

## FGU – TAGUNG IN THUN

DATUM : 14.06.2002

### THEMA : AUSBRUCHMATERIAL Bewirtschaftung / Betontechnologie

AUTOREN: Dr. Jean Pralong, J. Burdin, Dr. C. Thalmann

#### 1. KONZEPT DER VERWERTUNG DES AUSBRUCHMATERIALS

##### 1.1 Grundsätze des Bauherrn

Folgende Grundsätze und Zielsetzungen wurden im Zusammenhang mit der Materialbewirtschaftung und den Betonsystemen gestellt:

##### 1.1.1 *Ausbruchmaterial*

- Optimale Verwendungen des Ausbruchmaterials.
- Priorität für Transport mit der Bahn.
- Rücksicht auf die kantonale Materialbewirtschaftung.
- Ausbruchmaterial bleibt Eigentum des Bauherrn. Der Bauherr organisiert und bestimmt wie dieses zwischen- bzw. endgelagert wird.

##### 1.1.2 *Materialbewirtschaftung*

Zielsetzung:

- Versorgung aller Tunnelbaustellen während allen Bauphasen mit genügenden und qualitativ geeigneten Betonzuschlägen.
- Kontrollierte Endablagerungen des Ausbruchmaterials mit geeigneter Endgestaltung der Ablagerungen.
- Der Umweltpolitik entsprechende Achtung schenken.

##### 1.1.3 *Betonzuschläge*

- Die Betonzuschläge werden mit geeignetem Ausbruchmaterial aufbereitet.
- Der Bauherr liefert dem Kiesaufbereiter das Ausbruchmaterial. Dieses wird in drei Rohmaterialklassen eingeteilt. Die Betonzuschläge werden nur mit Ausbruchmaterial der Klasse K1 aufbereitet. Der Kiesunternehmer ist verantwortlich für die Aufbereitung von normgerechten Betonzuschlägen.
- Die Betonzuschläge werden durch den BH auf die verschiedenen Baustellen franko geliefert.
- Die vom Bauherrn gelieferten Betonzuschläge müssen den gleichen Qualitätsbedingungen entsprechen wie sie bei einer externen Lieferung über den Unternehmer gelten würden.
- Auf Verlangen des Unternehmers belegt der Bauherr dies durch Qualitätsuntersuchungen.

- Die Lieferung von Betonzuschlägen durch den Bauherrn befreit den Unternehmer nicht von der Pflicht zur sorgfältigen Arbeitsausführung.

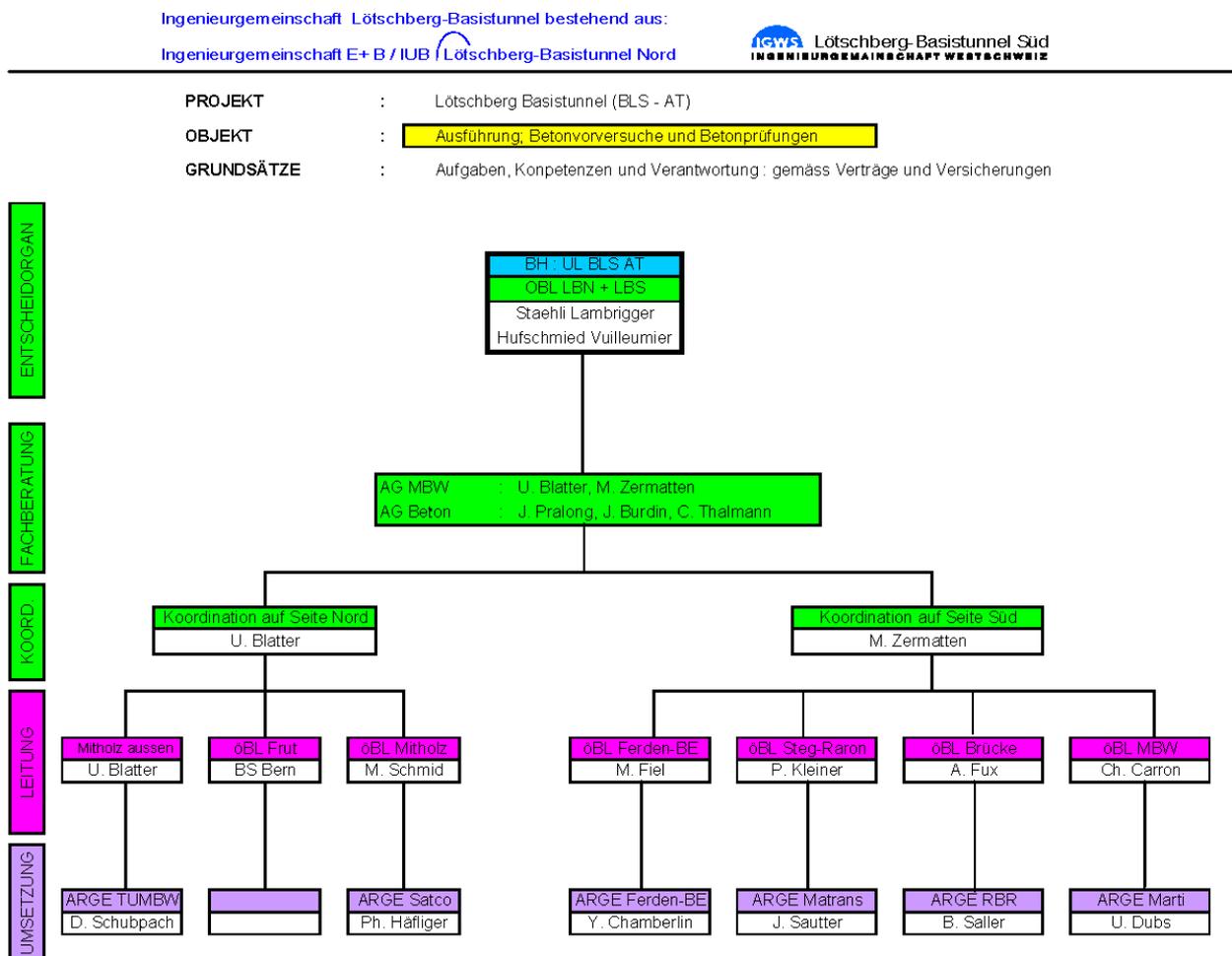
### 1.1.4 Betonrezepturen

Für die Herstellung der verschiedenen Betontypen wurde das leistungsbezogene Entwurfsverfahren gewählt. Die geforderten Eigenschaften und zusätzlichen Anforderungen sind in den Besonderen Bedingungen des Werkvertrags festgelegt. Der Unternehmer ist für die Bereitstellung eines Betons welcher den geforderten Eigenschaften und den zusätzlichen Anforderungen entspricht verantwortlich.

## 1.2 Organisation

- Zur Gewährleistung der Umsetzung der Qualitätsanforderungen der Betone bei der Ausführung wurde die entsprechende Organisation durch den Bauherrn wie folgt festgelegt.

Bild 1. Organigramm Betonsysteme



- Die Aufgaben, Kompetenzen und Verantwortung der Beteiligten kann wie folgt schematisiert werden:

- Oberbauleitung :
  - Koordination
  - Führung der Stabstelle für Materialprüfungen
  - Materialtechnische Voruntersuchungen

- Arbeitsgruppen "Materialbewirtschaftung und Betontechnologie":
  - Behandlung fachspezifischer Probleme
  - Unterstützung der Bauleitung und Projektingenieure
  - Leitung der materialtechnischen Abklärung des Bauherrn
  - Förderung des Erfahrungsaustausches
- Koordinationsstellen
  - Oberaufsicht der Termine und Kosten
- Örtliche Bauleitungen
  - Umsetzung der gestellten Anforderungen
  - Überwachung der Kosten und Termine
- Bauunternehmer
  - Eignungsprüfungen, Betonrezepturen, Betonkontrollen

## 2. MATERIALBEWIRTSCHAFTUNG

### 2.1 Generelles

#### 2.1.1 *Vorbrechen des Rohmaterials*

Das Ausbruchmaterial wird sowohl sprengtechnisch als auch mittels TBM gewonnen. Das anfallende Ausbruchmaterial aus dem Sprengvortrieb wird im Vortrieb mittels einem mobilen Brechers vorgebrochen. Es stehen zwei Brechertypen im Einsatz:

- Schlagwalzenbrecher und
- Doppel-Nadel-Wellen-Walzenbrecher

Der letztgenannte Brechertyp erlaubt es, ein vorgebrochenes Sprengmaterial im Grössenbereich 0 bis 200mm herzustellen, mit einem relativ geringen Sandteil. Dies erlaubt eine gute Zwischenlagerung und Aufbereitung des Materials.

Das Rohmaterial nach dem Vorbrecher im Tunnel wird mittels Förderbändern je nach Qualität entweder auf die Materialzwischenlager für die Aufbereitung oder über die Verladeanlagen per Bahntransport in die Materialdeponien transportiert.

#### 2.1.2 *Standorte der Anlagen*

Für die Herstellung der Betonzuschlagstoffe steht je eine Aufbereitungsanlage in Mitholz und in Raron zur Verfügung.

#### 2.1.3 *Materialbewirtschaftung*

- Rohmaterialien:  
Das Ausbruchmaterial in Mitholz besteht aus diversen Sedimentgesteinen (Kalke, Kieselkalke, Sandsteine) welches sprengtechnisch gewonnen wird. Im Südabschnitt (Ferden, Raron und Steg) fällt sowohl Ausbruch des TBM- als auch des Sprengvortriebs an. Nach dem bereits durchfahrenen, geringmächtigen Sedimentschichten fallen nun ausschliesslich kristalline Gesteinstypen an (div. Gneise, Granitgneise, Granite).
- Materialtriage:  
Die primäre Materialtriage wird aufgrund der Erstbeurteilung des Tunnelgeologen durchgeführt. Das Ausbruchmaterial wird in drei Materialklassen (K1, K2 und K3) unterschieden. Für die Betonzuschlagstoffproduktion wird ausschliesslich K1-Material verwendet. Diese wird definiert:  
Klasse 1 (K1): z.B. Kalke, Sandstein, Granit mit geringem Schieferanteil ( $\leq 10\%$ ), Material geeignet für Herstellung von Kiessand I, Beton- und

Spritzbetonzuschlagstoffe, Splitt und Schotter, Sickerkies.

Vom Tunnelunternehmer wird verlangt, dass das Ausbruchmaterial innerhalb eines definierten Korngrößenverteilungsbereiches liegt. Dadurch wird garantiert, dass der Unternehmer der Materialbewirtschaftung ein vorgebrochenes Rohmaterial erhält, das nicht allzu fein oder allzu grob ist. Zudem wird eine definierte Kornform des Rohmaterials im Grobbereich (40 bis 80mm) verlangt. Dadurch wird verhindert, dass eine ungünstige Einstellung des Vordrehers stark plattige Rohmaterialien hervorbringt.

- **Qualitätskontrollen:**  
Mittels Routineprüfungen oder bei Bedarf werden in den vor Ort vorhandenen Baustellenlabors Materialuntersuchungen durchgeführt und so die vom Tunnelgeologen durchgeführte Materialbeurteilung verifiziert. Gleichzeitig wird dadurch das Ausbruchmaterial laufend dokumentiert.  
Auch die Anforderungen an das Rohmaterial nach dem Vordrehers werden laufend überprüft.
- **Materialbilanzen:**  
Eine flexible Handhabung der Körnungsgemische für die Betonsysteme kombiniert mit einer optimalen Aufbereitung haben zur Folge, dass bis heute praktisch kein Produktionsüberschuss entstanden ist und dadurch keine Zuschlagstofffraktionen übrig bleiben. Der Produktionsüberschuss bestand hauptsächlich aus dem Schlammanteil (ca. 10% beim Sprengvortriebmaterial und bis 15% bei TBM-Material).  
Ab Mitte 02 werden vermehrt Betonzuschläge für den Ortbeton produziert und weniger für den Spritzbeton. Es zeichnet sich ab, dass die Fraktion 4/8mm als Überschusskomponente anfällt.

## 2.2 Kiesaufbereitung

### 2.2.1 Bedarf von Betonzuschlägen

- Vorgesehene Betonmengen
 

– Spritzbeton	300'000 m <sup>3</sup>	
– Ortbeton	1'250'000 m <sup>3</sup>	
– Tübbingbeton	<u>50'000 m<sup>3</sup></u>	<u>1'600'000 m<sup>3</sup></u>
- Bedarf an Betonzuschlagstoffe
  - Umrechnungsfaktoren :
 

▪ Spritzbeton (SB)	1.95 to/m <sup>3</sup> Beton
▪ Ortbeton (OB)	2.00 to/m <sup>3</sup> Beton
  - Gesamtbedarf an Betonzuschläge
 

▪ Für Spritzbeton	ca. 600'000 to	
▪ Für Ortbeton	ca. 2'500'000 to	
▪ Für Tübbing	<u>ca. 100'000 to</u>	ca. <u>3'200'000 to</u>

### 2.2.2 Aufbereitungsanlagen

#### 2.2.2.1 Allgemeines

- Die Zuschlagstoffherstellung erfolgt in zwei Aufbereitungsanlagen:
  - Mitholz: bestehendes und ergänztes Splitt- und Schotterwerk, welches auf die Bedürfnisse BLS AT umgerüstet wurde (Anhang 1, Bild 2 und Anhang 2, Bild 4).
  - Raron: Diese Anlage wurde speziell für den Bedarf BLS AT installiert. (Anhang 1, Bild 3 und Anhang 3, Bild 5). Das Herzstück der Anlage sind die zwei Brecher und die Sandaufbereitungsanlage (Freifallklassierer).

#### 2.2.2.2 Kiesaufbereitungsanlage in Raron

- Anforderungen gemäss Ausschreibung:
  - Die Leistung der Aufbereitungsanlage muss den maximal täglichen Bedarf decken.
  - Zwei identische Aufbereitungslinien mit je 140 to/h d.h. mit einer Leistung von ca. 3'000 to/Tag sind verlangt. Zur Zeit ist eine Produktionslinie in Betrieb, welche die Produktion der benötigten Zuschlagstoffmenge abdeckt.
  - Eine Abscheidevorrichtung zur Trennung der eingehenden Rohmaterialien bei der gewünschten Fraktion.
  - Fünf wetterbeständige (Regen, Schnee, Frost, Sonne, Wind) Zuschlagstoffsilos per Produktionslinie. Zur Zeit sind acht Silos in Betrieb.
  - Leistungstreue Wäganlage sowohl für das eingehende Rohmaterialien als auch für die Betonzuschläge.
- Zur Erfüllung der Normenvorschriften für die Betonzuschläge mussten die Betriebsanlagen zwingend die folgenden vertraglichen Anforderungen erfüllen:
  - Einsatz eines Vertikalbrechers zur Gewährleistung einer geeigneten Kornform und optimaler Sandqualität.
  - Einsatz eines effizienten Waschprozesses zur Gewährleistung der Sauberkeit der Zuschläge.
  - Einsatz von grossen Siebflächen und regulierbaren Förderrinnen zur Gewährleistung geringer Qualitäts- und Produktionsschwankungen.
- Positive und negative Punkte:  
 Positiv: Die Aufbereitungsanlage Raron verfügt über optimale Platzverhältnisse, die eine flexible Materialbewirtschaftung erlauben. Nach der Regulierungsphase der Anlage werden die Anforderungen an die Zuschlagstoffqualität erfüllt. Als negative Punkte sind insbesondere die Schwankungen der Zuschlagstoffqualität hinsichtlich der Korngrössenverteilung und des Anteils an Unter- und Überkorn zu erwähnen.

#### 2.2.2.3 Kiesaufbereitung in Mitholz

- Die Produktionskapazität der Anlage beträgt 120to/h. Die aufbereiteten Betonzuschläge werden von den Materialhaufen über die Verladestation per Förderband in die Silos der Betonzentrale am Fusspunkt geliefert.
- Der Betonsand wird aus zwei Sanden (gewaschener und ungewaschener Sand) zusammengemischt.
- Positive und negative Punkte:  
 Die umgerüstete und ergänzte Anlage produziert die Betonzuschläge mit den gestellten Anforderungen.  
 Schwankungen innerhalb der Rohmaterialqualität machen sich auch in den Betonzuschlägen bemerkbar. So sind die Korngrössenverteilungen der Brechsande abhängig vom Feinanteil und der Gesteinshärte des Rohmaterials.

#### 2.2.2.4 Anforderungen an die Zuschlagstoffe

Die Zuschlagstoffe müssen folgende Bedingungen erfüllen.

1. Minimale Gesteinshärte  
 (Diese wird an den Zuschlägen mittels Los Angeles Index (LA) gemäss EN 1097.2 definiert. Die Anforderungen betragen  $\leq 35$  für den Ortsbeton und  $\leq 40$  für den Spritzbeton.)
2. Geringer Anteil an petrographisch ungeeigneten Komponenten
3. Die durchschnittliche Korngrössenverteilung muss innerhalb des definierten Bereiches gemäss prEn 12620 liegen

4. Die zulässige Variationsbreite der durchschnittlichen Korngrössenverteilung darf nicht überschritten werden
5. Die Sauberkeit der Zuschlagstoffe ist nachzuweisen
6. Die Kornformanforderungen müssen erfüllt sein

Die Anforderungen 1 und 2 werden durch den Triagierungsprozess unter der Leitung der OBL an Vortriebsfront und mittels Laborprüfungen am Rohmaterial laufend kontrolliert.

- Die Gesteinshärte des Ausbruchmaterial wird mittels Brechbarkeitsindex und Punktlastindex bestimmt.
- Die Kontrollen des Anteils an petrographisch ungeeigneten Komponenten im Rohmaterial werden regelmässig durchgeführt.

Die Anforderungen 3 bis 6 werden im Baustellenlabor vor Ort kontrolliert. Die Durchführungen der Kontrollen liegen in der Verantwortung des Kiesaufbereiters (Unternehmer).

Für die Bestimmung der Anforderungswerte der Betonzuschläge wird zwischen Spritzbeton und Ortsbeton unterschieden.

Die Hauptwerte sind in den Besonderen Bestimmungen angegeben. Sie lauten :

- Für den Spritzbeton (SB)

Sand 0 ÷ 4 mm	Feinkornanteil $\leq 63 \mu\text{m}$	$\leq 16\%$
	Feinheitsmodul	2.5 – 3.2
	Korngrössenverteilung	gemäss prEN 12620

Fraktion 4 ÷ 8 mm	Feinkornanteil $\leq 63 \mu\text{m}$	$\leq 4\%$
	Plattigkeitsindex	$\leq 35$
	Korngrössenverteilung	gemäss prEN 12620

- Für den Ortsbeton (OB)

Sand 0 ÷ 4 mm	Feinkornanteil $\leq 63 \mu\text{m}$	$\leq 5\%$
	Feinheitsmodul	2.3 – 2.9
	Korngrössenverteilung	gemäss prEN 12620

Fraktionen 4/8, 8/16 und 16/22 mm	Feinkornanteil $\leq 63 \mu\text{m}$	$\leq 1.5\%$
	Plattigkeitsindex	$\leq 30$
	Korngrössenverteilung	gemäss prEN 12620

Zusätzlich darf der Wassergehalt 5% für den Sand und 1.5% für die anderen Kornfraktionen nicht überschreiten.

#### 2.2.2.5 Umsetzung der Qualitätskontrollen für die Betonzuschläge

Die Umsetzung der in den Besonderen Bestimmungen definierten Anforderungen stellen eine der Hauptschwierigkeit zur Gewährleistung der Qualität dar. Um dieses Ziel zu erreichen wurde ein kohärenter Prozess definiert. Dieser Prozess berücksichtigt die effektiven Randbedingungen welche bei der Aufbereitungsanlage in Raron auftreten.

Die Umsetzung der Anforderung stützt sich auf verschiedene Grenzwerte und zulässigen Abweichungen. Diese Grenzwerte sind wie folgt definiert :

- **Absoluter Grenzwert**  $_{\min, \max.}$  : Minimaler bzw. maximaler Grenzwert dessen Unter – bzw. Überschreitung unzulässig ist. Wenn die Anforderung nicht erfüllt ist, wird die Produktion zurückgewiesen.
- **Zielwert**  $_{\min, \max.}$  : Absoluter Grenzwert abzüglich der extremen Abweichungen  
Zwischen diesen beiden Zielwerte darf der Unternehmer seine Produktionskurve frei wählen.
- **Referenzwert** : Produktionswert, kontrolliert und genehmigt durch die Bauleitung.
- **Abweichung** : zulässigen resp. extreme Abweichungen bezüglich eines Referenzwertes.
- **Strafe** : finanzielle Strafe sobald eine zulässige Abweichung überschritten wird.

Durch Anwendung dieser Begriffe wurde die Umsetzung der Anforderung an die Baustellenverhältnisse angepasst. Die Resultate dieser Umsetzung sind tabellarisch im Bild 2 dargestellt.

Bild 2: Anforderungen an die Zuschlagstoffe, Beispiel Spritzbeton Süd

Korn Ø Ø granulats	Parameter Paramètres	Absoluter Grenzwert Valeur limite absolue		Zielwert Valeur cible		Schwankungsbereich auf Parameter Tolérances de variation sur les paramètres			Schwankungsbereich hinsichtlich Referenzwert (RW) Tolérances de variation par rapport à la valeur de référence			
		Min.	Max.	Min.	Max.	Niv. 1 (1)	Niv. 2 (2)	Strafe (3)	Niv. 1 (1)	Niv. 2 (2)	Strafe (3)	
Sand Sable Ø/4 mm	Siebrückstand Refus au tamis	1.40 x D = 6.3 mm <sup>5)</sup> 1.25 x D = 5 mm D = 4 mm	- - 0%	0% 1% 10%	- - 0%	0% 0% 7%	- - ≤ 7%	0% ≤ 1% ≥ 7% ≤ 10%	- - - 5% / %	- - -	- - -	- - -
	Feinheit Modul Module de finesse	FM	2.50	3.20	2.75	2.95	-	≤ 3.20 ≥ 2.50	-	± 0.20	± 0.25	- 5% / %
	Feinanteil (Siebdurchgang) Fraction fine (tamisat)	≤ 0.063 mm	0%	16%	0%	12%	-	≤ 16%	-	± 2%	± 4%	- 8% / %
	Wassergehalt Teneur en eau		0%	7%	0%	7%		≤ 7%	-	-	-	-
	Siebrückstand Refus au tamis	1.40 x D 1.25 x D D	- - 0%	0% 1% 15%	- - 0%	0% 0% 10%	- - ≤ 10%	0% ≤ 1% ≥ 10% ≤ 15%	- - - 5% / %	- - -	- - -	- - -
Kies Gravier d / D 4/8 mm	Siebdurchgang Tamisat / passant	d = 4 mm $\frac{1}{2} (d+D) = 6 \text{ mm}$	0% 30%	20% 70%	0 48%	15% 52%	≤ 15% -	> 15% ≤ 20% ≥ 30% ≤ 70%	- 5% / % -	- ± 12%	- ± 18%	- - 5% / %
	Feinanteil (Siebdurchgang) Fraction fine (tamisat)	≤ 0.063 mm	0%	4%	0%	4%	-	≤ 4%	-	-	-	-
	Kornform / Plattigkeitsindex Indice de forme		-	35	-	35	-	≤ 35	-	-	-	-
	Wassergehalt Teneur en eau		0%	1.5%	-	1.5%	-	≤ 1.5%	-	-	-	-
	Siebrückstand Refus au tamis	1.40 x D 1.25 x D D	- - 0%	0% 1% 15%	- - 0%	0% 0% 10%	- - ≤ 10%	0% ≤ 1% ≥ 10% ≤ 15%	- - - 5% / %	- - -	- - -	- - -

### 2.2.2.6 Alkali-Aggregat-Reaktion

Der Bauherr hat beschlossen, dass der Beton des Haupttunnels einen hohen AAR-Widerstand aufzeigen muss. Um diese neue Anforderung an den Beton zu erreichen werden folgende Schritte unternommen:

- Systematische Untersuchungen der geeigneten Rohmaterialien mittels petrographischen Untersuchungen und Mirkobartests
- Systematische Untersuchungen der Betonzuschläge mittels petrographischen Untersuchungen und Mirkobartests
- Konstruktive Massnahmen:  
Verhinderung des Wasserkontaktes mit dem Beton, z.B. mit Folienabdichtung
- Betontechnologische Massnahmen  
Bindemittelkonzepte mit 8% Silicastaub oder 30% Flugascheanteil
- Überwachung der Betonmischungen mittels Performanceprüfung

### 3. BETON

#### 3.1 Betonanlage, Betonsorten und Betonrezepturen

Der Bauunternehmer hat eine eigene Betonanlage zu errichten und zu betreiben, welche seinen Betonbedarf abdeckt.

Die mit der Betonanlage des Bauunternehmers zu produzierenden Hauptbetonsorten und die vorgeschriebenen Betoneigenschaften und Anforderungen sind in Anhang 4 tabellarisch dargestellt.

Hauptbetonsorten:

- Spritzbeton zur Ausbruchsicherung
- Sohlenbeton
- Verkleidungsbeton
- Tübbing

Die in Anhang 4 vorgesehenen Haupt-Betonrezepturen gelten als Grundlage für die Preisberechnung zur Ermittlung des Angebotes. Die angegebenen Typen und Dosierungen der Bindemittel und Zusätze sind vom Unternehmer in den Betoneinheitspreisen einzurechnen. Bei Änderungen der Typen oder der Dosierungen der einzelnen Betonkomponenten wird der Betonpreis mit Hilfe der offerierten Kalkulationsbasispreisen definitiv angepasst.

Die Ermittlung der endgültigen Betonrezepturen zur Erfüllung der vorgeschriebenen Betonqualitäten liegt in der Verantwortung des Bauunternehmers. Die örtlichen Verhältnisse (Herstellung, Transport, Pumpbarkeit, Verarbeitbarkeit, Einbringen usw.) sind durch den Unternehmer zu berücksichtigen.

Die endgültigen Betonrezepturen sind vorzeitig mittels Vorversuchen durch den Unternehmer zu entwickeln und nachzuweisen.

#### 3.2 Materialtechnische Abklärung des Bauherrn

##### 3.2.1 *Problemstellung AAR*

Aufgrund der vorhandenen geologischen Erkenntnisse des Lötschberg Basistunnels, war zu erwarten, dass Gesteinstypen wie Gneis, Granit, Kieselkalk und Granodiorit AAR-empfindliche Mineralien enthalten könnten.

Nach dem Arbeitsbeginn der Baulose wurde die AAR-Reaktivität der verschiedenen Ausbruchmaterialien systematisch geprüft.

Die Prüfung der Rohrmaterialien haben gezeigt, dass die meisten Materialien gering bis hoch AAR-gefährdet sind.

Aufgrund dieser Feststellungen wurde durch den Bauherrn die Entscheidung getroffen, dass alle im Basistunnel integrierten Betone AAR-beständig sein müssen.

Die durch BLS AT bestimmte Arbeitsgruppe Betontechnologie (AGBE) wurde beauftragt, folgende Probleme zu behandeln.

- Systematische Prüfung der AAR-Reaktivität der für die Zuschlagstoffe vorgesehenen Rohmaterialien.
- Vorschlag für die Auswahl von geeigneten Betonsystemen.
- Durchführung von Voruntersuchungen zur Bestimmung von AAR-beständigen Betonrezepturen.
- Systematische Nachweise der AAR-Beständigkeit mittels Performancetest.
- Entwicklung von optimalen Referenzbetonrezepturen betreffend Qualitätsanforderungen/Kosten.

##### 3.2.2 *Sulfatwiderstand*

- Mit Ausnahme der relativ geringen Trias-Zone in Raron beträgt die Expositionsklasse des Tunnelbetons maximal die Stufe XA2.

- Der relativ geringe C3A-Anteil der gelieferten Zemente (Vigier im Norden und JCF im Süden) erlaubt es den Sulfatangriff mittels gleicher Bindemittelkonzepte zu begegnen wie sie für die AAR-Problematik eingesetzt werden, d.h. 70% CEM I und 30% Flugasche (Anhang 5).
- Zur Qualitätsüberwachung des Sulfatwiderstandes werden die Kurzsulfatprüfungen gemäss Methode ‚Hammerschlag‘ und ‚Studer‘ eingesetzt.

### **3.2.3 Programm für Laborbetonversuche**

Zur Entwicklung der optimalen Referenzbetonrezepturen wurde ein Programm für Laborversuche definiert. Mit diesen Versuchen wurden besonders die folgenden Parameter getestet:

- die ausgeschriebenen Hauptbetonrezepturen welche als Referenzwerte für die Beststellungsänderungen gelten werden.
- Anpassung des Körnungsgemisches an die Materialbilanzen der Aufbereitung mit dem Ziel möglichst wenig Überschusskomponenten zu erhalten.
- geeignete Wahl der Betonkomponente (Zement, Flugasche, Silikafume, Zusätze, Kornverteilung der Zuschlagstoffe) unter Berücksichtigung der AAR-Reaktivität.
- Kostenoptimierung hinsichtlich der vertraglichen Bedingungen.
- Prüfen aller vertraglichen Betonanforderungen unter besonderer Achtung an die Verarbeitbarkeit, AAR- und Sulfatbeständigkeit.

Das geplante Versuchsprogramm für die Betone ist in Anhang 6 dargestellt.

### **3.2.4 Erste Resultate der Laborbetonversuche**

#### **3.2.4.1 Südabschnitt**

Die ersten Laborversuche mit der Hauptgruppe der granitischen Zuschlägen des Südabschnitts haben positive Ergebnisse hervorgebracht (s. Anhang 7 bis 9):

- Die richtige Wahl der Zusatzmittel erlaubt es gute Frischbetoneigenschaften bis zu zwei Stunden zu erreichen.
- Die Festigkeitsanforderungen werden erfüllt, inkl. der Frühfestigkeitsanforderung (Spritzbeton und Tübbing).

#### **3.2.4.2 Nordabschnitt**

Im Nordabschnitt wurden seit März 01 bis Juli 02 rund 66'000m<sup>3</sup> Spritzbeton und rund 48'000m<sup>3</sup> Ortbeton eingebracht. Der Spritzbeton wird mit einem Mischzement (CEM II/A-M(D-LL) 52.5N) hergestellt, der einen hohen Widerstand gegenüber AAR und Sulfat aufweist. Für den Ortbeton werden Bindemittelkonzepte basierend auf CEM I 42.5 und Flugascheanteilen zwischen 25 und 30% eingesetzt.

### **3.2.5 Erfahrungen zum Thema Beton**

- Bild 7 zeigt die Bandbreite der Kostendifferenzen welche zwischen den ausgeschriebenen und den vorgesehen Betonrezepturen erwartet werden.

Bild 7. Bandbreite der Preisdifferenz der Betontypen BLS AT

Betontyp	Festigkeitsklasse	Preisdifferenz zw. ausgeschriebenen und tatsächlichen Rezepturen
Spritzbeton	SB 35/25	+2 bis -9%
Tübbing	OB 45/35	+8 bis -10 %
Verkleidung	OB 35/25	+6 bis -3%
Sohlenbeton	OB 35/25	+5 bis -2%

- Folgende Punkte können aus den ersten Erfahrungen aufgeführt werden:
  - Qualitätsschwankungen können nicht nur an den Betonzuschlägen festgestellt werden, sondern an allen Betonkomponenten (Zuschläge, Bindemittel, Zusatzmittel)
  - Interessenkonflikt zwischen den verschiedenen Beteiligten (Lieferanten)
  - Know-how-Verlust bei den verschiedenen vertraglichen Parteien.
  - Extreme Anforderungen hinsichtlich Leistungen, Betoneigenschaften, Logistik usw.

#### 4. SCHLUSSFOLGERUNG

Der ganze Aufbereitungsprozess des Ausbruchmaterials bis hin zur Betonproduktion bildet eine zusammenhängende Kette. Folgende Punkte können aus bisheriger Erfahrung hervorgehoben werden:

- Eine optimale Wiederverwendung der Ausbruchmaterialien mit möglichst wenig an Überschuskomponenten kann erreicht werden.
- Es ist wichtig, dass ausschliesslich Rohrmaterial der Klasse K1 für Herstellung der Betonzuschläge verwendet wird.
- Grössere Schwankungen der Zuschlagstoff-Eigenschaften führen zu entsprechenden Anpassungen der Betonrezepturen.
- Der Bauherr definiert die geforderten Eigenschaften und die zusätzlichen Anforderungen an die Betontypen.  
Die Entwicklung der endgültigen Betonrezepturen liegt in der Verantwortung des Unternehmers. So kann der Unternehmer die Betonrezepturen seiner Logistik und seinem Bauprogramm optimal anpassen.
- Die schwierigsten Hindernisse die es zu lösen gilt, sind wieder einmal, eher die menschlichen als die technischen Probleme.
- Die ersten Erfahrungen zeigen, dass wegen der strengen Anforderungen hinsichtlich der Termine, Anforderungen, durchlaufender Betrieb, Kostendruck die Bauwirtschaft an ihre kritische Grenze stösst. Es besteht die Gefahr, dass gut ausgebildete Fachleute diesen Sektor eher umgehen als anpacken werden!

Anhang 1

Bild 2: Kiesaufbereitung Mitholz

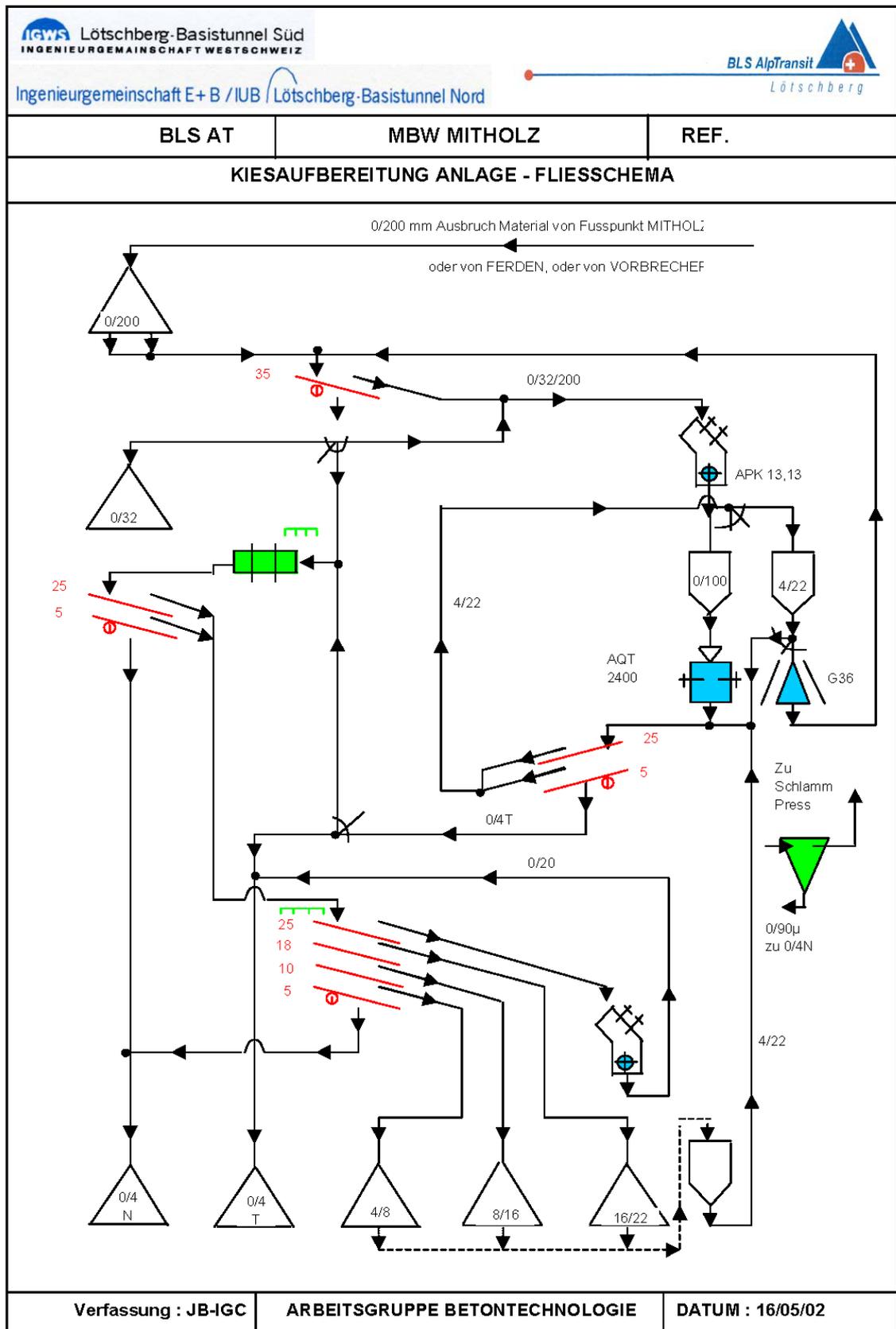


Bild 3: Kiesaufbereitung Raron



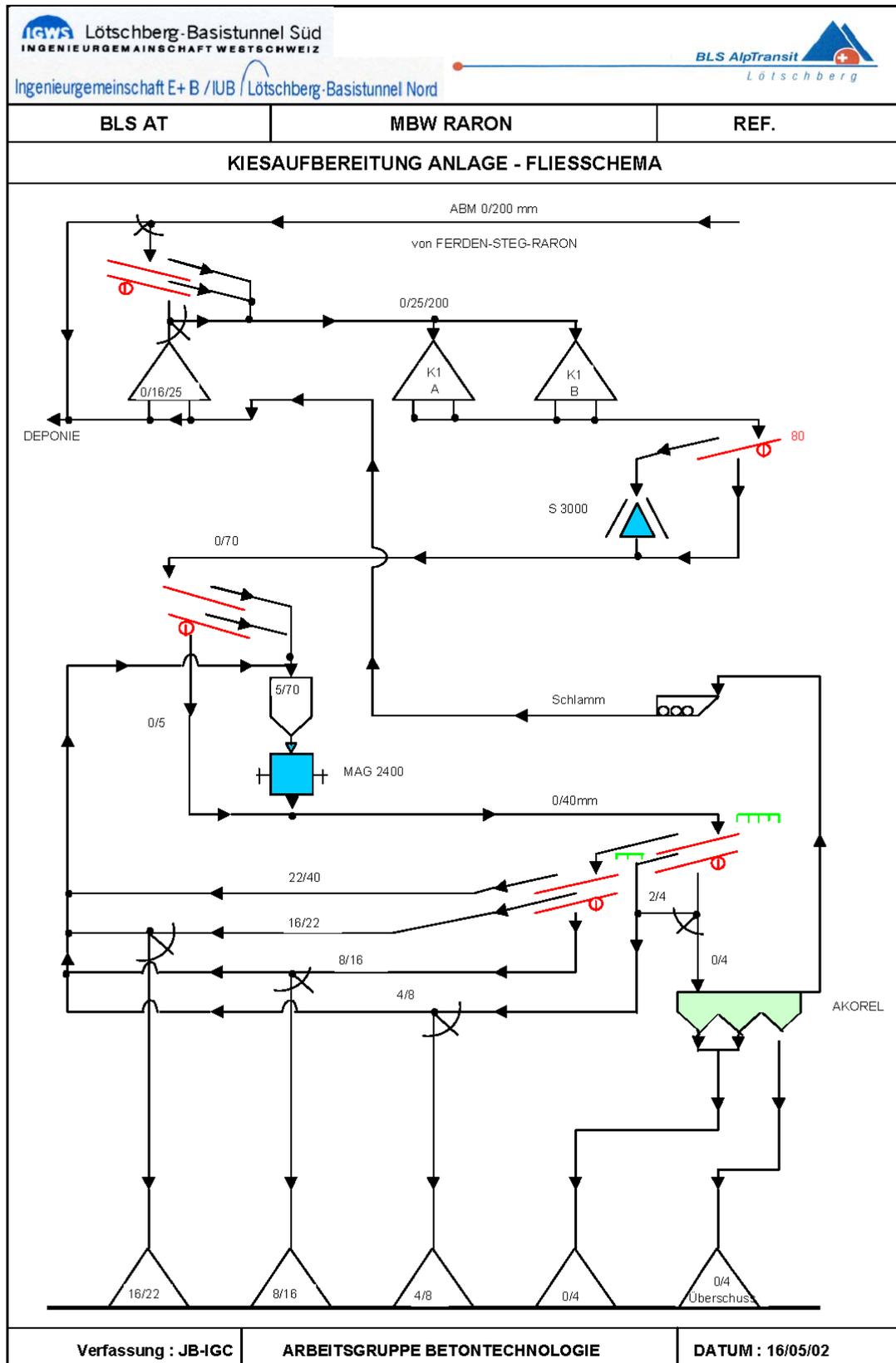
Anhang 2

Bild 4: Fließschema Anlage Mitholz



Anhang 3

Bild 5: Fließschema Anlage Raron



Anhang 4

Bild 6: Ausgeschriebene Hauptbetonsorten

Lötschberg Basistunnel LBN+LBS

**AUSGESCHRIEBENE BETONSORTEN UND BETONREZEPTUREN**

	Spritzbeton zur Ausbruchsicherung		Sohlenbeton Fundamentbeton		Schalbeton für Verkleidung		Schalbeton für Tübbings	
	LBS	LBN	LBS	LBN	LBS	LBN	LBS	LBN
<b>Bezeichnung</b>	Kl. C/D SIA 198 trocken nass	Kl. C SIA 198/162 nass	B30/20 SIA 162	B35/25 SIA 162	B35/25 SIA 162	B35/25 SIA 162	B40/30 SIA 162	
<b>Anforderungen</b>								
Druckfestigkeit N/mm <sup>2</sup>	35/25		30/20	35/25	35/25		40/30	-
Frühfestigkeit 4 St.	≥ 3 N/mm <sup>2</sup>		-	-	-	-	-	-
12 St.	≥ 10 N/mm <sup>2</sup>		≥ 10 N/mm <sup>2</sup>		-	-	-	-
24 St.	≥ 15 N/mm <sup>2</sup>		-	-	-	-	-	-
Dichtigkeit								
Wassereindringtiefe (DIN 1048)	Kl. C: e < 3,5 cm Kl. D: e < 2,5 cm	e < 5 cm	e < 5 cm		e < 2,5 cm	e < 5 cm	e < 2,5 cm	-
Frost-/Frosttausalzbeständigkeit								
FS > 1,5	-		-	-	-	-	-	-
N50 > 100	bis 500 m ab Portal		bis 500 m ab Portal	bis 2000 m im Untertag	bis 500 m ab Portal	bis 2000 m im Untertag	bis 500 m ab Portal	-
Δm <sub>sp</sub> ≤ 600 g/m <sup>2</sup>								
Sulfatbeständigkeit	wenn > 250 mg/l	-	wenn > 250 mg/l		wenn > 250 mg/l		überall	-
AAR-Beständigkeit	AAR-beständig		AAR-beständig		AAR-beständig		AAR-beständig	
Pumpbarkeit	pumpbar		pumpbar		pumpbar		-	-
W/Z - Faktor	≤ 0,50		≤ 0,50		≤ 0,50		≤ 0,45	-
Haftzugfestigkeit	1,0 N/mm <sup>2</sup>	-	-	-	-	-	-	-
<b>Vorgeschene Rezeptur</b>								
Zuschlagstoffe	0 + 8 mm		0 + 22 mm		0 + 22 mm		0 + 22 mm	-
Zement	CEM I 52,5 : 425 kg/m <sup>3</sup> 375 kg/m <sup>3</sup>	CEM I 42,5 : 440 kg	CEM I 52,5 : 300 kg/m <sup>3</sup>	CEM I 42,5 : 340 kg/m <sup>3</sup>	CEM I 32,5 : 325 kg/m <sup>3</sup>	CEM I 42,5 : 300 kg/m <sup>3</sup>	CEM I 52,5 : 350 kg/m <sup>3</sup>	-
Bindemittel	Microsilica : 30 kg/m <sup>3</sup>	Microsilica : 20 kg/m <sup>3</sup>	-	-	Flugasche : 95 kg/m <sup>3</sup>	Flugasche : 80 kg/m <sup>3</sup>	-	-
Zusätze :								
- Verflüssiger (HBV)	1,2% von (Z+B)		1,2% von Z		1,2% von (Z+B)		1,2% von (Z+B)	-
- Abbindebeschleuniger (BE)	6% von (Z+B)	7% von (Z+B)	-	-	-	-	-	-

24.05.2002

Anhang 5: Beton mit Sulfatwiderstand:

Ingenieurgesellschaft Löttschberg-Basistunnel bestehend aus:

Ingenieurgesellschaft E+ B / IUB Löttschberg-Basistunnel Nord

## Sulfatwiderstand

### Anerkannte Empfehlungen der aktuellen Regelungen (1)

		Kritischer Wert	Situation LBT
<b>UMWELT</b>	Aggressivität : SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> Gehalt	Max. 3gr/l – EN 206 XA2	Max. 2 gr/l ausser LBS-TRIAS
	Umgebungstemperatur	≤ 15°	≥ 20° (bis 30° möglich)
<b>BINDEMITTEL</b>	Typ : CEM I (2) C3A C3A + 0,27 C3S  oder CEM I + - Microsilica (MS) - Flugasche (FA) (3)	≤ 10  ≤ 23,5  0,92 CEM I + 0,08MS 0,75 CEM I + 0,25FA	CEM I von VIGIER + JCF  in Ordnung  <b>Vorschlag AGBE</b> <b>0,70 CEM I + 0,30FA</b> (für Ortbeton)
	Dosierung	Minimum 330 kg/m <sup>3</sup> für 0/25 mm	minimum 350 kg/m <sup>3</sup> (CEM I + FA)
	Ca(OH) <sub>2</sub> Gehalt nach Erstarrung	So gering wie möglich	CEM I + FA In Ordnung
<b>BETON</b>	Festigkeitsklasse	Minimum C 30 (EN 206)	Minimum B 35/25
	Wasser/Bindemittel Faktor (CEM I = FA = 1)	Maximum = 0,50	< 0,48
	Wassereindringtiefe	So gering wie möglich	≤ 30 mm (DIN 1068)

- (1) Italien, U.K., Frankreich, USA.
- (2) Für den LBT ist der Einsatz von Bindemitteln bestehend aus ausschliesslich CEM I und/oder CEM I HS ist infolge des AAR-Risikos nicht möglich.
- (3) Die Benutzung des CEM III B ist auf die Trias-Bereiche begrenzt

### Anhang 6: Geplantes Programm der Laborbetonversuche

QUALITE BETON	NORD						SUD						RHONEBRUCKENRARON					
	SB 35/25 0/18KK	P 35/25 0/22KK	SVB35/25 0/16KK	SOHLEN 35/25 0/16KK	OB 35/25 0/16KK	SB 35/25 0/18KK	P 35/25 0/22KK	SVB35/25 0/16KK	OB 35/25 0/16KK	SB 35/25 0/18KK	P 35/25 0/22KK	SVB35/25 0/16KK	OB 35/25 0/16KK	SB 35/25 0/18KK	P 35/25 0/22KK	SVB35/25 0/16KK	OB 35/25 0/16KK	SB 35/25 0/18KK
TYPE ESSAIS	Aggregat - Petro. - Hare + Form./durée																	
	COMPOSITION																	
ETUDE	Siekkuve / Graillo																	
	Bindemittel Dosage / kg/m3																	
FESTKETT / RESISTANCES	400 + 420																	
	340 + 360																	
Dichtgkeit / Permeabilité	0,45																	
	0,46																	
Frost / gel	VM/AM (K3 0-150 Min.)																	
	VM/AM (K3 0-150 Min.)																	
Sulfat Beständigkeit	20°																	
	20°																	
AAR-Microbar abgeändert	20°																	
	20°																	
AAR-Performance Test	20°																	
	20°																	
Schwinden / Retrait	20°																	
	20°																	
Elastizität Modulus/Module	20°																	
	20°																	
BINDEMittel	CT 180																	
	CEM I 42,5 + PFA (70/30)																	
LEGENDE	P = PLASTISCHER BETON - SB = SPRITZBETON - SVB = SELBSTVERDICHTENDER BETON																	
	KK = KIESELKALK - OK = QUINTNERKALK - UW = UNWETTER - GG = GASTERN GRANIT																	
Anforderungen in rot / Exigence en rouge																		
PFA = FLUGASCHNE																		
CSF = SILICA FUME																		
J = Jahr / Tag																		

### Anhang 7: Betonlaborversuche Tübbing

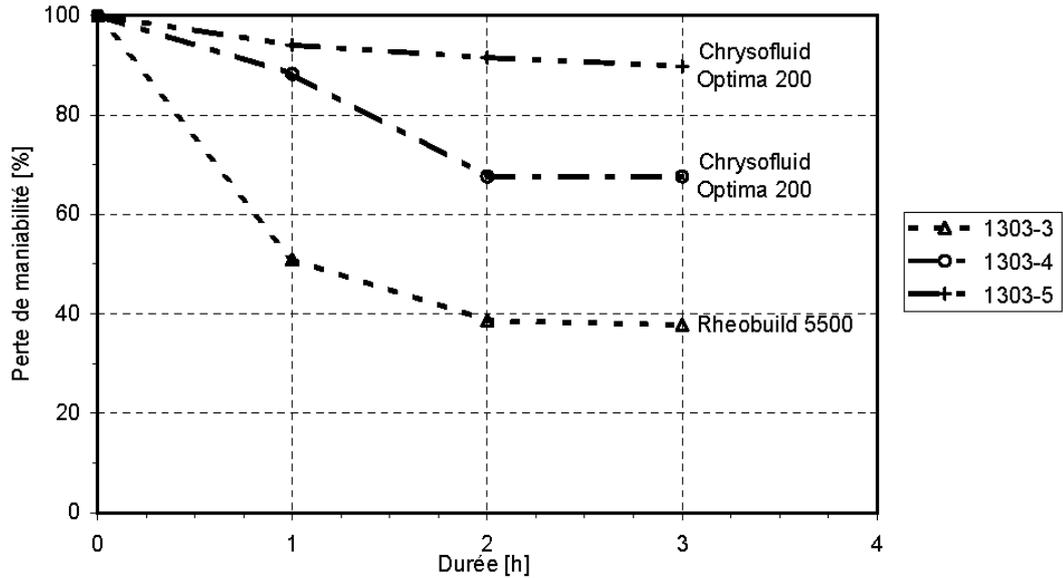
BLS AT		BETON - TECHNISCHES BLATT			REF.
LOS : 46.43.010 Steg-Raron		Bauelement : <b>Tübbing</b>			Zuschlastoffe : <b>O / 22 mm</b>
Betonart : <b>OB 45/35</b>		Konsistenz : S1 /S2			Granit-gneis
REZEPTUR					
Komponenten	Ausbeschreibung	Ausführung	Unternehmung	Startrezeptur	BEMERKUNGEN
0/4-1	701	699		700	LIEFERANT = MBK Raron
0/4-2					
4/8	422	421		416	
8/16	480	479		473	
16/22-25	317	310		303	
Gesamt					
Zement :	*CEM III B/350	CEM I/240		CEM I/240	Lieferant = JCF
Flugasche		110		110	
Mikrosilica					
Zusatzmittel :	1.00%	1.00%		1.80%	
Gesamt					
Wasser/Bindemittel	0.44	0.45		0.44	<b>K=1</b>
FEST BETON					
	Anforderungen	AGBE			Anforderungen
Wassereindringtiefe	Unten 50 mm			Sulfatbeständigkeit	XA 2
Frost/Frostauszählbeständigkeit	Über 15			AAR Beständigkeit	Ja
Druckfestigkeit N/mm <sup>2</sup>	Auschreib.	AGBE	Untern.	Startrezept.	
1	18.5	24.0		23.4	<b>18 heures à 60°</b> * CEM III B 42,5 JURANIT, denn CEM I 52,5 HS nicht mehr verfügbar von JCF  <b>Minimum 45</b>
2	40.2	36.6		35.0	
4	46.5	38.0		39.9	
7	52.9	43.9		44.2	
<b>28</b>	74.3	53.0		59.4	
50		57.8			
Verfasser : JB-IGC		ARBEITSGRUPPE BETONTECHNOLOGIE			Datum: 21.03.02

Anhang 8: Betonlaborversuche Tunnelverkleidung

BLS AT		BETON - TECHNISCHES BLATT			REF.
LOS : 46,43,010 Steg-Raron		Bauelement : <b>Tunnel Verkleidung</b>			Zuschlastoffe : <b>0 / 22 mm</b>
Betonart : <b>OB 35/25</b>		Konsistenz : F3 / F4			Granit-gneis
REZEPTUR					
Komponenten	Ausreibung	Ausführung	Untermehung	Startrezeptur	BEMERKUNGEN
0/4-1	691	752		711	Lieferant = MBK Raron
0/4-2					
4.8	310	322		304	
8/16	518	538		508	
16/22-25	207	180		170	
Gesamt					
Zement : CEM I 42,5	* 310	270		270	Lieferant = JCF
Flugasche	95	110		130	
Mikrosilica					
Zusatzmittel :	1.20%	1.50%		1.20%	
Gesamt					
Wasser/Bindemittel	0.48	0.47		0.48	K=1
FEST BETON					
	Anforderungen	AGBE		Anforderungen	AGBE
Wassereindringtiefe	Unten 50 mm			Sulfatbeständigkeit	XA 2
Frost/Frostauszbeständigkeit				AAR Beständigkeit	Ja
Druckfestigkeit N/mm <sup>2</sup>	Ausreib.	AGBE	Untern.	Startrezept.	* Zement Gehalt aus BB ist 325kg/m <sup>3</sup> CEM I 32,5 CEM I 32,5 ist nicht mehr verfügbar 325 kg CEM I 32,5 = 310 CEM I 42,5
1	20.2	17.4			
2	30.4	27.6		22.7	
4	33.5	30.5		28.0	
7	37.3	33.7		33.0	
28	44.0	44.3		44.2	
50	49.7	49.4			
Verfasser : JB-IGC		ARBEITSGRUPPE BETONTECHNOLOGIE			Datum : 21.03.02

Anhang 9: Betonlaborversuche Zuschläge ‚Granitgneise‘ LBT Süd:  
Verarbeitung und Frühfestigkeitsentwicklung

**Evolution de la maniabilité des bétons frais**  
mesure de l'étalement DIN sans secousse



**Evolution de la résistance à la compression en fonction de l'âge**

les valeurs mesurées sont indiquées par des signes  
les courbes sont définies d'après la loi logarithmique

