

Zeitschrift: Schweizer Ingenieur und Architekt
Herausgeber: Verlags-AG der akademischen technischen Vereine
Band: 113 (1995)
Heft: 47

Artikel: Beton aus TBM-Chips
Autor: Olbrecht, Hans Peter / Studer, Werner
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-78815>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. [Voir Informations légales.](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. [See Legal notice.](#)

Download PDF: 30.03.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

Hans Peter Olbrecht, Werner Studer, Dübendorf

Beton aus TBM-Chips

An der EMPA durchgeführte Versuche mit unaufbereitetem Tunnelausbruchmaterial (TBM-Chips) aus maschinellem Vortrieb haben gezeigt, dass es mit moderner Beton-technologie möglich ist, auch aus bisher als ungenügend geltendem Zuschlag «normkonformen» Beton herzustellen. Der Beweis der technischen Machbarkeit allein genügt allerdings nicht, dem alternativen Zuschlag zum dringend geforderten Durchbruch zu verhelfen. Dazu ist ein Umdenken aller am Betonbau Beteiligten erforderlich. Angesichts der schwindenden Vorräte an abbaubarem hochwertigem Alluvialkies ist keine Zeit zu verlieren.

Beim Bau der NEAT (Neue Eisenbahn-Alpen-Transversale) werden grosse Mengen von Tunnelausbruchmaterial anfallen. Eine vorläufige Schätzung spricht allein für den Gotthard-Basistunnel von rund 15 Millionen m³, wovon ungefähr 60% in einer Qualität, die eine Wiederverwertung für den Tunnel selbst oder einen Weiterverkauf erlauben würde. Dies entspricht ungefähr einem Jahresbedarf an Betonzuschlagstoffen in der Schweiz.

Der Tunnelausbruch könnte damit einen entscheidenden Beitrag zur Schonung der hochwertigen Alluvialkiese leisten. Dies wäre dringend notwendig, sind doch die abbaubaren Reserven dieses Bodenschatzes in absehbarer Zeit aufgebraucht [1].

Beim vorgesehenen maschinellen Vortrieb mit Tunnelbohrmaschinen (TBM) besteht der Ausbruch aus sogenannten Chips unterschiedlichster Grösse. Wie der Name schon andeutet, entspricht die Kornform dieser Chips den bestehenden Normanforderungen für die Verwendung als Betonzuschlag in keiner Weise, und auch die Korngrößenverteilung ist alles andere als ideal.

Der traditionelle Weg, solches Material für die Betonherstellung verwendbar zu machen besteht darin, es durch Waschen, Brechen, Aufteilen in Fraktionen und Wiederausammenfügen derselben in einen «normalen» Zuschlag umzuwandeln. Dies ist sehr aufwendig und es entstehen Materialverluste. Trotzdem kann man damit nicht ohne zusätzliche Massnahmen bei der Betonzusammensetzung einen Beton mit den vom Alluvialkies her gewohnten Eigenschaften erreichen.

Es liegt deshalb nahe, einen anderen Lösungsweg einzuschlagen. Die TBM-Chips werden ohne weitere Aufbereitung und ohne Verluste, so wie sie anfallen, angewendet, und es wird versucht, ausschliesslich mit beton-technologischen Mitteln zu erreichen, dass der Beton die gestellten Anforderungen erfüllt. Damit geht man einen Schritt weiter auf dem Weg, der in der Norm SIA 162 (1993) [2] für die Verwendung von Zuschlag vorgezeichnet ist, indem man neben der Korngrößenverteilung auch noch die Kornform freigibt.

Die ersten Laborversuche mit diesem Lösungsansatz erfolgten an der EMPA im Rahmen einer Dissertation an der ETHZ zur Wiederverwertung von TBM-Material [3], parallel zu traditionellen Versuchen mit aufbereitetem Material. Aufgrund der Ergebnisse wurden sie zu einem integrierenden Bestandteil im Versuchsprogramm. Die Arbeit wird durch AlpTransit unterstützt. Schliesslich ergab sich für die EMPA durch die Zusammenarbeit mit zwei Betonproduzenten die Möglichkeit, in einem Grossversuch unter Baustellenbedingungen zu testen, ob der eingeschlagene Weg auch praxistauglich sei.

Diese Untersuchungen werden im folgenden beschrieben und diskutiert.

Laborversuche

Das in den Laborversuchen verwendete TBM-Material stammte aus verschiedenen Gebieten der Schweiz. Tabelle 1 gibt eine Übersicht über die petrographischen und geometrischen Eigenschaften dieser Zuschlagstoffe. Im Vergleich zum Alluvialkies weist das TBM-Material einen extrem hohen Anteil an nicht kubischen, das heisst «schlecht» geformten Körnern, einen teilweise hohen Sandanteil und einen stark erhöhten Hohlraumgehalt auf. Bild 1 macht die Unterschiede zwischen TBM-Material und Alluvialkies augenfällig.

Aus der Erfahrung ist bekannt, dass für eine gute Verarbeitbarkeit eine Zementleimenge notwendig ist, die die Hohlräume im lose geschütteten Zuschlag auszufüllen vermag [4]. Daraus folgt, dass man wesentlich mehr Zementleim (Zement + Wasser + Luft) braucht, wenn anstelle des Alluvialkies TBM-Material als Zuschlag verwendet wird. Die üblichen Betonqualitäten lassen sich deshalb kaum ohne Zusatzmittel erreichen. Wie aus Tabelle 2 ersichtlich ist, wurde in den Laborversuchen

neben einem Hochleistungsverflüssiger (HBV) auch ein Luftporenmittel (LP) verwendet. Die Zumischung des LP-Mittels diente in erster Linie dazu, eine hohe Frost-Tausalzbeständigkeit zu erreichen. LP-Mittel erlauben aber auch, das Zementleimvolumen zu vergrössern, ohne die Zement- und Wasserdosierung erhöhen zu müssen. Sie helfen so, entsprechende negative Auswirkungen, wie beispielsweise erhöhtes Schwindmass oder grössere Wärmeentwicklung, zu verringern.

Die Werte in Tabelle 2 zeigen, dass es mit allen TBM-Materialien möglich war, einen gut verarbeitbaren Laborbeton herzustellen. Die Festbetoneigenschaften entsprachen mit einer Ausnahme (Cleuson Dixence) mindestens einem Beton B 30/20. In bezug auf die Frost- und Frost-Tausalzbeständigkeit ergaben sich einige Schwierigkeiten, da die Wirksamkeit und Zuverlässigkeit des LP-Mittels offenbar durch die Art des Zuschlags beeinflusst wird.

Grossversuch

Für den Grossversuch standen 15 Tonnen TBM-Material aus dem Sondierstollen Polmengo zur Verfügung. Dieses wurde Ende Oktober 1994 von Faido nach Nuolen transportiert und dort nach dem Abtrennen der Körner grösser als 32 mm zwischengelagert. Obwohl das Material mit einer Zeltplane abgedeckt war, wurde es durch die ausgiebigen Niederschläge, die Anfang November 1994 fielen, stark durchfeuchtet. Am Morgen des 14. November 94 wurden 6 m³ dieses Materials nach Wädenswil transportiert und dort in ein Silo eines Betonwerkes gekippt. Etwa zwei Stunden nach dem Beschicken des Silos konnte mit dem Betonversuch begonnen werden. Es kam dabei folgendes Rezept zur Anwendung:

- TBM-Material feucht: 1740 kg/m³
- Zement: 380 kg/m³
- Wasserzugabe: 105 kg/m³
- Hochleistungsverflüssiger: 1,5 Massen-% von PC
- Luftporenbildner: 0,2 Massen-% von PC

Dieses Betonrezept hatte in einem Laborversuch einen gut verarbeitbaren Beton mit einer 28-Tage-Würfeldruckfestigkeit in der Grössenordnung von 35 N/mm² sowie hoher Frost- und Frost-Tausalzbeständigkeit ergeben.

Beim Beschicken des Mixers zeigte es sich, dass das TBM-Material infolge des hohen Wassergehaltes stark verkittet war. Es musste deshalb mit erheblichem Aufwand mechanisch gelockert werden. Trotz dieses Erschwernisses war es aber möglich, zwei 2-m³-Mischungen nach dem vorgesehenen Rezept herzustellen und in einen Fahrmischer zu verladen. Anschliessend wurde der Beton nach Nuolen transportiert. Die Fahrzeit betrug ungefähr 25 Minuten. Dort stand eine Schalung bereit mit einem Volumen von rund 3 m³, in welche der Beton mit einer Betonpumpe eingebracht wurde. Obwohl seit der Herstellung der ersten Mischung ungefähr zwei Stunden vergangen waren, liess sich der Beton immer noch gut pumpen. (Bilder 2 und 3).

Für die Durchführung von Frischbetonkontrollen und die Herstellung von Prüfkörpern zur Bestimmung der Druckfestigkeit, der Frost- und Frost-Tausalzbeständigkeit entnahm man dreimal zu verschiedener Zeit Proben aus dem Beton:

- in Wädenswil, unmittelbar nach dem Beladen des Fahrmischers,
- in Nuolen nach dem Transport des Betons,
- in Nuolen nach dem Pumpen des Betons.

Zusätzlich wurden aus dem Betonteil Bohrkern entnommen und an diesen ebenfalls die Druckfestigkeit, die Frost- sowie die Frost-Tausalzbeständigkeit bestimmt. Die Resultate der Festbetonprüfungen sind in Tabelle 3 zusammengefasst.

Daraus ist ersichtlich, dass der Beton eine Druckfestigkeit nach 28 Tagen von rund 30 N/mm² und eine hohe Frostbeständigkeit erreichte und dass die Bohrkern ähnliche Resultate zeigten wie die separat hergestellten Prüfkörper. Die Frost-Tausalzbeständigkeit hat jedoch mit jedem Verarbeitungsschritt abgenommen, wiesen doch die Prüfkörper aus Beton, der nach der Pumpe entnommen worden war, nur noch eine mittlere Frost-Tausalzbeständigkeit auf. Die an Bohrkernen aus dem Bauteil bestimmte Frost-Tausalzbeständigkeit konnte sogar nur noch als mittel bis tief beurteilt werden. Dies deutet darauf hin, dass die Wirkung des LP-Zusatzmittels mit diesem TBM-Material offenbar nicht sehr stabil und zuverlässig ist.

Diskussion

Die Laborversuche und der Grossversuch haben gezeigt, dass es technisch möglich ist, aus unaufbereiteten TBM-Chips Beton herzustellen, der nach der Norm SIA 162 klassiert und bezeichnet werden kann. In



diesem Sinne ist der Beweis gelungen, dass der in der Einleitung vorgestellte Lösungsansatz zur Wiederverwendung von Tunnelausbruch für die Betonherstellung eine Alternative zum traditionellen Weg darstellen kann.

Vergleicht man nur den Mehraufwand infolge höherer Zement- und Zusatzdosierung mit dem Minderaufwand wegen des Wegfalls der Aufbereitung des Zuschlags, so erscheint der alternative Weg auch kostenmässig konkurrenzfähig:

- Mehraufwand für Zement (max. +50 kg/m³) und Zusatz (max. +2 kg/m³): 10 bis 18 Franken/m³,

- Minderaufwand für Waschen, Brechen und Sieben: 15 bis 17 Franken/m³.

Dieser Vergleich ist allerdings unvollständig, da sich die beiden Wege in einigen weiteren Punkten wesentlich unterscheiden. Durch das Aufbereiten und das Aufteilen in Fraktionen wird es möglich, Materialstreuungen auszugleichen. Zudem kann man so die gleiche Betonaufbereitungstechnik anwenden wie bisher, was die Nachteile wie Materialverluste oder Überschuss beziehungsweise Mangel an einzelnen Fraktionen zumindest teilweise aufwiegt.

Herkunft der TBM-Materialien	petrographische Beschreibung	Anteil an nicht-kubischen Körnern (8/16)	Korngrößenverteilung [Masse%]				Hohlraumgehalt ¹ [Vol%]
			0/4	4/8	8/16	16/32	
Polmengo (Faido)	Glimmergneis	74	50	11	18	21	37
Cleuson-Dixence	Prasinit (Grüngestein)	82	38	10	13	39	40
Kandersteg	Kalkstein (Malm)	76	28	22	28	22	40
Sachseln	Kalkstein (Tertiär)	84	36	15	20	29	39
Amsteg	Chlorit-Sericit-Gneis	87	46	14	15	25	36
Frutigen	Kalksteine und Taveyannazsandsteine	69	28	15	18	39	43
EMPA Standard-Material	Alluvialkies, Mittelland	27	32	16	17	35	25

¹ im Haufwerk, lose geschüttet

Tabelle 1.
Übersicht über die verwendeten Zuschlagstoffe

Bild 1.
TBM-Material Polmengo (oben) und Alluvialkies, EMPA-Standard (unten)

Tabelle 2.
Betonzusammensetzungen und -eigenschaften (Laborversuche)

Zuschlagstoff Herkunft	Rezept				Eigenschaften Frischbeton		Eigenschaften Festbeton		
	Menge Zuschlag g	Menge Zement t	Wassergehalt [kg/m ³]	HBV LP [Masse % PC]	Verdichtungs-mass	Luft-poren-gehalt [Vol%]	Druck-festigkeit nach 28 Tagen [N/mm ²]	Frostbe-ständig-keit	Frost-Tausalz-bestän-keit
	[kg/m ³]	[kg/m ³]	[kg/m ³]	[kg/m ³]	[kg/m ³]	[kg/m ³]	[N/mm ²]		
Polmengo	1680	380	239	1,5 0,2	1,08	4,8	3,5	hoch	hoch
Cleuson-Dixence	1650	400	240	1,5 0,2	1,11	4,0	29	hoch	mittel
Kandersteg	1730	380	190	1,0 0,2	1,05	5,3	36	hoch	hoch
Sachseln	1750	380	190	1,5 0,35	1,11	4,7	49	mittel	mittel
Amsteg	1700	380	209	1,5 0,4	1,05	5,1	42	hoch	mittel
Frutigen	1700	380	205	1,5 0,4	1,09	3,5	39	mittel	hoch
EMPA	2000	300	150	-	1,13	1,2	46	hoch	mittel

Für das unaufbereitete TBM-Material ist es vermutlich notwendig, die zu erwartenden Streuungen in der Korngrößenverteilung, im Wassergehalt und anderen Eigenschaften der Ausgangsstoffe durch eine entsprechende Lagerhaltung auszugleichen. Als Modell könnte das Rohmateriallager bei der Zementproduktion dienen. Dies bedeutet zusätzliche Investitionen und auch Änderungen bei der Betonaufbereitung, die den Vorteil der «Verlustfreiheit» relativieren. Zur Bewirtschaftung eines solchen Lagers und um bei der Betonzusammensetzung gezielt Schwankungen ausgleichen zu können, sind schliesslich die re-

levanten Eigenschaften des unaufbereiteten Materials genauer zu erfassen, als dies bei aufbereiteten Einzelfractionen notwendig ist. Andererseits haben Untersuchungen aber gezeigt, dass der Beton mit aufbereitetem Material eher empfindlicher auf Änderungen in der Betonzusammensetzung reagiert als mit unaufbereitetem Material.

Aus dieser sicher unvollständigen Aufzählung von Vor- und Nachteilen für beide Lösungswege wird deutlich, dass die bisherigen Untersuchungen noch nicht genügen, um ein endgültiges Urteil über die Wirtschaftlichkeit des alternativen Lösungsweges zu bilden. Dazu sind weitere

Untersuchungen notwendig und auch schon im Gang. Es ist aber wenig wahrscheinlich, dass er in allen Fällen schlechter abschneidet als der traditionelle Weg. Vorläufig kann man davon ausgehen, dass das unaufbereitete TBM-Material für Beton mit niedriger Festigkeitsklasse und ohne besondere Eigenschaften vorteilhaft sein kann.

Unaufbereitete TBM-Chips sind in vielen Beziehungen ein extremer Betonzuschlag. Die Betonherstellung wird damit wesentlich anspruchsvoller als mit hochwertigem Alluvialkies, und man kommt ohne Ausnutzung moderner Betontechnologie schon bei «niederklassigem» Beton schnell an die Grenze des Machbaren. Insofern handelt es sich beim Beton aus TBM-Chips also um ein High-Tech-Material.

Unaufbereitete TBM-Chips können deshalb aber auch dazu verwendet werden, die in den bestehenden nationalen und den kommenden europäischen Zuschlagsnormen festgelegten Anwendungsgrenzen auf ihre Gültigkeit hin zu überprüfen. Es muss verhindert werden, dass die dringend geforderte Anwendung von alternativem Zuschlag mit starren und unnötigen Vorschriften zusätzlich erschwert wird.

Ausblick

Ob TBM-Chips oder andere Alternativen zum Alluvialkies eine bedeutende Rolle spielen werden, hängt aber nicht nur von den Normvorschriften, sondern auch von nicht-technischen Faktoren ab.

So ist in der gegenwärtigen Lage, wo überschüssige und deshalb billige Transportkapazität vorhanden ist und zum benachbarten Ausland ein grosses Preisgefälle besteht, kaum zu erwarten, dass dieser in der Anwendung wesentlich anspruchsvollere Zuschlag auf grosses Interesse stösst.

Neben dem Preis bilden aber auch die zur Zeit üblichen Ansprüche an die Betonqualität eine hohe Hemmschwelle. Hier muss ein Umdenken bei den Leuten vom Betonbau und nicht zuletzt bei den Ingenieuren stattfinden.

Dabei geht es in erster Linie darum, in der Bestimmung gemäss der Norm SIA 162 Ziffer 51311, die den folgenden Wortlaut hat: «Der Beton muss die auf die Beanspruchung des Tragwerks und auf die Möglichkeiten der Herstellung abgestimmte vorgeschriebene minimale Würfeldruckfestigkeit erreichen», das Gewicht mehr auf die «Möglichkeiten der Herstellung» zu legen. Anders ausgedrückt muss der Ingenieur auch die Möglichkeit in Betracht ziehen, die Konstruktion an die erreichbare Betonqualität anzupassen, anstatt immer umgekehrt, wegen der einmal gewählten



Bild 2.
Pumpe und Pumpleitung

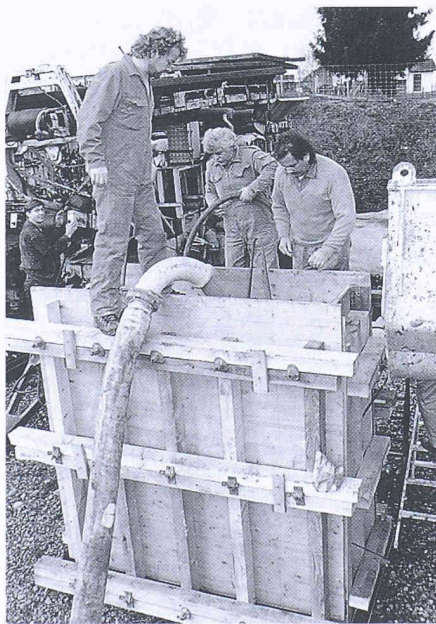


Bild 3.
Der Beton war gut pumpbar

Messwert	Bestimmt an separat hergestellten Prüfkörpern		Bestimmt an Prüfkörpern entnommen aus dem Wandabschnitt	
	Wädenswil vor der Fahrt	Nuolen (nach der Fahrt) vor der Pumpe nach der Pumpe		
Druckfestigkeit				
Alter 28 Tage [N/mm ²]	30,0	32,5	33,1	30,5
Frostbeständigkeit FS				
- Aussenschicht:	-	-	-	1,5 bis 1,7
Beurteilung	-	-	-	hoch
- Innenbeton	1,6	1,6	1,5	1,5 bis 1,7
Beurteilung	hoch	hoch	hoch	hoch
Frost-Tausalz-Verhalten				
Δm_{30} [g/m ²]	400	400	1200	700 bis 4400
Beurteilung	hoch	hoch	mittel	mittel bis tief

Tabelle 3.
Festbetoneigenschaften (Grossversuch)

Konstruktion eine höhere Betonqualität zu fordern. Dies gilt nicht nur für die Festigkeit, sondern auch in bezug auf die Dauerhaftigkeit oder die Verarbeitbarkeit. Zudem sollte man sich damit begnügen, dass die Qualität gerade die Anforderungen erfüllt und davon abkommen, es als umso besser anzusehen, je grösser die Überschreitung des geforderten Qualitätsniveaus ist. Das sogenannte Vorhaltemass gegenüber den Anforderungen dient nämlich ausschliesslich dazu, das Risiko des Produzenten, eine ungenügende Qualität zu liefern, auf ein vernünftig kleines Mass zu reduzieren. Es muss also auf die Produktionsstreuung abgestimmt sein und kann deshalb umso kleiner ausfallen, je besser die Produktion gesteuert ist. Grosse Vorhaltemasse sind also eher ein Zeichen schlechterer Qualität. In bezug auf Dauerhaftigkeit und Sicherheit sind sie jedenfalls unnötig.

Nur mit einem Umdenken in dieser Richtung besteht wirklich die Chance für einen Durchbruch bei der Anwendung von alternativen Zuschlägen. Dieser Durchbruch ist, wie eingangs erwähnt, aber dringend notwendig. Es gilt also keine Zeit zu verlieren!

Literatur

[1]
Jäckli, H., Schindler, C.: Möglichkeiten der Substitution hochwertiger Alluvialkiese durch andere mineralische Rohstoffe, NF-Programm 4.294.0.79.07; Beiträge zur Geologie der Schweiz, Geotechnische Serie, Lieferung 68, Kümmerly & Frey AG, Bern 1986.

[2]
Norm SIA 162: Betonbauten, Schweizerischer Ingenieur- und Architekten Verein, Zürich 1993.

[3]
Thalmann, C.: Beurteilung und Möglichkeiten der Weiterverwendung von Tunnelausbruchmaterialien aus dem maschinellen Vortrieb, Dissertation, ETH Zürich (in Vorbereitung).

[4]
Olbrecht, H.P.: Einfluss des Hohlraumgehaltes auf die Betonqualität, Die Schweizer Baustoff-Industrie, Heft 4/94.

Adresse der Verfasser:
Hans-Peter Olbrecht, dipl. Ing. HTL, und Werner Studer, dipl. Ing. ETH, EMPA, 8600 Dübendorf.