

Beton aus TBM-Ausbruchmaterial: Aufbereitungs- und Betonvorversuche im Hinblick auf AlpTransit Gotthard

Autor(en): **Kruse, Matthias / Weber, Robert**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Schweizer Ingenieur und Architekt**

Band (Jahr): **113 (1995)**

Heft 47

PDF erstellt am: **12.07.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-78814>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern. Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Matthias Kruse, Zollikon, und Robert Weber, Emmen

Beton aus TBM-Ausbruchmaterial

Aufbereitungs- und Betonvorversuche im Hinblick auf AlpTransit Gotthard

Solange der Vorrat an hochwertigen Alluvialkiesen noch schier unerschöpflich schien, hielten sich in der schweizerischen Baufachwelt verbreitet die Vorbehalte gegenüber der Verwendung von «zweifelhaften» Kiesersatzmaterialien beim konstruktiven Betonbau. Dies zeigte sich ausgeprägt in grundsätzlichen Bedenken gegenüber der Nutzung von Betonzuschlägen kristalliner Herkunft wegen den petrographisch als ungeeignet beurteilten Feldspäten und Glimmern. Aber auch ein Ausbruchmaterial eines maschinellen Tunnelvortriebs (sog. TBM-Material) galt in bezug auf die Herstellung von Betonzuschlägen kaum als geeigneter Baurohstoff, weil es offenkundig sehr feinkörnig ist und weil die Körner ausgeprägt plattig und stengelig sind (sog. Chips). Im Rahmen der Planung AlpTransit Gotthard werden diese Vorbehalte intensiv und kritisch hinterfragt.

Beim Bau des Gotthard-Basistunnels fallen unweigerlich Ausbruchmaterialien an, die all die oben aufgezählten Eigenschaften aufweisen. Die Menge ist dabei beträchtlich. Eine ökologisch und ökonomisch begründete Eigenversorgung der Baustellen von AlpTransit mit aufbereiteten Ausbruchmaterialien muss deshalb zwangsläufig diesen Einwänden Rechnung tragen. Im Hinblick auf die AlpTransit-Eigenversorgung, aber auch im Hinblick auf die Abgabe von überschüssigem Material an Dritte stellte sich somit die Aufgabe, die Eignung und die Nutzungsmöglichkeit der anfallenden Ausbruchmaterialien fundiert mit materialtechnologischen Vorversuchen zu prüfen.

Erste materialtechnologische Vorversuche

Die Vorversuchsreihe begann 1993 mit einem Grundlagenversuch, wobei Ausbruchmaterial aus dem gefrästen Umfahrungstunnel von Locarno verwendet wurde. Das Material wurde gebrochen, klassiert und als Zuschlagstoffe für einen Ort- und Spritzbeton getestet. Dieser Versuch lieferte erste Anhaltspunkte über die Aufbereitungseignung und Betontauglich-

keit eines TBM-Materials aus kristallinem Gestein.

Mit Beginn des AlpTransit-Sondierstollens Piora-Mulde in Polmengo und des Kraftwerk-Druckstollens in Amsteg standen nun vor allem repräsentative Ausbruchmaterialien des zukünftigen Gotthard-Basistunnels für die Aufbereitungs- und Betonversuche zur Verfügung. Vorversuche mit diesen Ausbruchmaterialien fanden im Zeitraum August 1994 bis März 1995 statt, weitere werden folgen. Neben der Erweiterung der bisherigen Erkenntnisse mit ortsspezifischen Gesteinen bezweckten die Versuche vor allem auch die Untersuchung von Fragestellungen, welche für die Ausschreibung der Materialbewirtschaftung von hoher Bedeutung sind, wie

- das Evaluieren geeigneter und wirtschaftlicher Verfahrenstechniken bei der Aufbereitung
- die optimalen Nutzungs- und Vermarktungsmöglichkeiten für die Wiederverwertung im Projekt AlpTransit Gotthard wie auch für die Abgabe von Überschussmaterial an den Rohstoffmarkt.

Nachfolgend wird über den derzeitigen Stand der Aufbereitungs- und Betonvorversuche von AlpTransit Gotthard und

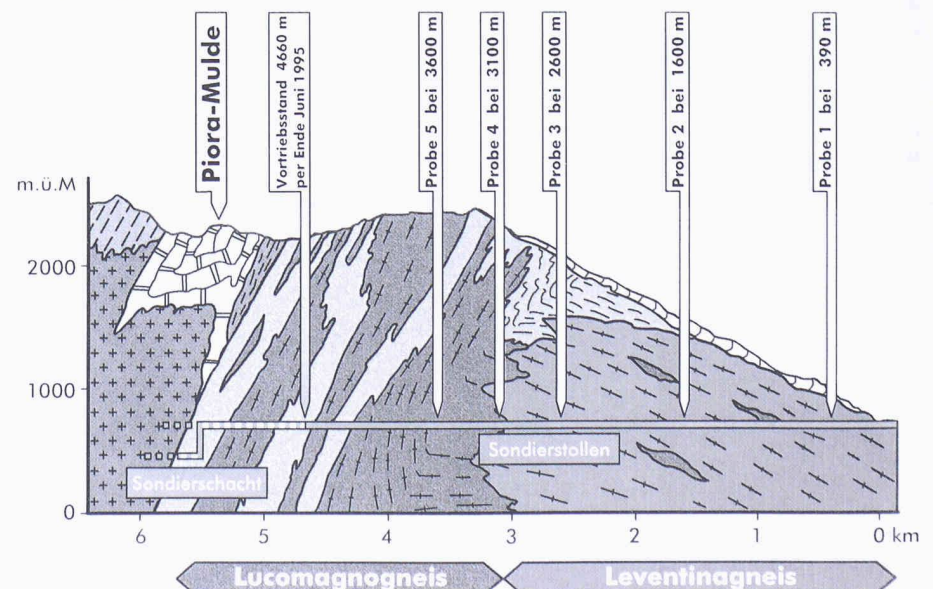
über die bisherigen Erfahrungen berichtet. Es werden hierbei schwergewichtig die Untersuchungen mit Ort- und Pumpbeton dargestellt.

Versuchsfeld

Für die zwischen August 94 und März 95 durchgeführten Versuche standen die während dieser Zeit angefallenen Ausbruchmaterialien zur Verfügung. Beim Sondierstollen Polmengo waren dies verschiedene Proben des leicht glimmerhaltigen Leventinagneises (Bild 1). Beim Druckstollen Kraftwerk Amsteg wurde eine Probe des Chlorit-Serizit-Gneis/Schiefers aus der geologischen Zone des Erstfelder Gneises genommen. Seit Beginn dieses Jahres nun befindet sich der Vortrieb im Sondierstollen Polmengo in der glimmerreicheren Lucomagnogneiszone, der in der Zwischenzeit weitere Probematerialien entnommen wurden. Die Untersuchungen dieser Materialien sind zur Zeit im Gang.

Die bis dahin getesteten TBM-Probematerialien neigten zu einer hohen Feinkörnigkeit, was für die TBM-Materialien recht typisch ist (Bild 2). Von jedem Material wurden etwa 100 m³ für die Aufbereitungsversuche ausgeschieden. Aufbereitet, d.h. gewaschen, gebrochen und in Fraktio-

Bild 1.
Geologie Sondierstollen Polmengo und Probenentnahmeorte



nen getrennt, wurden sie in der Kiesaufbereitungsanlage der Baustelle Kraftwerk Amsteg, in Kieswerken im Tessin sowie im Kanton Solothurn. Die Auswahl der Aufbereitungsanlagen erfolgte primär unter dem Gesichtspunkt der optimalen Verfahrenstechnik. Es wurde soweit wie möglich versucht, jene Anlagen zu testen, die gegebenenfalls später für eine AlpTransit-Aufbereitung in Frage kommen.

Die Materialaufbereitung lag in den Händen der Projektorganisation AlpTransit. Für die Betoneignungsprüfungen wurde die EMPA beauftragt, die ähnliche Materialien schon von anderen Baustellen getestet hat [1]. Für die petrographischen und granulometrischen Untersuchungen konnte die Mitarbeit des geologischen Instituts der ETH Zürich gewonnen werden, an dem zur Zeit eine durch AlpTransit unterstützte Dissertationsarbeit auf dem Gebiet der Wiederverwendung von Ausbruchmaterialien entsteht [2].

Mit den Betoneignungstests wurden grundsätzlich drei Sorten TBM-Betonzuschläge geprüft, die unterschiedlich hohe Qualitätseigenschaften erwarten liessen:

Sorte 1:

unbehandeltes Rohmaterial (abgetrennt bei 32 bis 40 mm)

Sorte 2:

gewaschene, nicht gebrochene Sand- und Kieskomponenten, getrennt in die Fraktionen 0/4, 4/8, 8/16, 16/32

Sorte 3:

gewaschene und gebrochene Sand- und Kieskomponenten, getrennt in die Fraktionen 0/4, 4/8, 8/16, 16/32.

Die Sorten 2 und 3 wurden je einmal nach einer Standard-SIA-Siebkurve und nach einer feinkörnigeren Siebkurve zusammengesetzt (Bild 3). Letztere Zusammensetzung orientiert sich an der «natürlichen» Siebkurve eines TBM-Rohmaterials, wobei jedoch im Feinsandbereich kleiner 0,25 mm der SIA-Bereich für Standardmaterial eingehalten wurde (sog. «TBM-angenähert»).

Kommentierung der Versuchsergebnisse

Durch ein schonendes Brechen mit Prallmühlen und Vertikalbrechern gelang es, die Kornform der Chips zum Teil in erheblichem Masse zu verbessern. Dies äussert sich beispielsweise in der Abnahme der nicht kubischen Komponenten gemäss VSS/SN-Norm 670 710 d (Tabelle 1). Die Aufbereitungsversuche liessen deutlich erkennen, wie wichtig die Abstimmung der Aufbereitungstechnik auf die Rohmaterialbeschaffenheit ist (Chipsdicke, Kornabstufung u. a.).

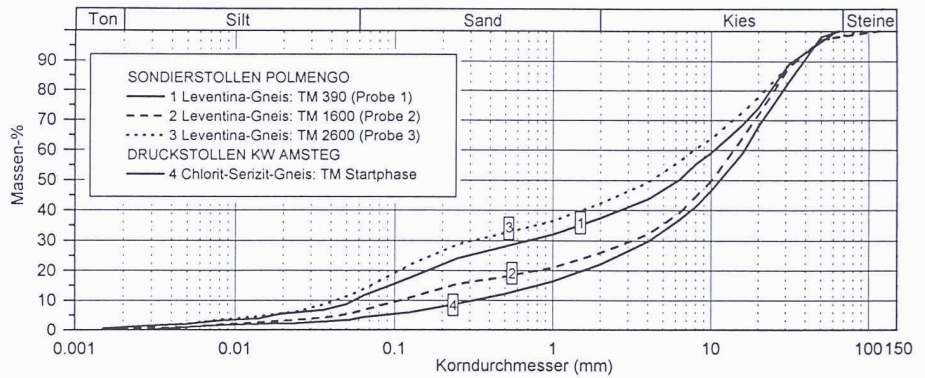


Bild 2. Siebcurven der untersuchten TBM-Rohmaterialien

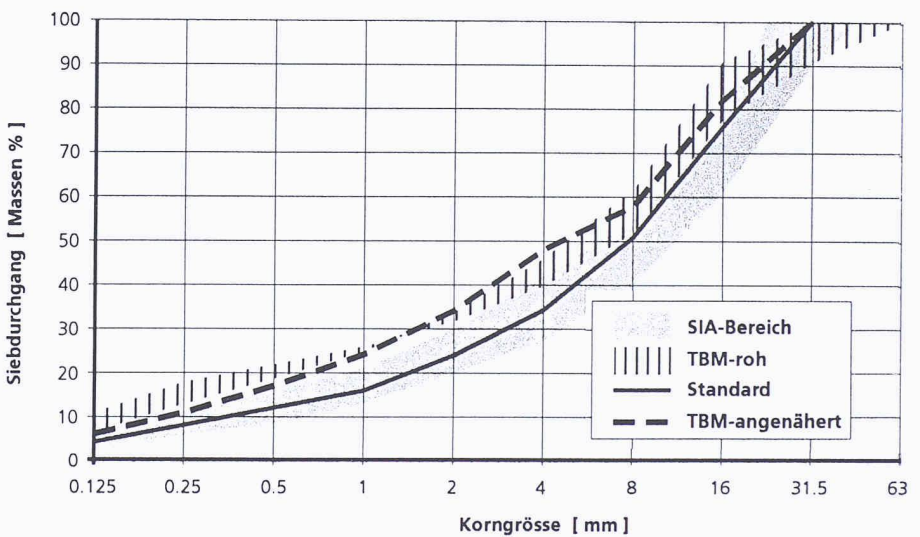


Bild 3. Siebcurven der Betonzuschläge bei den Ortbetonuntersuchungen

	Fraktion 4/8	Fraktion 8/16	Fraktion 16/32
TBM-Chips ungebrosen (Zuschlagsorten 1 und 2)	63 bis 70%	72 bis 85%	79 bis 96%
TBM-Chips gebrosen (Zuschlagsorte 3)	26 bis 57%	26 bis 63%	31 bis 75%

Tabelle 1. Anteil nicht kubischer Komponenten nach VSS/SN-Norm 670 710 d

	Komponente 0/4 (Stück-%)	Gemisch 0/8 (Stück-%)	Gemisch 0/32 nach SIA (Stück-%)
Sorte 1: TBM-Rohmaterial ungewaschen	≤14%	≤9%	≤5%
Sorte 2: TBM-Rohmaterialien ungebrosen, nassklassiert	≤12%	≤8%	≤4%
Sorte 3: TBM-Materialien gebrosen, nassklassiert	≤9%	≤4%	≤2%

Tabelle 2. Anteil petrographisch ungeeigneter Komponenten (Gehalt an freien Glimmerblättchen, mikroskopisch bestimmt)

Eine Veredelung des Kornes führt aber zwangsläufig dazu, dass der Nutzungsanteil des Rohmaterials sinkt, da in bezug auf eine SIA-Siebkurve 0/32 zu wenig Kieskomponenten 16 bis 32 mm entstehen (Reduktion des Nutzungsanteiles gegen 10 bis 40%, falls ausschliesslich Zuschläge von 0 bis 32 mm verlangt werden). Dies rührt allein schon daher, dass sich nur ein kleiner Teil des Rohmaterials für ein Brechen eignet. (Körner > 8 mm). Eine optimale Nutzung des maschinellen Ausbruchmaterials muss deshalb von einem Ansatz ausgehen, der auch die Nutzung der ungebrochenen Körner miteinschliesst. Ebenso ist bei einem Ort beton aus aufbereiteten TBM-Zuschlagstoffen in Betracht zu ziehen, das Grösstkorn auf 22 oder 26 mm zu beschränken. Dies bedeutet, dass bei der Verwendung von Betonzuschlagstoffen aus TBM-Chips von den bisherigen Vorstellungen über die Granulometrie und die Kornformeigenschaften abgerückt werden muss. Die SIA-Norm 162, Ausgabe 1989/93, behindert solche Neuorientierungen grundsätzlich nicht. Im Gegenteil, bei der Wahl des Zuschlagstoffes lässt sie dem Anwender weitgehend freie Hand, solange die Eignung des Stoffes schlüssig mit Vorversuchen nachgewiesen werden kann.

Die kristalline Provenienz des untersuchten Rohmaterials äusserte sich in der petrographischen Beschaffenheit der Betonzuschlagstoffe [2]. Beim Leventinagneis, der in grossen Mengen bei den südlichen Baulosen des Basistunnels anfallen wird, handelt es sich um einen paralleltexturierten Glimmergneis von eher gleichkörniger Struktur mit tendenziell dispers verteilten Glimmermineralien. Die Hauptgemengteile stellen die Feld- und Kalifeldspäte mit 40 bis 45 Vol-% und der Quarz mit 30 bis 35 Vol-% dar. Der gesamte Glimmeranteil (Muskowit und Biotit) beträgt zirka 10 bis 15 Vol-% und ist somit nur mäßig hoch. Beim Chlorit-Serizit-Gneis/Schiefer handelt es sich andererseits um einen feinkörnigen Gneis/Schiefer von unregelmässiger und gefälteter Textur, bei dem die Chlorit- und Serizit-Mineralien mit einem Anteil von 10 bis 20 Vol-% an die Stelle des Muskowits und des Biotits treten. Die anderen Hauptgemengteile sind mit dem Leventinagneis etwa vergleichbar.

In den Rohmaterialien wie auch im Brechgut wurde beobachtet, dass die petrographisch als ungeeignet beurteilten Schichtsilikate in gelöster Form vorwiegend in der Sandfraktion kleiner als 0,5 mm anfallen. Mit dem bei der Aufbereitung verbundenen Waschprozess der Sand- und Kieskomponenten gelang es, die gelösten Glimmerblättchen teilweise mit den Feinstanteilen auszuwaschen. Diese Effekte führen dazu, dass der Gehalt der bautech-

nisch bedeutsamen freien Glimmerblättchen im Zuschlagstoffgemisch weit tiefer liegt als der ursprüngliche Gehalt der Glimmermineralien im Festgestein. Es sind hierbei graduelle Unterschiede in bezug auf die Zuschlagsorte und das Bereitstellungs-gemisch auszumachen (Tabelle 2). Der nach Norm vorgegebene Richtwert an schädlichen Beimengungen von max. 5% für einen Beton B 30/20 oder einen solchen mit höherer Festigkeit konnte für ein Ortbetongemisch nach dem Kriterium «Stück-%» eingehalten werden (Schichtsilikate sollten eher nach dem kritischeren Kriterium «Stück-%» beurteilt werden und nicht nach «Massen-%», wie das z.B. die VSS/SN-Norm 670 710 d vorgibt). Bei den Spritzbetongemischen wurde dagegen diese Bedingung nur durch die Zuschlagsorte 3 erfüllt.

Wieviel Feinstanteile und somit auch freie Glimmerblättchen ausgewaschen werden, ist eine reine Frage der Aufbereitungstechnik. Da bekanntlich zur Betonverarbeitung aber ein ausreichender Mehlkornanteil gefragt ist, dürfen die Feinstanteile nicht beliebig ausgewaschen werden, ohne das fehlende Mehlkorn durch Fremdfüller zu ersetzen. Auf diese verfahrenstechnischen Randbedingungen konnte bei den Aufbereitungsversuchen kein Einfluss genommen werden. Da die Werke, bei denen die Versuche stattfanden, auch glimmerhaltiges Material aufbereiten und infolgedessen einen hohen Feinanteil auswaschen, erwiesen sich die gewaschenen Roh- und Brechsande tendenziell als mehlkornarm (12 bis 15 Massen-% im Sandgemisch 0 bis 4 mm). Dieser Sand wurde für die Betonversuche unverändert übernommen.

Geeignete Betonrezepturen und Frischbetoneigenschaften

Bei den Betoneignungsprüfungen wurde primär das Ziel verfolgt, einen gut verarbeitbaren, wasserdichten und frostbeständigen Beton herzustellen. Bei der Festigkeit wurde keine bestimmte Zielgrösse definiert, wenngleich doch Festigkeiten von 30 MPa und mehr auch ohne Spezialzemente oder Zugabe von Zusatzstoffen erwartet wurden. Die Erfahrung zeigt, dass ein Beton dann gut verarbeitbar ist, wenn der Zementleim die Hohlräume im Zuschlagstoff ausreichend auszufüllen vermag [1]. Diese Überlegungen führten dazu, die Zementdosierungen spezifisch auf die Hohlraumeigenschaften der Zuschlaggemische auszurichten. Zusätzlich wurde ein Luftporenmittel eingesetzt, welches nicht nur dazu diente, einen frostbeständigen Beton herzustellen, sondern auch die Verarbeitbarkeit zu verbessern. In der Tabelle 3 sind einige Betonmischungen dar-

gestellt, die sich in bezug auf die Ziele als geeignet erwiesen.

Fachleuten der Pumpbetontechnologie sind diese Zusammenhänge an sich bekannt. Um ein gebrochenes Material pumpen zu können, wird eine Mindestzementmenge von ca. 330 kg/m³ für erforderlich gehalten. Bei den Versuchen mit den TBM-Zuschlägen fällt freilich auf, dass der Hohlraumgehalt unter den verschiedenen Zuschlagsorten in einem grösseren Bereich schwankte, wobei aber keine allgemeinen Tendenzen der Einflussfaktoren Kornform und Siebkurve zu erkennen sind. Dass die aufbereiteten Zuschlagstoffe gar in einem grösseren Bereich streuen als die Rohmaterialien, kann möglicherweise auf die unterschiedlich aufbereiteten Sande zurückgeführt werden.

Die Frischbetonwerte in der Tabelle 3 zeigen, dass es mit jedem dieser Materialien - unabhängig von Herkunft und Beschaffenheit - gelang, einen gut verarbeitbaren Beton herzustellen. Die zugrundegelegten Zementdosierungen variieren hierbei je nach Material zwischen 330 und 380 kg/m³. Mit einem etwas mehlkornreicheren Sand dürften diese Gehalte wahrscheinlich noch zu reduzieren sein. Die Eignung der Mischungen wurden nicht nur im Labor geprüft, sondern durch die Empa auch in einem Feldversuch nachgewiesen [1]. Letzterer Versuch, der mit unaufbereitetem TBM-Material als Zuschlag durchgeführt wurde (Mischung A), brachte die Gewissheit, dass auch ein solches Material durchaus pumffähig ist. Bei den aufbereiteten Zuschlägen zeigte sich daneben, dass mit Zementdosierungen bis zu 360 bzw. 380 kg/m³ der Wasser-Zement-Wert unter Beibehaltung der guten Verarbeitbarkeit deutlich unter 0,5 gesenkt werden kann, was sich entsprechend günstig auf die Wasserdichtigkeit des Festbetons auswirkt.

Festbetoneigenschaften

Wie die Werte in der Tabelle 4 zeigen, gelang es mit den oben aufgezeigten Mischungen im Labor einen Beton herzustellen, der hohe bis höchste Ansprüche an die Wasserdichtigkeit, Frost- und Frost-Tausalz-Beständigkeit sowie an die Festigkeit zu erfüllen vermag. Die Werte für die Mischung A beziehen sich dabei auf Probekörper, die aus dem Objekt entnommen wurden, welches im Zusammenhang mit dem Empa-Feldversuch hergestellt wurde.

In bezug auf die Druckfestigkeit sind die ermittelten Werte nach 28 Tagen erfreulich hoch. Die Mischungen A und B aus TBM-Rohmaterial genügen damit durchaus Anforderungen, die an einen Standardbeton im Hoch- und Tiefbau gestellt werden. Die Mischungen C bis J versprechen gar höchste Ansprüche zu erfüllen, die bei

Zuschläge		Sorte 1: TBM roh		Sorte 2: TBM-Material ungebrochen, nassklassiert				Sorte 3: TBM-Material gebrochen, nassklassiert			
Siebkurve (vgl. Abb. 3)		unsortiert Quelle [1]		TBM- angenähert		gemäss SIA-Bereich		TBM- angenähert		gemäss SIA-Bereich	
Rohdichte trocken	kg/m ³	1609-1713		1696-1757		1636-1753		1768-1817		1600-1784	
Hohlraumgehalt trocken	Vol-%	36-39		37-43		33-40		33-44		33-41	
Mischung		A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
Zuschlag trocken	kg/m ³	1680	1700	1750	1750	1800	1800	1780	1750	1800	1825
Herkunft	LV: Leventinagneis CS: Chlorit-Serizitgneis	LV	CS	LV	CS	LV	CS	LV	CS	LV	CS
Zement (PC)	kg/m ³	380	380	330	380	350	370	330	380	330	360
Hochleistungsverflüssiger	Massen-% von PC	1,5	1,5	1,5	1,0	1,5	1,5	1,5	1,0	1,5	1,5
Luftporenbildner	Massen-% von PC	0,20	0,40	0,15	0,25	0,15	0,30	0,20	0,25	0,15	0,30
W/Z-Wert	-	0,63	0,55	0,54	0,45	0,50	0,46	0,55	0,46	0,50	0,46
Frischbetonwerte:											
Verdichtungsmass VM	-	1,08	1,05	1,11	1,14	1,12	1,07	1,15	1,13	1,13	1,05
Ausbreitmass	cm		50	32	42	36	53	39	47	43	58

Tabelle 3.

Ausgewählte Betonmischungen von guter Eignung (Zuschläge aus Leventinagneis und Chlorit-Serizit-Gneis/Schiefer)

Zuschläge		Sorte 1: TBM roh		Sorte 2: TBM-Material ungebrochen, nassklassiert				Sorte 3: TBM-Material gebrochen, nassklassiert			
Siebkurve (vgl. Abb. 3)		unsortiert		TBM- angenähert		gemäss SIA		TBM- angenähert		gemäss SIA	
Mischung (vgl. Tabelle 3)		A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
Druckfestigkeit nach 28 Tagen	MPa	30,5	42,1	50,1	49,2	54,6	52,1	45,3	45,2	51,1	46,6
Elastizitätsmodul nach 28 Tagen	MPa	-	26900	23200	28500	23600	29600	23400	27600	24600	29800
Gesamtporosität	nVol-%	-	18,3	15,9	16,1	14,3	14,2	15,8	17,1	13,0	10,9
Anteil Luftporen	n-U _F Vol-%	-	2,5	2,0	4,1	1,6	1,9	2,0	4,4	1,8	2,2
Wasserleitfähigkeit	q _w g/m ² h	19	10	12	8	10	7	15	7	8	5
Frostbeständigkeit FS	-	-1,6	1,5	1,4	1,9	1,4	1,5	1,5	1,9	1,6	1,7
Frost-Tausalz-Beständigkeit Δm ₃₀	g/m ²	hoch	hoch	mittel	hoch	mittel	hoch	hoch	hoch	hoch	hoch
		≤4400	3800	100	30	60	100	400	9	30	60
		mittel-tief	mittel	hoch	hoch	hoch	hoch	hoch	hoch	hoch	hoch
Schwinden nach 91 Tagen	%	-	0,65	-	0,51	-	-	0,39	0,53	-	-

Tabelle 4.

Festbetoneigenschaften gemäss SIA 162/1

(Zuschläge aus Leventinagneis und Chlorit-Serizit-Gneis/Schiefer)

Bauwerken üblicherweise gestellt werden (Betongüte B 40/30 bis B 45/35).

Die Gesamtporosität konnte vor allem bei den Mischungen C bis J auf unter 17 Vol-% stabilisiert, mit 1,6 bis 4,4 Vol-% gleichwohl aber ein genügend hoher Luftporenanteil erzielt werden. Die tiefe Gesamtporosität bewirkte, dass auch die Wasserleitfähigkeit mit 5 bis 15 g/m²*h recht niedrig ausgefallen ist (umgerechnet auf eine Betonstärke von 20 cm). Ein Beton mit einer Wasserleitfähigkeit unter 12 g/m²*h kann als wasserdicht betrachtet werden. Es fällt auf, dass die Mischungen mit einer hohen Zementdosierung, aber kleinem W/Z-Wert besonders gute Dichtigkeitseigenschaften aufweisen (Mischungen D, F, H, J).

Der aus Porenkennwerten ermittelte FS-Wert beträgt bei fast allen Mischungen 1,5 oder mehr, womit den Proben, von einer

Ausnahme abgesehen, eine hohe Frostbeständigkeit zugesprochen werden kann. Analog zeigte sich bei den Labormischungen zumeist auch ein gutes Frost-Tausalz-Verhalten. Das im Feldversuch am Baukörper ermittelte Frost-Tausalz-Verhalten ist dagegen etwas schlechter ausgefallen. (Eine tiefe Frost-Tausalz-Beständigkeit liegt vor, wenn die Ablösemenge > 3800 g/m² ist). Hier zeigte sich, dass die Wirkung des Luftporenmittels mit zunehmender Zahl an Arbeitsgängen abnahm.

In bezug auf das Verformungsverhalten ist festzustellen, dass die gemessenen Elastizitätsmodule kleiner sind als üblich. Die E-Module betragen bei gleicher Festigkeit nur etwa 50 bis 67% der Werte bei Verwendung von alluvialen Zuschlägen aus dem schweizerischen Mittelland. Das erhöhte Verformungsverhalten muss aber nicht unbedingt als eine negative Eigen-

schaft angesehen werden, sondern es kann auch gewisse Vorteile bieten. Die erhöhte Zementdosierung äussert sich im weiteren in einem leicht erhöhten Schwindmass (Endschwindmass bei weich-plastischem Beton aus Rundkies zirka 0,4%). Bei einer Anwendung in der Praxis müsste dem erhöhten Schwinden mit konstruktiven Massnahmen begegnet werden.

Zusammenfassung und Ausblick

Die Untersuchungen haben gezeigt, dass es mit den beiden betreffend Petrographie und Granulometrie recht unterschiedlichen TBM-Ausbruchmaterialien Leventinagneis und Chlorit-Serizit-Gneis möglich ist, einen gut verarbeitbaren Beton von hoher Festigkeit, Wasserdichtigkeit und hoher bis mittlerer Frost-Tausalz-Beständigkeit her-



Bild 4.
Ausbruch – Rohmaterial



Bild 5.
Bereits vorsortiertes Material

zustellen. Die Materialherkunft wie auch die Beschaffenheit der Zuschlagstoffe wirkten sich nicht merklich auf die Festbetoneigenschaften aus. Auf die Feinabstimmung der Betonrezeptur, beispielsweise auf die Zementdosierung, hatten sie aber wohl einen gewissen Einfluss. Eine der Haupterkenntnisse ist, dass mit einer dem Material angepassten Zementdosierung von bis zu 360 bzw. 380 kg/m³ sowohl die Verarbeitbarkeit wie auch die Festbetoneigenschaften merklich günstig beeinflusst werden können.

Es konnte somit an relevanten Gesteinen des zukünftigen Gotthard-Basistunnels gezeigt werden, dass die «zweifelhaften»

TBM-Materialien grundsätzlich das Potential aufweisen, um die hohen Qualitätsanforderungen bei AlpTransit Gotthard zu erfüllen. Weitere Untersuchungen mit anderen Gesteinen, unter Baustellenbedingungen und unter differenziert zu betrachtenden Qualitätsanforderungen müssen nun diese ermutigende Tendenz bestätigen. Für die schweizerische Baufachwelt insgesamt dürfte von Interesse sein, dass mit der Abgabe von überschüssigen AlpTransit-Ausbruchmaterialien an die Bauwirtschaft grundsätzlich ein geeignetes Kiessand-Ersatzmaterial vorliegen wird, das in verschiedenster Form auch im allgemeinen Hoch- und Tiefbau Verwendung finden kann.

Adresse der Verfasser:

Matthias Kruse, dipl. Bauing. ETH, Ernst Basler & Partner AG, Zollikerstrasse 65, 8702 Zollikon, und *Robert Weber*, Verfahrenstechniker, A.S.E. Technik, Hasliring 1, 6032 Emmen

Literatur:

[1]
H.P. Olbrecht, W. Studer: Beton aus TBM-Chips, SIA-Heft 47/1995, EMPA Dübendorf

[2]
C. Thalmann: Beurteilung und Möglichkeiten zur Weiterverwertung der Tunnelausbruchmaterialien aus dem maschinellen Vortrieb, Diss. ETH Zürich Ingenieurgeologie (in Vorbereitung)