
Überlegungen zum Einsatz von Spritzbeton für lange, tiefliegende Tunnel in Konkurrenz zum Ortbeton

CONSIDERATIONS REGARDING THE USE OF SHOTCRETE FOR LONG, DEEP TUNNELS IN COMPARISON WITH CAST IN SITU CONCRETE

KONRAD BLANK, ELEKTROWATT INGENIEURUNTERNEHMUNG AG, ZÜRICH

Die Entwicklung auf dem Sektor Spritzbeton ermöglicht eine laufende Erweiterung des Einsatzbereiches. Die oft steigenden Forderungen nach höherer Qualität, Umweltfreundlichkeit und Verarbeitungsmöglichkeit können durch Entwicklungen in der Spritzbetontechnologie meist erfüllt werden.

Bei langen, tiefliegenden Tunnels, wie sie heute zur Querung der Alpen geplant sind, stellen sich Randbedingungen, die den Einsatz von Spritzbeton erschweren. Die Verwendung des Ausbruchmaterials, lange Transportwege, Anforderungen an die Oberflächenbeschaffenheit, die geforderte Dichtigkeit etc. können für den Ortbeton sprechen.

Um für das jeweilige Bauwerk die kostengünstige Lösung zu erhalten, sind neben den Bauunternehmern und Spritzbetonfachleuten auch die Bauherrn und Planer gefordert.

Recent development have facilitated the wider of shotcrete in construction. The continually increasing requirements for higher quality, environmental friendliness and flexibility during construction are now possible with developments in shotcrete technology.

Stringent project specific requirements for long and deep tunnels, such as those currently being considered for new rail tunnels under the alps, place great demands on the specifications for shotcrete. The use of excavated rock as aggregate, long transport distances and the required shotcrete density and surface condition may be better suited to in situ concrete.

An economic solution for a given project requires not only the involvement of the contractor and specialists in the use of shotcrete, but also a corresponding input from the client and consultant.

Die folgenden Überlegungen zum Einsatz von Spritzbeton und Ortbeton für lange tiefliegende Tunnel sind in vier Abschnitte gegliedert:

- Entwicklungen (Beton/Spritzbeton und Erwartungen)
- Ausgewählte Anforderungen (Umwelt, Nutzungsüberlegungen)
- Besonderheiten beim Gotthard-Basistunnel
- Betrachtungen zur Konkurrenzsituation (Spritzbeton/Beton), zu Lösungswegen und Aufgaben vor der Bauausführung

Ein Schwergewicht wird auf die Besonderheiten beim Gott-

hard-Basistunnel gesetzt, der stellvertretend für lange tiefliegende Tunnel stehen kann.

1. Entwicklungen

1.1 Beton und Spritzbeton

Über die Entwicklung des Betons, des Spritzbetons und der zugehörigen Systeme wurde schon an vielen Tagungen - so auch an dieser - berichtet und veröffentlicht. Von besonderem Interesse ist immer wieder die Frage nach dem Ein-

satz von Spritzbeton als Felssicherung und als definitive Auskleidung. Man spricht dann bekanntlich von der einschaligen Bauweise, die gekennzeichnet ist durch den Verbund zwischen der felsseitigen und tunnelseitigen Schale. Erfolgversprechende Erfahrungen mit der einschaligen Bauweise und Spritzbeton werden verschiedentlich gemeldet. Dabei bezieht sich die positive Erfahrung meist auf den Bauablauf. Eine abschließende Beurteilung ist in den meisten Fällen noch nicht möglich, da die Erkenntnisse über wichtige Eigenschaften wie z. B. Wasserundurchlässigkeit und Dauerhaftigkeit sowie Verfügbarkeit der Tunnelanlagen erst noch gewonnen und ausgewertet werden müssen.

Durch die Entwicklung des Spritzbetons und der dazugehörigen Verfahren wurde in den letzten Jahren der Einsatzbereich wesentlich vergrößert, die Wirtschaftlichkeit gesteigert und auch die Umweltfreundlichkeit dieses Verfahrens verbessert.

Zusammengefaßt und vereinfacht läßt sich die Entwicklung von Spritzbeton und Ortbeton für den Tunnelbau in den zurückliegenden Jahren, wie das **Bild 1** stark vereinfacht zeigt, darstellen.

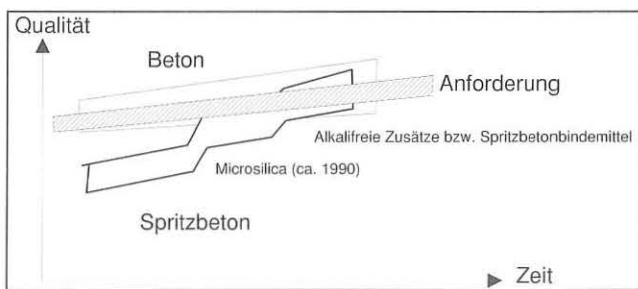


Bild 1: Wirtschaftlich erreichbare Qualitäten von Beton und Spritzbeton.

Die Graphik zeigt steigende Anforderungen und eine merkliche Verbesserung der wirtschaftlich erreichbaren Qualität beim Spritzbeton, insbesondere durch den Einsatz von Microsilica und alkalifreien Zusätzen resp. Spritzbetonbindemitteln.

Der Markt bestätigt in vielen Fällen eine solche Entwicklung der wirtschaftlich erreichbaren Qualitäten. Ob das eine oder andere System wirtschaftlicher ist, ist meist schwer zu beurteilen, es sei denn, es lagen Offerte für beide Systeme vor, wie dies hin und wieder schon der Fall war (wohl wissend, daß die Angebote nicht immer mit den Abrechnungssummen übereinstimmen).

1.2 Erwartungen

Nicht nur die technischen Möglichkeiten, hohe Qualitäten wirtschaftlich zu erreichen, haben sich entwickelt, sondern parallel dazu auch die Erwartungen.

Aus ökologischen und gesellschaftlichen Überlegungen ergeben sich heute andere Erwartungen und Randbedingungen, als sie z. B. noch vor 10 Jahren bestanden haben.

So wird erwartet, daß umweltfreundliche Baustoffe und Zusatzmittel eingesetzt werden und mit Ressourcen besonders sparsam umgegangen wird.

Aber auch das Suchen nach kostengünstigen Systemen ist heute sehr ausgeprägt. Deshalb wird oft die Idee verfolgt, daß die in den Tunnel eingebrachten Baustoffe oder Bauteile möglichst von permanenter Wirkung sein sollen. Dies wird durch höhere Qualitäten oder durch andere Materialien, z. B. bei den Ankern (GFK), zu erreichen versucht.

Die Qualitätsanforderungen an den Beton müssen differenziert betrachtet werden [1]. Übertrieben hohe Qualitäten zu verlangen in der Gewißheit, daß der Festigkeit, Dichtigkeit und Verarbeitbarkeit des Betons dank Chemie und besten Zuschlagstoffen beinahe keine Grenzen gesetzt sind, führt nicht zu einem optimierten Gesamtprojekt unter den heutigen Erwartungen. Bauteilabmessungen und Betonqualität müssen wieder in einem ausgewogeneren Verhältnis stehen und auf die vorhandenen Ressourcen abgestimmt werden.

2. Ausgewählte Anforderungen

Um den Umfang der Ausführungen nicht zu sprengen, beschränke ich mich auf einige ausgewählte Anforderungen sowie Nutzungsüberlegungen.

2.1 Anforderungen aus Gesundheits- und Umweltaspekten

Die Bewertung dieses Aspektes hat in den letzten Jahren zu Recht erhebliches Gewicht bekommen, das sich noch weiter verstärken wird. Besonders betroffen davon ist der Spritzbeton.

- Spezielle Anforderungen ergeben sich aus Gründen der Arbeitshygiene, die vor allem für den Einsatz von Spritzbeton gelten. Dort sind konkrete Anstrengungen hinsichtlich der gesundheitsrelevanten Aspekte (z. B. Schädigung der Atemorgane infolge Feinststäube oder Verätzungen durch Abbindebeschleuniger) unternommen worden und noch weiter voranzutreiben.
- Unzulässige Belastung des Vorfluters und des Grundwassers, die insbesondere durch die Verwendung von Zusatzmitteln hervorgerufen werden, sind zu vermeiden. Dies betrifft das Ausschwemmen umweltbelastender Stoffe, inkl. das umweltgerechte Entsorgen oder Wiederverwenden von Rückprall.

Der Einsatz von umweltfreundlichen Baustoffen und Zusatzmitteln wird zu Recht immer wieder gefordert und kann heute, z. B. für Abbindebeschleuniger, durch die Baustoffindustrie in ansprechender Qualität angeboten werden.

- Der sparsame Umgang mit Ressourcen ist mittlerweile beinahe eine Selbstverständlichkeit geworden. Gemeint

ist die verantwortungsvolle Nutzung von Rohstoffen, insbesondere der Kiesvorkommen. Deshalb wird heute vermehrt angestrebt, Tunnelausbruchmaterial aufzubereiten und wieder zu verwenden; eine Tendenz, die noch zunehmen wird. Dieser angestrebte hohe Wiederverwendungsanteil des Ausbruchmaterials bedingt in bezug auf die Betonherstellung und -verwendung - insbesondere was das TBM-Material betrifft - ein Umdenken bei allen am Prozeß Beteiligten. Beim Gotthard-Basistunnel z. B. ist vorgesehen, von den rund 24 Mio. t Ausbruchmaterial etwa 20 % als Baurohstoff für das Projekt selbst wieder zu verwenden. Weitere rund 35 %, oder etwa 9 Mio. t können für andere Projekte verwendet werden. Trotz vieler pessimistischer Stimmen haben Versuche erstaunlich gute Resultate gezeigt [7].

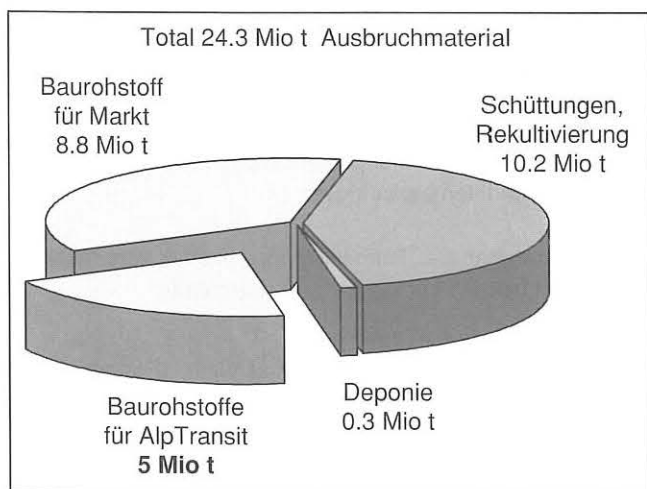


Bild 2: Wiederverwendung des Ausbruchmaterials beim Gotthard-Basistunnel

2.2 Ausgewählte Anforderungen aus Nutzungsüberlegungen

Aus den verschiedenen Vorgaben, die ein Bauherr für die von ihm vorgesehene Nutzung macht, sei die Dauerhaftigkeit und die Verfügbarkeit hervorgehoben.

Für wichtige Projekte fordert der Bauherr immer wieder eine Nutzungsdauer von 100 Jahren, d. h. ein Großunterhalt (Instandsetzung) darf frühestens nach diesem Zeitraum erforderlich werden. Auf dieses Ziel sind die Konstruktion und die Baustoffe auszurichten.

Obwohl früher ebenso Forderungen nach einer langen Lebensdauer bestanden und die Anstrengungen der Bauherren, planenden Ingenieure und Unternehmer diesbezüglich ohne Zweifel vorhanden waren, ist es nicht in allen Fällen gelungen, die Wahl der Konstruktion und Baustoffe so zu gestalten, daß wir heute vollumfänglich zufrieden wären. Beispiele an Schadensbildern an Gewölbe und Tunnelsohlen sind bekannt. (CH: Furkascheiteltunnel, Bötzbberg-Eisenbahn und -Straßentunnel, San-Bernardinotunnel, Hauensteinbasistunnel; die Situation und Beispiele in Österreich und Deutschland kennen Sie besser als ich).

Dauerhaftigkeit

Damit Tunnelbauwerke die angestrebte Nutzungsdauer erreichen, sind die Randbedingungen und die äußeren Einflüsse jeweils projektspezifisch zu untersuchen.

Zur Forderung der Dauerhaftigkeit gehört auch die Widerstandsfähigkeit gegen äußere, insbesondere chemische Angriffe. Den Spritzbeton-Spezialisten unter Ihnen möchte ich die Problemkreise der Alkali-Aggregat-Reaktionen und die "Korrosionsgefahr durch Auskristallisieren der Wasserinhaltsstoffe" ("Salzsprengung") in Erinnerung rufen.

Vorliegende Aussagen von Fachkollegen werfen z.T. gravierende Fragen auf, die die Dauerhaftigkeit des Spritzbetons betreffen. [4, 5]

Neben der Dauerhaftigkeit der Baustoffe und Bauteile ist von Bedeutung, daß die konstruktive Auslegung darauf abgestimmt wird, insbesondere die Details im Fugen- und Gewölbefußbereich.

Verfügbarkeit der Tunnelanlage

Mit langen und tiefliegenden Tunnel sind vor allem die Eisenbahntunnel gemeint. Für diese gibt der Betreiber klare Nutzungsanforderungen vor. Das zentrale Anliegen ist die hohe Verfügbarkeit der Tunnelanlage, d. h.

- Keine Betriebsstörungen - hervorgerufen durch Feuchtigkeit. Damit auch moderne Sicherungsanlagen störungsfrei funktionieren, ist ein möglichst trockenes Klima erforderlich.
- Wenige und kurze Unterhaltsintervalle. Diese sind notwendig, um alle Anlagenteile in funktionstüchtigem Zustand halten zu können. Dies betrifft die Entwässerung, den Schienenoberbau, die Fahrleitung, die elektrischen Anlagen, Bahnsicherungsanlagen etc.

Gerade was die Verfügbarkeit der Anlage anbelangt, werden beim Kanaltunnel unerfreuliche Erfahrungen gemacht. Die Betreiber würden sich wünschen weniger Wasser und Feuchtigkeit im Tunnel zu haben.

Wie steht es nun konkret mit langen, tiefliegenden Tunnel ? Welche Überlegungen beim Gotthard-Basistunnel angestellt werden und welche speziellen Anforderungen sich stellen, ist Inhalt des nächsten Kapitels.

3. Besonderheiten bei langen Eisenbahntunnel am Beispiel Gotthard

Für den Gotthard-Basistunnel wird bis Mitte 1996 das Bauprojekt [8] fertiggestellt sein. Die Lose Sedrun, Faido und Bodio werden von der Ingenieurgemeinschaft GBT-S (Elektrowatt Ingenieurunternehmung AG, Lombardi AG, Amberg Ingenieurbüro AG, DR. T.R. Schneider) bearbeitet. Beim geplanten Gotthard-Basistunnel der SBB - zwei Ein-

spurröhren mit je 57 km Länge von Amsteg bis nach Bodio - bestimmen projektspezifische Randbedingungen und Anforderungen die Projektgestaltung (Konstruktion) und Beschaffenheit der Bauteile und Anforderungen an die Baustoffe wesentlich.

Besondere technische Randbedingungen sind:

- lange Transportwege
- Zuschlagsstoffe aus Tunnelausbruchmaterial
- hohe Gebirgstemperatur
- abschnittsweise betonaggressives Bergwasser

Hohe Nutzungsanforderungen des Betreibers sind:

- ebene Tunnelwände (Welligkeit) aus aerodynamischen Anforderungen
- möglichst glatte Oberfläche der Tunnelauskleidung (kleine Reibungsverluste)
- hohe Verfügbarkeit der Tunnelanlage (Tunnelklima, Unterhalt)

Aus erhöhten Anforderungen an das Bauwerk darf nicht direkt auf höhere Anforderungen an die Baustoffe geschlossen werden, sondern primär ist das Konzept darauf auszurichten und dann erst können die Anforderungen an die Baustoffe definiert werden. Dabei können das durchaus interaktive Vorgänge sein, da auch die Wahl der Baustoffe wieder rückwirkend einen Einfluss auf das Konzept haben kann. Einige ausgewählte Besonderheiten werden im nächsten Kapitel beschrieben.

3.1 Beton

Hr. Peter Zbinden, der Stv. Delegierte für AlpTransit Gotthard hat für den Beton die Anforderungen und Randbedingungen so zusammengefaßt [1]:

"Beim Gotthard stellt sich die Aufgabe, in einer ungewohnten Umgebung, unter ungewohnten Randbedingungen mit zum Teil ungewohnten Zuschlagstoffen einen gewohnt gut verarbeitbaren, qualitativ einwandfreien und dauerhaften Beton herzustellen".

Das bedeutet,

- daß spritz- und pumpbarer Beton vorwiegend aus TBM-Chips herzustellen ist, dieser über sehr lange Strecken (bis zu 17 km) zu transportieren ist und
- bei Gebirgstemperaturen um etwa 40 - 45° C eingebaut werden muß.

Der Beton muß schließlich während seiner Nutzungsdauer von 100 Jahren genügend dicht, ausreichend fest und widerstandsfähig gegen unterschiedliche Angriffe sein.

Betrachten wir nun einzelne Eigenschaften und die Gründe der Anforderungen etwas genauer.

3.2 Dichtigkeit

Die Forderungen einer sehr hohen Dichtigkeit sind beim Gotthard-Basistunnel von besonderer Bedeutung.

Die Zugfahrten bestimmen in den beiden 57 km langen Einspurröhren, die im Richtungsverkehr betrieben werden, den Luftaustausch durch die Kolbenwirkung wesentlich. Die beim einen Portal eintretende Luft wird am anderen Portal wärmer und feuchter austreten.

Feuchtigkeitseintrag in den Tunnel

Einerseits bringen die Züge Niederschlagswasser oder Schnee in den Tunnel ein, das zum Teil verdunstet, und andererseits wird ein Teil des anfallenden Bergwassers verdunstet, welches durch Risse im Beton oder durch den Beton selbst in den Tunnel eindringt. Dieser verdunstende Teil ist die entscheidende Wassermenge, die die Feuchtigkeit im Tunnel wesentlich bestimmt. Die Erfahrungen der Bahnen zeigen, wie wichtig das Verhindern einer hohen Luftfeuchtigkeit in Bahntunnel ist. Luftfeuchtigkeitswerte von unter 70 % RLF sind Voraussetzung für eine hohe Verfügbarkeit der Einrichtungen und für akzeptable Kosten für den Unterhalt der Betriebsanlagen. Bei hoher RLF können Störungen wie Hochspannungsüberschläge, Fehlermeldungen in Blockabschnitten etc auftreten.

Die Forderung an das Tunnelklima lautet stark vereinfacht: möglichst trocken über die ganze Lebensdauer

- an möglichst vielen Tagen
- über möglichst lange Tunnelabschnitte (Portalbereiche sind stark vom Außenklima beeinflusst)
- bei vertretbaren Bau- und Betriebskosten

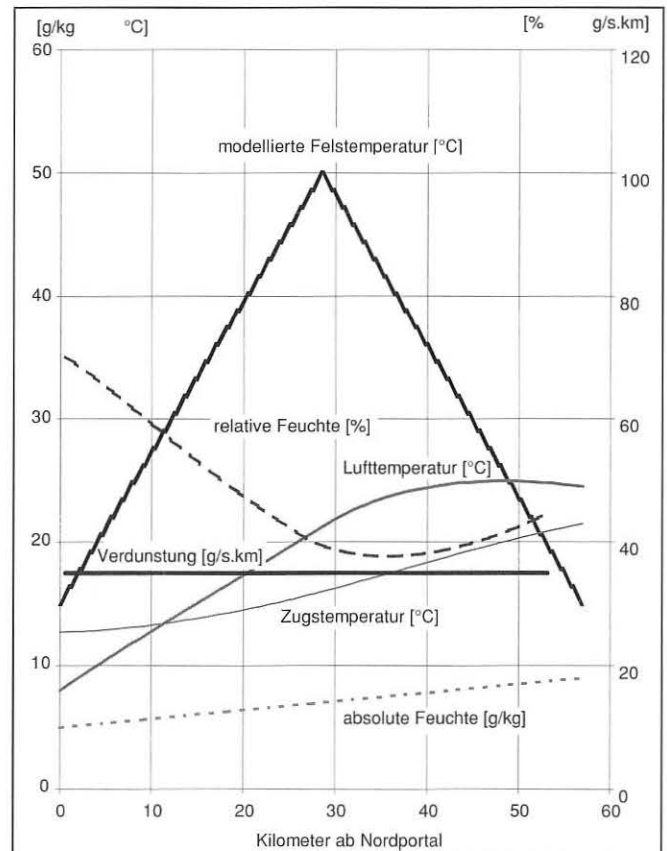


Bild 3: Jahresmittel des Tunnelluftklimas (Verdunstung = 35 g/s.km, Röhre N→S, 192 Züge/Tag, Richtung)

Daraus entsteht die zentrale Forderung an das Bauwerk: dauerhafte Begrenzung des eindringenden Bergwassers, das verdunsten kann.

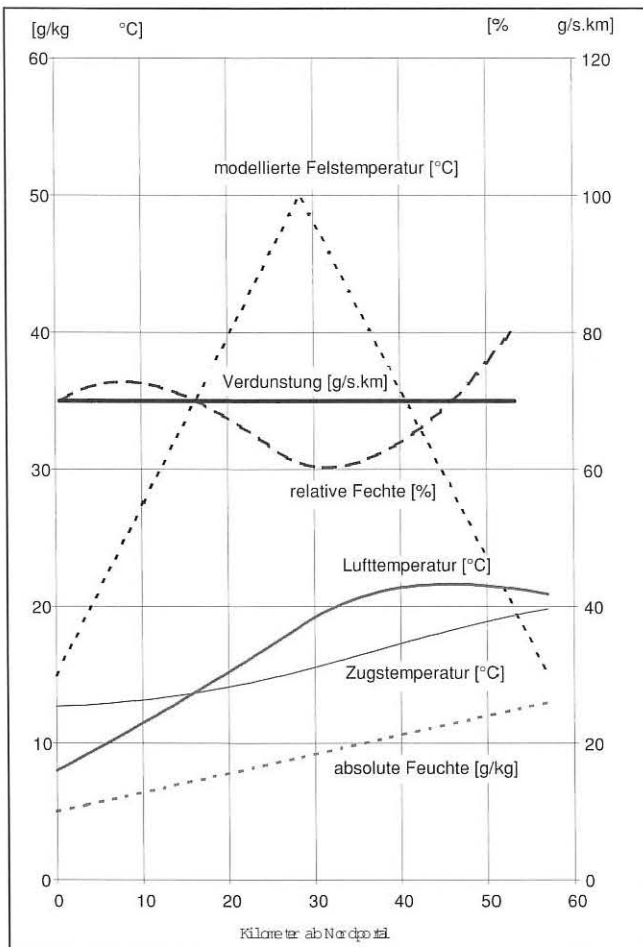


Bild 4: Jahresmittel des Tunnelluftklimas (Verdunstung = 70 g/s.km; Röhre N→S, 192 Züge/Tag, Richtung)

Die Bilder zeigen beispielhaft den Verlauf der relativen Feuchtigkeit und Temperatur im modellierten Tunnel für eine zugrundegelegte Verdunstung von 35 bzw. 70 g/s.km in einer Tunnelröhre, bei einer angenommenen Felstemperatur und bestimmten Zugsdichte [2].

Geht man davon aus, daß möglichst über den ganzen Tunnel und über die meiste Zeit des Jahres eine relative Luftfeuchtigkeit von unter 70% RLF anzustreben ist, so ergeben sich daraus die Forderungen an die Dichtigkeit der Tunnelauskleidung.

Überlegungen und erste Modellberechnungen, die im Frühjahr 1995 durchgeführt wurden, zeigen, daß eine akzeptable Luftfeuchtigkeit im Mittel dann erreicht werden kann, wenn ein Wert von etwa 35 g/s km als mittlerer gesamter Feuchtigkeitseintrag nicht überschritten wird (gesamt heißt: jeweils der verdunstende Anteil der durch Züge eingebrachten Niederschlagswassers und des Bergwasser). Durch Auswertung von verschiedenen eigens ausgeführten Versuchen (Furkatunnel) und weiteren Modellrechnungen wird das Tunnelklima für verschiedene Szenarien (Anzahl Züge, Jahreszeiten, Feuchtigkeitseintrag, Lüftung

etc.) noch genauer prognostiziert und die Forderungen noch genauer definiert werden. Ein beschränkter Feuchtigkeitseintrag von gesamt 35 g/s.km bedeutet nun für das Betongewölbe, daß für die zu erwartenden klimatischen Verhältnisse, je nach benetzter Gewölbefläche, vorerst etwa 5 bis 10 g/m² h als maximal zulässiger Feuchtigkeitseintrag anzusehen ist. Zum Vergleich dazu bezeichnet die SIA - Norm 162/1 einen Beton als wasserdicht, wenn die aufgenommene Wassermenge kleiner ist als die verdampfbare Wassermenge, was für ein Tunnelklima von 30 °C und 70 % RLF ein Wert von über 30 g/m² h wäre; wenn die Luftbewegungen im Tunnel mitberücksichtigt werden, sogar ein Mehrfaches., d. h. die übliche Forderung eines wasserdichten Betons würde zu einer unzulässig hohen Feuchtigkeit im Tunnel führen!

3.3 Oberfläche

Auch die Anforderung an die Oberfläche ist beim Gotthard projektbezogen speziell. Ausgehend davon, daß in den beiden Einspurröhren die mit hohen Geschwindigkeiten fahrenden Züge starke Luftbewegungen auslösen und Luftzylinder von 57 km bewegen, ergibt sich ein entsprechend hoher Energiebedarf. Dieser ist stark abhängig von der Welligkeit und Rauigkeit der Oberfläche. Mit ersten Näherungsberechnungen wurden erheblich höhere Energiekosten für rauhen Spritzbeton anstelle glattem Ort beton ermittelt. Die Mehrkosten werden auf etwa 10 Mio. Fr. pro Jahr geschätzt.

3.4 Hohe Gebirgstemperaturen

Im Gotthard-Basistunnel mit Überlagerungen von über 2000 m werden Gebirgstemperaturen bis etwa 40 - 45 °C erwartet. In einer Forschungsarbeit an der ETH, die seit dem Frühjahr 1995 vorliegt, wurde untersucht, in welchem Maße sich die hohen Temperaturen des felsigen Untergrundes auf die Qualität des Spritzbetons auswirken.

Zusammenfassend kann gesagt werden, daß durch die extremen klimatischen Bedingungen der Spritzbeton rasch austrocknet und durch die Wärme der Hydratationsprozeß beschleunigt wird. Dadurch verschlechtern sich einerseits die Festbetoneigenschaften und andererseits wird eine starke Rißbildung im Spritzbeton provoziert. Über die Dauerhaftigkeit wird in der zitierten Forschungsarbeit keine Aussage gemacht. [6]

3.5 Lösung beim Gotthard-Basistunnel

Aufgrund der Aspekte

- Dauerhaftigkeit
- Verfügbarkeit
- Dichtigkeit
- Oberflächenanforderung
- Zuschlagstoffe aus Ausbruchmaterial
- Kosten - Nutzen - Überlegungen
- Sicherheit gegen Kluffkörper

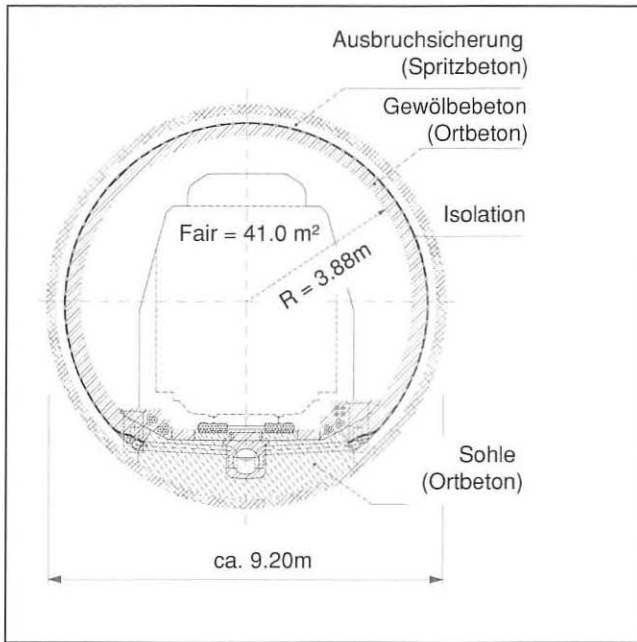


Bild 5: Gotthard-Basistunnel Normalprofil

und der projektbezogenen Randbedingungen steht als konzeptionelle Lösung ein Innengewölbe aus Ortbeton mit abschnittsweiser Isolation im Vordergrund [8].

Weitere Argumente, die - projektbezogen beim Gotthard-Basistunnel - für Ortbeton sprechen, sind

- die Qualitätsanforderungen an den Beton, die bei einer Isolation und der konstruktiv erforderlichen Mindeststärke im üblichen Rahmen gehalten werden können. Dies kommt der Verwendung von Ausbruchmaterial als Zuschlagstoff entgegen.
- die bei Ortbetoninnenschalen höhere Sicherheit gegen Kluftkörper im Vergleich zu einschaligen Spritzbetongewölben. Diese ergibt sich aus der größeren Betonstärke infolge konstruktiver Randbedingungen. In konventionell aufgefahrenen Abschnitten ergeben sich zusätzliche Vorteile aufgrund der statisch günstigeren Form [3].

Ein Vergleich mit dem Vereintunnel zeigt, daß beim Gotthard andere Anforderungen und Randbedingungen vorliegen, die das Konzept beeinflussen. Genannt seien die Anforderungen an die Verfügbarkeit (300 Züge/Tag beim Gotthard lassen nur beschränkt Zeit für Interventionsmöglichkeiten) und die hohen Zugsgeschwindigkeiten, die Anforderungen an die Oberfläche, das Tunnelklima und die Gebirgstemperaturen.

4. Spritzbeton oder Ortbeton: eine Konkurrenzsituation? Lösungswege und Aufgaben vor der Ausführung

4.1 Grundsätzliches zu Lösungswegen

Bei der Suche nach geeigneten Lösungen stehen am Beginn immer die Anforderungen und die Randbedingungen.

Darauf basierend können unterschiedliche Konzepte überlegt, die Kosten ermittelt und eine Beurteilung und Bewertung der verschiedenen Lösungen vorgenommen werden. Auch nach gründlichen Variantenvergleichen, Kosten-Nutzen-Ueberlegungen etc. bleiben in der Projektierungsphase meist noch mehrere denkbare und zufriedenstellende Möglichkeiten. Wenn sozusagen alle "Muß-Ziele" erfüllt sind, gilt es für den Bauherrn abzuwägen, ob für eine abgeschätzte Kostendifferenz nicht doch die etwas höhere Qualität und Sicherheit einen Gesamtvorteil darstellen. Mit Sicherheit meine ich auch die Sensitivität gegenüber Anforderungen und Lösungen, d. h. man stellt sich zum Beispiel die Frage, ob genügend Reserve vorhanden ist um das geforderte Tunnelklima sicher einhalten zu können, auch wenn der Feuchtigkeitseintrag doch etwas größer als angestrebt sein sollte.

Je nach Verlässlichkeit der Beurteilungsgrundlagen kann eine Entscheidung gefällt oder muß bis nach der Submissionsphase aufgeschoben werden. Es ist denkbar, daß verschiedene Varianten ausgeschrieben und auch zusätzliche Varianten durch die Unternehmer erarbeitet werden.

4.2 Konkurrenzsituation

Die Frage nach der Konkurrenzsituation kann vielleicht so beantwortet werden, daß mit Spritzbeton und Beton sehr gute Ergebnisse erreicht werden können und die Beurteilung nicht grundsätzlich, sondern nur am konkreten Projekt vorgenommen werden kann.

Je nach Projekt ist es also notwendig, daß sich der Bauherr in der Projektierungsphase vertieft mit solchen Fragen auseinandersetzt und die dazu erforderlichen Abklärungen durchführen läßt. Dies ist die Grundlage für eine zielgerichtete, projektbezogene Beurteilung. Dazu ist das Vorgehen der Bauherrn in der Schweiz bei AlpTransit vorbildlich, weil er in Zusammenarbeit mit seinen Planern und dem Einbezug verschiedener Träger von Fachwissen (wie Hochschulen, Unternehmer, Prüflabors, Lieferanten) frühzeitig diesbezügliche Überlegungen und Untersuchungen durchführen läßt. Als Beispiele seien genannt: Die Forschungsarbeiten zum Spritzbeton bei hohen Temperaturen, die Materialversuche zum Thema Verwendung von Ausbruchmaterial als Zuschlagstoffe oder auch die Versuche und Modellrechnungen zur Simulation des Tunnelklimas.

Damit der Vergleich der beiden Methoden Spritzbeton oder Ortbeton fundiert erfolgen kann, ist es notwendig, daß entsprechende Grundlagen im Vorfeld der Ausführung erarbeitet werden und die projektspezifischen Randbedingungen definiert werden. Gefordert sind hierzu die Bauherren und Planer, aber ebenso die Industrie und die Unternehmer.

4.3 Aufgaben des Bauherrn und des Planers

Der Bauherr legt Wert darauf, daß sein Bauvorhaben unter Einbezug aller Beteiligten und Einflüsse optimal realisiert werden kann.

Um dies zu erreichen, ist ganzheitliches Denken, Planen und Handeln nötig.

Diese Integration im Bauwesen trägt wesentlich zur Steigerung der Bauqualität bzw. zur Risikoverminderung bei. Diese integrierte Planung über alle Phasen bedeutet (auch nach Duden) die "Schaffung eines Ganzen aus seinen Teilen". Die Tunnelauskleidung z. B. ist ein Teil mit einem bestimmten Zweck für das Ganze.

Neben den Baufachleuten sind frühzeitig die Betreiber mit einzubeziehen, um z. B. alle relevanten Sicherheitsanforderungen frühzeitig in die Projektierung einfließen zu lassen. Der Bauherr definiert die Nutzungsziele. Daraus resultieren die Vorgaben an die Planer. Als Basis für das Erarbeiten und Beurteilen von Konzepten dienen die Nutzungsüberlegungen, die Anforderungen und projektbezogenen Randbedingungen.

Je nach Projekt ist es von großem Vorteil, wenn der Bauherr entsprechende Vorversuche durchführen läßt, die Antworten auf wichtige technische Fragen liefern und so einen wesentlichen Beitrag dazu leisten, daß im Vorfeld der Ausschreibung eine klare Ausgangslage geschaffen wird.

Zusammen mit dem Bauherrn ist ein überzeugendes Konzept, das auch die Unterhaltsaspekte gebührend berücksichtigt, auszuarbeiten.

Es versteht sich von selbst, daß die Konstruktion auch ausführungsgerecht sein soll. Leider ist dieser Gedanke nicht in jedem Fall sehr ausgeprägt. Liegt keine ausführungsgerechte Konstruktion vor, ist die Gefahr vorhanden, daß Abweichungen gegenüber der Planvorgabe entstehen, die gravierende Auswirkungen auf die Nutzung und den Unterhalt haben.

Weitere Aufgaben des Bauherrn und des Planers:

- Das Ausarbeiten fairer vertraglicher Regelungen und Abrechnungssysteme (insbesondere wenn Ausbruchmaterial als Betonzuschlagsstoff zur Verfügung gestellt wird).
- Das projektbezogene Qualitätsmanagement stellt konkrete Anforderungen an alle Mitwirkenden. Das diesbezügliche Konzept und die wichtigsten Aufgaben sind rechtzeitig zu definieren und sollen Bestandteil der Ausschreibung sein.
- Das Erstellen klarer Vorgaben und Randbedingungen, die für Unternehmensvarianten gelten. Den Unternehmen soll entsprechender Freiraum eingeräumt werden. Es sind klar die Nutzungsziele und Anforderungen vorzugeben.

4.4 Aufgaben der Industrie und der Unternehmer

Im Vorfeld der Ausführung sind Industrie, Unternehmer und spezialisierte Institute eingeladen, an der Erarbeitung von

projektbezogenen Lösungen mitzuwirken und den Fächer der Ausführungsmöglichkeiten zu öffnen.

Die bereits angesprochenen Eignungsversuche, die vor dem Baubeginn zu machen sind, dienen einerseits der Projektoptimierung und andererseits haben die Industrie und Unternehmer die Möglichkeit, sich auf die konkreten Fragen einzurichten. Die Industrie und Unternehmer sind aufgerufen auch ihrerseits nach Lösungen zu suchen und sich so auf die bevorstehenden Aufgaben vorzubereiten.

4.5 Ausblick

Es ist nicht möglich zu prognostizieren ob Ortbeton oder Spritzbeton sich künftig bei großen Tunnelprojekten vermehrt durchsetzen wird. Zu unterschiedlich können die projektbezogenen Anforderungen und Randbedingungen sein (Gotthard, Vereine).

Ich habe versucht, die besonderen Verhältnisse darzulegen und die Frage zu sensibilisieren: Fordern wir das Richtige und reagieren wir mit den vorgeschlagenen Lösungen angemessen, sind die Nutzungsziele erfüllbar und ist der umweltpolitische Auftrag berücksichtigt. Es ist ein Auftrag der Gesellschaft, und für den Bauherrn und Planer eine besondere Herausforderung, die technische Funktionalität in Einklang mit der gebotenen Wirtschaftlichkeit und der Verantwortung für die Umwelt zu bringen. Damit diese Bestrebungen möglichst erfolgreich sind, ist das Engagement aller angesprochenen Fachkreise erforderlich.

5. Literatur

- [1] **Zbinden, P.:**
Aktuelles zum Projekt Gotthard, Oktober 1995, Schweizer Baublatt, Rüslikon.
- [2] **Berner, M.:**
Parameterstudie zum Einfluß des Wassereintrags im Tunnel, erstellt für die AlpTransit Arbeitsgruppe Aerodynamik und Klima, Mai 1995, Zürich.
- [3] **Kovari, K. Schneider, A.:**
Tragfähigkeit einer Spritzbetonschale mit unregelmässiger Geometrie, Institut für Geotechnik, ETH Zürich, 1993.
- [4] **Wegmüller, C.:**
Zur Dauerhaftigkeit einer Tunnelverkleidung aus Beton, 1994, Basel.
- [5] **Jungwirth; Beyer; Grübl:**
Dauerhafte Betonbauwerke, Substanzerhaltung und Schadensvermeidung in Forschung und Praxis, 1985, Beton-Verlag.
- [6] **Seith, O.:**
Spritzbeton bei hohen Temperaturen, Institut für Bauplanung und Baubetrieb ETH Zürich, 1995.

[7] EMPA:

Betonversuche mit Ausbruchmaterial aus dem maschinellen Tunnelvortrieb, Untersuchungsbericht Nr. 157.176, 1995, Dübendorf .

[8] Ingenieurgemeinschaft Gotthard-Basistunnel Süd

(Elektrowatt Ingenieurunternehmung AG, Lombardi AG, Amberg Ingenieurbüro AG, Dr. T.R. Schneider): Entwurf Technischer Bericht Phase Bauprojekt, Zürich, 1995.