppelt, haben jedoch am Ende den Konkurs der Baufirma von Louis Favre nicht verhindern können.

Zusammenfassend kann man sagen, dass grosse Anforderungen an die Projektierenden und die Bauenden von solchen grossen und speziellen Bauprojekten gestellt werden, aber auch, dass immer wieder Grenzen anzutreffen sind.