
Ist Spritzbetonrückprall ein Umweltproblem? Großversuche beim Vortrieb des Stadtbergtunnels Rattenberg

DOES SHOTCRETE REBOUND CONSTITUTE AN ENVIRONMENTAL PROBLEM? LARGE-SCALE TESTS DURING THE CONSTRUCTION OF THE RATTENBERG TUNNEL

SIEGMUND FRACCARO, LANDESBAUDIREKTION TIROL, ABTEILUNG BRÜCKEN- UND TUNNELBAU, INNSBRUCK

Im Zuge des bergmännischen Vortriebes des "Stadtbergtunnels Rattenberg" wurde auf Verlangen der Naturschutzbehörde das Ausbruchmaterial in mehreren Großversuchen auf seine Deponietauglichkeit hin untersucht.

Der rund 600 m lange Tunnel wurde im Jahr 1994 im Sprengvortrieb aufgeföhren. Die Stützung der Hohlraumlaibung erfolgte in Abhängigkeit der angetroffenen Gebirgsverhältnisse im wesentlichen durch den Einbau einer 5 bis 25 cm dicken Spritzbetonschale.

Die insgesamt sechs Versuchsserien zur Feststellung der Kontaminierung des Ausbruchmaterials wurden mittels einer Elutions-Anlage auf der Baustelle durchgeführt. Das Eluat wurde begleitend im Labor hinsichtlich Spritzbetonrückprall, sprengtechnischer Verunreinigungen und Verunreinigungen durch Baugeräte analysiert.

Versuchsergebnisse:

- Klar nachweisbar waren die unterschiedlichen Spritzbetonrückprallmengen im Probenmaterial (Indikatoren: pH-Wert, Leitfähigkeit, Calciumgehalt)
- Die Menge der eluierbaren und somit umweltgefährdenden Verbindungen lag zum Teil deutlich unter dem Grenzwert der Eluatklasse Ib der ÖNORM S 2072

Das Tunnelausbruchmaterial bzw. der Spritzbetonrückprall stellte somit kein mögliches Gefährdungspotential für das Grundwasser dar.

In the course of the construction of the Rattenberg Tunnel, a number of large-scale tests were carried out at the request of the environmental protection authority to determine whether the excavation material was dumpable or not.

The approximately 600-m-long tunnel was driven according to the drill-and-blast method in 1994. Depending on the rock mass conditions encountered, the excavation was supported essentially by means of a 5- to 25-cm-thick shotcrete lining.

The six test series to determine the contamination of the excavation material were performed by means of a leaching installation on site. In addition, the leachate was analyzed at the laboratory with regard to shotcrete rebound, contamination due to blasting and contamination caused by construction equipment.

Test results:

- *Varying quantities of shotcrete rebound were detectable in the samples (indicators: pH-value, conductivity, Ca content).*
- *The quantity of compounds subject to leaching and thus harmful to the environment was partly significantly below the limit of leachate class Ib of the Austrian standard ÖNORM S 2072.*

Therefore, neither the excavation material nor the shotcrete rebound constituted any potential threat to the groundwater.

1. Einleitung

Der Baustoff Spritzbeton nimmt unter den Baustoffen für den Tunnelbau eine Sonderstellung ein. Seine besonderen tunnelstatischen Vorzüge als Stützmittel sind hinlänglich bekannt. Stichwort: Neue Österreichische Tunnelbaumethode. Eine verfahrensbedingte Besonderheit des Spritzbetons ist es aber auch, daß ein nicht unerheblicher Prozentsatz des Mischgutes durch Abprall von der Auftragsfläche sich seiner Aufgabe als Stützmittel entzieht.

Über viele Jahre war der Spritzbetonrückprall mehr oder minder nur ein Problem für die ausführende Tunnelbaufirma, weil der Rückprall in gewisser Hinsicht ein dauerndes Sorgenkind der Tunnelbaustelle ist.

Nunmehr stellt sich zudem die zeitgemäße Frage: "Ist Spritzbetonrückprall auch ein Umweltproblem?", einer Frage, der sich sowohl die ausführende Firma als auch der Bauherr eines Tunnels stellen muß.

2. Warum ist die Fragestellung entstanden?

Im naturschutzrechtlichen Bewilligungs-Bescheid für den Stadtbergtunnel Rattenberg im Zuge der Umfahrung Rattenberg war unter anderem folgende Auflage enthalten:

- Das Tunnelausbruchmaterial ist Elutionsversuchen im großtechnischen Maßstab zu unterziehen.
- Das Eluat ist gemäß ÖNORM S 2072 "Eluatklassen-Gefahrenpotenzial von Abfällen" einzustufen.
- Je 10.000 m³ Tunnelausbruchmaterial ist ein Versuch durchzuführen.

Als Begründung für die vorgenannte Forderung waren im Bescheid im wesentlichen drei Punkte angeführt:

1. Der Tunnelausbruch ist arbeitsbedingt möglicherweise verunreinigt durch
 - Sprengmittel
 - Mineralöl und deren Rückstände
 - Spritzbeton und deren Zusatzmittel

Durch die freie Lagerung des verunreinigten Materials kann Grund- und Oberflächenwasser beeinträchtigt werden.

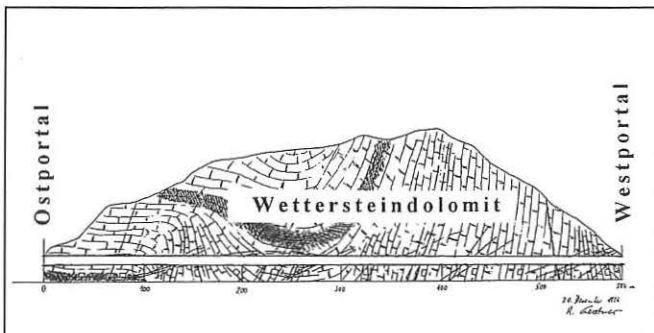


Bild 1: Stadtbergtunnel Rattenberg - Geologischer Längsschnitt

2. Es gibt bisher keine umfassenden Untersuchungen oder allgemein gültigen Ergebnisse über die Beeinträchtigung von Grund- und Oberflächenwasser durch Tunnelausbruchmaterial.
3. Bautechnische und sprengtechnische Parameter können das natürlich vorkommende Material derart (negativ) beeinflussen, daß beim Tunnelausbruchmaterial nicht mehr von einem Inertstoff gesprochen werden kann, insbesondere unter anderem durch den Einfluß des Spritzbetonrückpralles und der verwendeten Abbinderegler.

Aufgrund dieser behördlichen Vorschriften wurde bereits im Zuge der Baustelleneinrichtung des Tunnels Rattenberg vom Institut für Baustofflehre und Materialprüfung der Universität Innsbruck, Fakultät für Bauingenieurwesen und Architektur, gemeinsam mit der staatlichen Tunnelbauleitung ein Konzept erarbeitet, wie die Versuchsanordnung und Versuchsabwicklung erfolgen sollte. Zum damaligen Zeitpunkt gab es nämlich von Groß-Versuchsserien mit Tunnelausbruchmaterial keinerlei Erfahrungswerte über deren praktische Abwicklung. Es lagen damals lediglich von den ÖBB im Jahre 1992 veranlaßte Einzelversuchsergebnisse in verschiedenen Versuchsmaßstäben mit Probematerial von einem Richtstollen vor /1/.

3. Das Projekt Stadtbergtunnel Rattenberg

Bevor das Versuchskonzept, die Versuchsabwicklung und die Versuchsergebnisse im einzelnen dargelegt werden, erfolgt nachstehend eine kurze Projektdarstellung des Tunnels:

Linienführung und Geologie:

Der 604 m lange Stadtbergtunnel Rattenberg liegt im Zuge der neutrassierten B 171 Tiroler Straße, die die Stadt Rattenberg im Tiroler Unterinntal ab dem Frühjahr 1996 südlich umfährt. Der Tunnel wurde im Sommer/Herbst 1994 aufgeföhren und durchhörterte auf seiner gesamten Länge dolomitierten Wettersteinkalk (Wettersteindolomit). Die geologischen Verhältnisse längs der Tunnelstrecke waren im großen gesehen homogen. **Bild 1** zeigt die Geologie im Längsschnitt. Die engständige Klüftung erzeugte die charakteristische kleinstückige Zerlegung des Wettersteindolomits. Das Ausbruchverhalten des Gebirges war überwiegend nachbrüchig, lediglich in den Portalabschnitten und in Abschnitten mit höherem Zerlegungsgrad gebräch. Über 90 % des Tunnels wurden in den Gebirgsgüteklassen II und III aufgeföhren.

Vortrieb:

Der Tunnel wurde im Sprengvortrieb mit Unterteilung in Kalotte und Strosse aufgeföhren. Der Strossenvortrieb folgte im Abstand von ca. 30 bis 50 m dem Kalottenvortrieb.

Regelquerschnitt:

Der Regelquerschnitt ist im **Bild 2** dargestellt. Die Fahrbahnbreite beträgt 7,50 m, einschließlich der Breite der

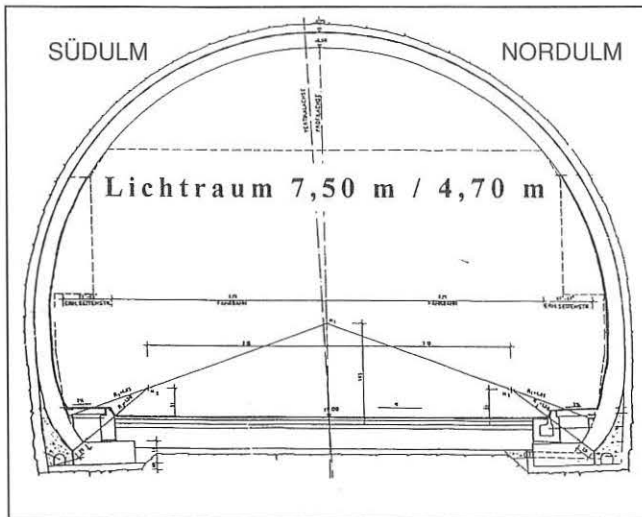


Bild 2: Tunnelregelquerschnitt

erhöhten Seitenstreifen von 0,85 m ergibt sich eine Tunnelbasisbreite von 9,20 m. Die lichte Höhe mißt 4,70 m, die Firsthöhe 6,50 m.

Die Innenschale besteht aus einem mindestens 25 cm dicken Ortbetongewölbe, die Außenschale aus Spritzbeton in einer Stärke von 5 bis 25 cm mit Bewehrung und Ankerung nach Erfordernis.

Die Rezeptur für den ausgeschriebenen Spritzbeton SpB 19/II/J1 lautete gemäß Eignungsprüfung:

Trockenspritzbeton mit einem:

- Zementgehalt von 370 kg/m³, PZ 375 (F20) TZ 2,
- Zuschlag GK 16: 1.870 kg/m³,
- Erstarrungsbeschleuniger: Umagunite FL N9/5, d.h. flüssiger EB, 6,5 % vom Zementgewicht.

In Anbetracht der Elutionsversuche, die begleitend mit dem Vortrieb erfolgten, war die ausführende Firma von Anfang an besonders bemüht, alle Einflußmöglichkeiten hinsichtlich der Verringerung des Spritzbetonrückpralles, wie sie auch in der Spritzbetonrichtlinie des ÖBV angeführt sind, auszu-schöpfen /2/.

Es sind dies unter anderem:

- optimierte Zusammensetzung des Trockenmischgutes,
- abgestimmte Förderluftmenge,
- angepaßte Düsenführung.

Darüberhinaus kam versuchsweise auch Stahlfaserspritzbeton zur Anwendung.

4. Durchführung der Großversuche

4.1 Versuchsanlage

Für die Durchführung der Versuche wurde auf der Baustelle folgende Elutionsanlage eingerichtet. Sie ist im **Bild 3** schematisch dargestellt.

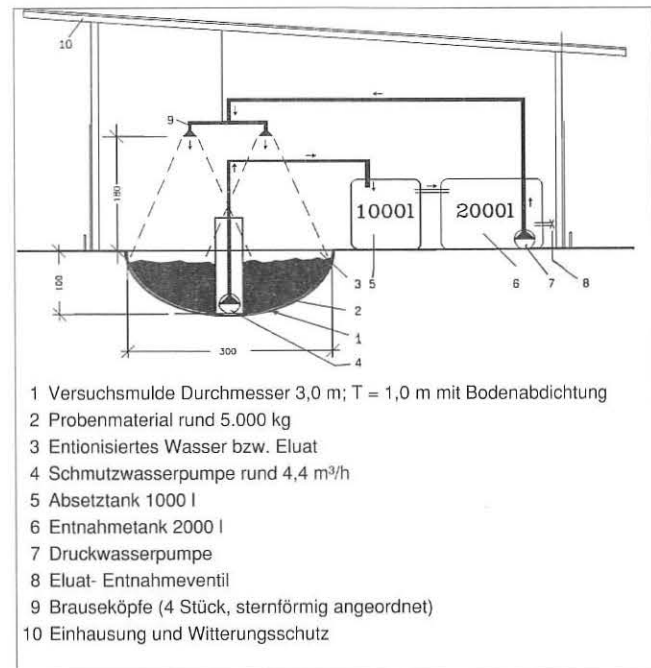


Bild 3: Aufbau der Versuchsanlage

- Aushub einer Erdmulde mit Durchmesser 3 m, Tiefe 1 m und Abdichtung der Mulde mit einer Folie.
- Situierung einer Schmutzwasserpumpe in der Mitte der Mulde mit Verbindungsleitung zu einem Absetztank mit 1.000 Liter Fassungsvermögen.
- Verbindungsleitung zwischen Absetztank und Entnahmetank mit 2.000 Liter Fassungsvermögen und zwischen Entnahmetank und Bebrauungsanlage über der Mulde.
- 4 sternförmig angeordnete Brauseköpfe.

Zwischen dem Entnahmetank und der Verbindungsleitung zu den Brauseköpfen wurde eine Druckpumpe installiert. Darüberhinaus wurde beim Entnahmetank ein Grundablaß für die tägliche Entnahme des Eluates angebracht.

Die gesamte Anlage wurde überdacht und auch seitlich abgeschottet, um Witterungseinflüsse (Wind und Regen) zu vermeiden.

4.2 Versuchsdurchführung

Wenige Tage nach dem Tunnelanschlag wurde der erste Großversuch gestartet. Zu diesem Zweck wurde das Versuchsbecken (Erdmulde) mit ca. 5.000 kg Kalottenausbruchmaterial (das Material wurde vor Versuchsbeginn abgewogen) und mit 3.000 Liter entionisiertem Wasser befüllt. Die Versuchsdurchführung konnte beginnen. 3 bis 4 Stunden nach dem Start der Berieselung wurde das erste Eluat für die Analyse entnommen. Die weiteren Entnahmen und Analysen erfolgten im Abstand von ca. 24 Stunden. Nach Abschluß des ersten Großversuches mit Kalottenmaterial wurden die Versuchsmulde und die Tanks ausgeräumt und der zweite Großversuch mit der gleichen Menge Material vom Strossenausbruch durchgeführt. Insgesamt wurden 5 Großversuche durchgeführt, wobei abwechselnd Material von der Kalotte und Strosse beprobt wurde.

Die **Tabelle 1** enthält eine Übersicht der Versuche.

Jeder Versuch wurde mindestens 3 Tage lang gefahren. Aufgrund der effektiven Förderleistung der Tauchwasserpumpe von 5.500 Liter pro Stunde zirkulierten die verwendeten 3.000 Liter entionisierten Wassers bei jedem Großversuch innerhalb von 3 Tagen mindestens 130-mal.

Versuch Nr.	Vortriebsstation in m	Kalotte	Strosse	Dauer in h
1	165	x		143
2	170		x	68
3	325	x		1. Durchgang: 69 2. Durchgang: 52
4	430	x		69
5	485		x	142

Tab. 1: Übersicht der durchgeführten Großversuche

5. Versuchsergebnisse

Wie bereits erwähnt, war das täglich entnommene Eluat in Bezug auf Kontaminierung durch Sprengeneinflüsse, Mineralölrückstände und Spritzbetonrückprall zu untersuchen. Die Betreuung der Elutionsanlage erfolgte durch die staatliche Tunnelbauleitung. Mit der Auswertung der Eluatproben war das Institut für Baustofflehre und Materialprüfung der Universität Innsbruck beauftragt. Für die Ergebnisse zeichneten die Herren Univ.-Prof. Dr. Lukas und Dr. Saxer des Baustofflehre-Institutes verantwortlich. Die nachfolgenden Analyseergebnisse stammen aus dem Endbericht der Untersuchung /3/.

Jedes entnommene Eluat wurde hinsichtlich pH-Wert, Leitfähigkeit, Nitrit, Nitrat, Calcium und Ammonium untersucht. Bei einzelnen Versuchen wurde darüberhinaus die Menge der Kohlenwasserstoffe ermittelt.

Die **Tabelle 2** enthält die Versuchsergebnisse der 1. Elutionsserie.

Um die gemessenen Werte mit den Grenzwerten der ÖNORM vergleichen zu können, war die Umrechnung auf das Eluens-Feststoffverhältnis E:F = 10:1 erforderlich. Da sich das E:F Verhältnis beim Probenmaterial ca. 3:5 (= 0,6) verhielt, waren die Werte der **Tabelle 2** mit dem Faktor 1: (0,6/10) zu verkleinern. Die umgerechneten Werte sind in **Tabelle 3** aufgelistet.

t nach V-Beginn	pH-Wert	elektr. Leitfähigkeit	Nitrit (NO ₂)	Nitrat (NO ₃)	Kalzium (Ca)	Ammonium (NH ₄)
h	-	mS/cm	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l
3	9,31	0,29	8,2	77	11	7,23
21,5	8,93	0,32	9,7	81	16	4,67
49	8,36	0,38	11,0	86	20	1,53
70,5	8,45	0,40	10,6	77	23	0,65
142,5	8,45	0,47	13,3	99	28	0,33

Tab. 2: Meßergebnisse der 1. Versuchsserie

t nach V-Beginn	Nitrit (NO ₂)	Nitrat (NO ₃)	Kalzium (Ca)	Ammonium (NH ₄)
h	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l
3	0,49	4,59	0,66	0,43
21,5	0,58	4,83	0,95	0,28
49	0,66	5,13	1,19	0,09
70,5	0,63	4,60	1,37	0,04
142,5	0,79	5,90	1,67	0,02
Eluatklasse Ib gemäß ÖN S 2072				
	1,0	50	-	2,0

Tab. 3: Umgerechnete Werte der 1. Versuchsserie und Vergleich mit den Grenzwerten der ÖNORM

Stellvertretend für die weiteren Versuchsserien sind in **Tabelle 4** die Werte des 3. und 5. Großversuches wiedergegeben.

Beim 3. Großversuch wurde das Eluat einer Vollanalyse unterzogen, d.h. das Eluat wurde auf über 30 Parameter hin überprüft. Es wurden also außer den vorhin erwähnten Parametern auch der Aluminiumgehalt, der chemische Sauerstoffbedarf, die Summe der polyzyklischen aromatischen Kohlenwasserstoffe etc. untersucht.

Das Vorhandensein von Spritzbetonrückprall im Tunnelausbruchmaterial spiegelt sich im Natrium-, Kalium- und Calciumgehalt wieder. Das Vorhandensein von Spritzbetonrückprall im Probenmaterial bewirkt anfänglich auch einen relativ hohen pH Wert in Verbindung mit einer hohen Leitfähigkeit. Aus der **Tabelle 5** ist deutlich ersichtlich, daß die dritte und fünfte Elution relativ hohe Natriumgehalte und erhöhte Kalziumgehalte aufweisen. Der relativ hohe Natriumgehalt deutet auf die Verwendung von natrium-aluminathältigem Beschleuniger bei der Aufbringung des Spritzbetons hin. Der erhöhte Kaliumgehalt ist typisch für Elution von Spritzbeton bzw. Beton im allgemeinen. Diese beiden Effekte lassen sich auch bei der Auslaugung von Spritzbetonproben beobachten. Bei der fünften Elution - es war dies Material aus dem Strossenausbruch - wurde die Veränderung der Alkali-Konzentration über 140 Stunden lang beobachtet. 21 Stunden nach Versuchsbeginn wurde eine ausgelegte Menge von 67 mg Natrium pro Liter festgestellt. Dieser Wert stieg nach weiteren 120 Stunden lediglich auf 73 mg pro Liter, d.h. die Alkali-Konzentration zeigte nach der ersten Entnahme aufgrund der hohen Löslichkeit dieser Verbindung nur mehr eine sehr geringe Zunahme, was verdeutlicht, daß kein zusätzliches auslaugbares Potential mehr vorhanden war. Der gleiche Effekt zeigte sich auch

Versuchsserie Nr.	Zeitpunkt nach V-Beginn	pH-Wert	elektr. Leitfähigkeit	Nitrit (NO ₂)	Nitrat (NO ₃)	Kalzium (Ca)	Ammonium (NH ₄)
	h	-	mS/cm	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l
3	4	11,9	1,99	0,32	5,82	9,70	0,37
	28	11,7	1,13	0,38	6,42	4,85	0,01
	52	11,5	0,66	0,38	7,03	1,33	<0,01
	68,5	11,3	0,52	0,40	6,79	1,09	<0,01
5	21	11,7	1,36	0,46	3,12	5,75	0,03
	44	11,1	0,56	0,48	3,56	1,38	0,02
	64,5	10,9	0,42	0,48	3,37	1,0	<0,01
	142	9,8	0,48	0,54	3,44	1,0	<0,01
Eluatklasse Ib nach ÖN S 2072		5,5-11	1,5	1,0	50	-	2,0

Tab. 4: Meßwerte der Versuchsserien 3 und 5 umgerechnet auf E/F-Verhältnis von 10:1 und Vergleichswerte der ÖNORM

bei den Parametern Nitrit und Nitrat, d.h. daß bereits nach rund 24 Stunden der Großteil des aus dem Ausbruchmaterial eluierbaren Anteils ausgelaugt ist.

Versuch Nr.	Zeitpunkt in h	Natrium mg/l	Kalium mg/l
3	69	66	16
4	69	20	1,4
5	21	67	15
	44	68	16
	65	69	16
	142	73	16

Tab. 5: Alkali-Gehalte der Versuche 3, 4 und 5

6. Zusammenfassung

Die Elutionsversuche haben gezeigt, daß beim Tunnelvortrieb ein gewisser Anteil an Fremdstoffen in das Tunnelausbruchmaterial eingetragen wird und daß diese Kontamination auch nachweisbar ist. Es hat sich auch gezeigt, daß eine gewisse Beeinflussung durch Spritzbetonrückprall stattfinden kann.

Die Menge an eluierbaren und somit bei Ablagerung des Tunnelausbruchmaterials umweltgefährdenden Verbindungen ist jedoch relativ gering. Der Vergleich der ermittelten Eluatkonzentrationen mit den in der ÖNORM S 2072 angeführten Grenzwerten hat gezeigt, daß das Ausbruchmaterial hinsichtlich Deponietauglichkeit, d.h. hinsichtlich des Gefährdungspotentials für das Grundwasser, kein Problem darstellt.

7. Literatur

[1] Wehr H.:

Umweltprobleme beim Tunnelvortrieb aus Sicht der Österreichischen Bundesbahnen. 4. Internationale Fachtagung Spritzbetontechnologie 1993 - Berichtsband. Herausgeber: Walter Lukas, Wolfgang Kusterle.

[2] Österreichischer Betonverein:

Richtlinie Spritzbeton, Teil 1 - Anwendung, Ausgabe Jänner 1989.

[3] Lukas W., Saxer A.:

Elution von Tunnelausbruchmaterial des Stadtbergtunnels Rattenberg. Endbericht des BMI der Universität Innsbruck, November 1994, unveröffentlicht.

