

# Praxisbeispiel – Brenner Basistunnel

Roland Murr

## Zusammenfassung

Der Brenner Basistunnel (BBT) ist ein bilaterales Projekt im europäischen Kontext, mit dem Ziel, durch eine neue Zug-Infrastrukturanlage mit Flachbahncharakter eine Verkehrswende entlang des Brenner-Korridors zu ermöglichen. Infolgedessen werden die ökonomische Effizienz und ökologische Verträglichkeit des Verkehrs in den europäischen Lebens- und Wirtschaftsräumen verbessert. Als ein Kernstück des Eisenbahn-Hochleistungs-Korridors zwischen Stockholm und Palermo unterquert der BBT die Alpen auf österreichischem und italienischem Staatsgebiet. Als technische Herausforderungen sind neben einer komplexen Geologie vor allem logistische Randbedingungen und eine im Vergleich zum Bedarf beschränkten Verfügbarkeit von Ressourcen bei der Projektumsetzung zu lösen. Um der beschränkten Verfügbarkeit von Rohmaterial entgegenzuwirken, wurde im Projekt Tunnelausbruchmaterial als Gesteinskörnung für Beton aufbereitet. Im folgenden Beitrag wird neben der Vorstellung des Projekts über die Voraussetzungen, die Vorversuche, die Umsetzung und die daraus abgeleiteten Erkenntnisse berichtet.

**Schlagwörter:** Brenner Basistunnel, Zugtransport, Aufbereitung, ökologische Verträglichkeit, Wirtschaftlichkeit, rezyklierte Gesteinskörnung, Tunnelbau

## Abstract

The Brenner Basistunnel (BBT) is a bilateral project in the European context, with the aim of facilitating a turnaround in transport along the Brenner corridor by means of a new train infrastructure facility with a flat railway character. As a result, the economic efficiency and ecological compatibility of transport in the European living and economic areas will be improved. As a core section of the high-capacity railway corridor between Stockholm and Palermo, the BBT crosses under the Alps on Austrian and Italian territory. In addition to complex geology, the main technical challenges to be overcome during project realisation are logistical constraints and the limited availability of resources compared to demand. To counteract the limited availability of raw materials, tunnel excavation material was processed as aggregate for concrete in the project. In addition to presenting the project, the following article reports on the prerequisites, the preliminary tests, the realisation and the resulting findings.

**Keywords:** Brenner Basistunnel, train transport, recycling, ecological compatibility, economic efficiency, recycled aggregate, tunneling

## 1 Projektüberblick - Brenner Basistunnel

Der Brenner Basistunnel unterquert als wesentliches Teilstück des ScanMed-Eisenbahn Hochleistungskorridors TEN (siehe Abbildung 1) den Alpenhauptkamm zwischen Innsbruck (Österreich) und Franzensfeste (Italien) in einer Länge von 55 km. Der Güterverkehr wird über einen Umfahrungs- und Verbindungstunnel vor Innsbruck abgeleitet, vor der Nothaltestelle Innsbruck wieder in die Haupttunnelröhren eingeleitet und endet beim Portal Franzensfeste. Der Abschnitt für den Güterverkehr erreicht eine Gesamttunnellänge von 64 km und wird somit die längste unterirdische Eisenbahnverbindung weltweit.

Das gesamte Tunnelsystem des Brenner Basistunnels (siehe Abbildung 2) erreicht eine Länge von über 220 km. Die beiden getrennten, eingleisigen Haupttunnelröhren mit einem Ausbruchsquerschnitt von 60 m<sup>2</sup> bis 80 m<sup>2</sup> weisen einen Achsabstand von 70 m auf. Mittig und ca. 12 m tiefer liegt der mit 40 m<sup>2</sup> bis 60 m<sup>2</sup> Ausbruchsquerschnitt projektierte Erkundungsstollen, dessen Nutzung vielfältig ist (siehe Abbildung 3).



Abb. 1: TEN – Trans European Network; die 11 Hochleistungsbahnstrecken der EU

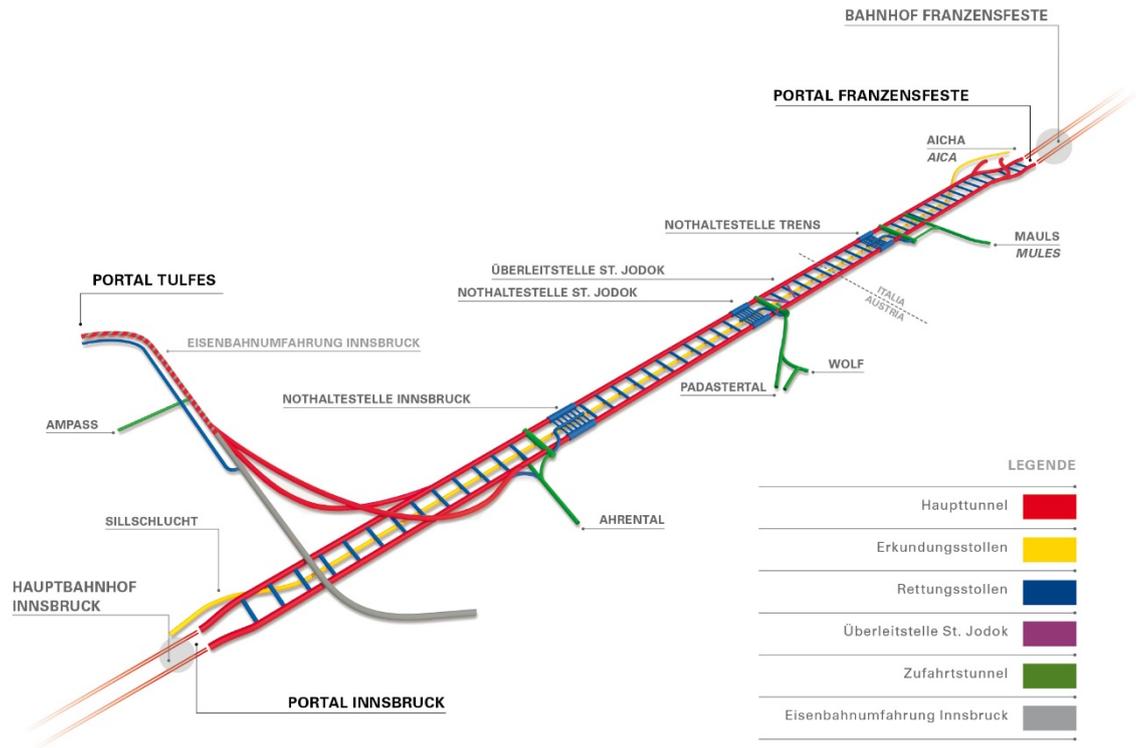


Abb. 2: Tunnelsystem des Brenner-Basistunnels, Grafik BBT-SE

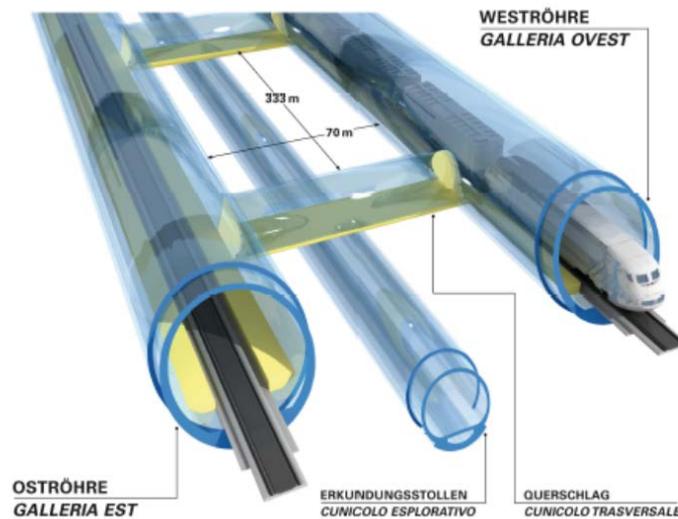


Abb. 3: Anordnung der Tunnelquerschnitte Brenner Basistunnel, Grafik BBT-SE

In der Projektierung und dem Bau wird der Erkundungsstollen für die vorauseilende, detaillierte Erkundung der Geologie und eine kontrollierte Drainagierung des Gebirges genutzt. Nach Abschluss der Rohbauarbeiten wird er für die Unterbringung von Tunnelausrüstung vorgesehen wodurch ein weitgehend unterbrechungsfreies Servizieren im Betrieb ermöglicht werden soll. Der vorwiegend für den Güterverkehr vorgesehene Umfahrungsbereich von Innsbruck besteht abweichend dazu aus zwei getrennten, sich räumlich überschneidenden Verbindungstunneln. Die räumliche Überschneidung ist wegen des Fahrtrichtungswechsels zwischen dem Linksverkehr in Italien und dem Rechtsverkehr in Österreich und Deutschland erforderlich. Im

größeren Querschnitt des Verbindungstunnels ist der Rettungsbereich integriert, wird jedoch durch eine Brandschutzwand vom einspurigen Fahrraum abgetrennt. Die hochfeste Innenschale kam im Bereich der Verbindungstunnel zum Einsatz, die Wiederverwertung von aufbereitetem Tunnelausbruch als Gesteinskörnung für Beton kam im Baubereich Wolf/Padastertal zum Einsatz.

Insgesamt werden für das Projekt Brenner Basistunnel etwa insgesamt 5 Mio. m<sup>3</sup>, im österreichischen Projektgebiet rund 3 Mio. m<sup>3</sup>, an Konstruktionsbeton verwendet. Insgesamt ist ca. 60 % des Betonvolumens durch Ort beton, ca. 20 % durch Spritzbeton und ca. 20 % durch Beton für Tübbinge abzudecken.



Abb. 4: Insgesamt wurden mit Stand November 2023 in Österreich und Italien 163 km des Brenner Basistunnels ausgebrochen, Grafik BBT-SE

## 2 Beton mit aufbereitetem Tunnelausbruchmaterial

### 2.1 Motivation, Geologie und Maschinenteknik

#### 2.1.1 Motivation

Im Bauabschnitt Wolf herrschten mit einer Talsohlenbreite des „Wipptales“ von etwa nur 100 bis 300 m beengte Platzverhältnisse, innerhalb derer der natürliche Fluss „Sill“ und die Brenner Bundesstraße B 182 die Talsohle erschwerend einengen. Zusätzlich war die Anlieferung von Ausgangsmaterialien bis zur Fertigstellung des Vorbereitungsbauloses E52, Wolf II, nur über LKW möglich, eine im direkten Nahbereich gelegene Kiesabbaugrube nicht vorhanden. Diese Randbedingungen in Kombination mit dem Auftrag zur Ressourcenschonung führten während des Projektes zur Prüfung, ob der Tunnelausbruch für eine Verwendung als Baustoff geeignet wäre:

- Die Verwendung von aufbereitetem Tunnelausbruch verringert den logistisch aufwendigen Antransport und die Zwischenlagerung extern bezogener Gesteinskörnung
- Reduktion des Deponievolumens
- Reduktion von Transporten inerter Gesteinskörnungsmaterialien außerhalb des Standorts
- Ressourcenschonung
- Einhaltung der AWG-Anforderung, dass Tunnelabraum recycelt wird
- Verbesserung der Ökobilanz (z. B. CO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, nicht erneuerbare Energie- und Mineralressourcen nach (BBT-intern, 2015)

#### 2.1.2 Geologie und Maschinenteknik

Geologisch befand sich der Vortrieb des Zufahrtstunnels innerhalb des Bündner Schiefer Gebirgskomplexes. Der Bündner Schiefer besteht mehrheitlich aus Wechsellagen von Kalkschiefern und Kalkphylliten mit Einschaltungen von Schwarzphylliten und graphitischen Einschlüssen und zeichnet sich vor allem durch eine gute Spaltfestigkeit entlang der Scherflächen mit einem flachen Erscheinungsbild aus. Dadurch ist die Neigung zur Feinteilbildung bei der Zertrümmerung und der Bildung einer ungünstigen Kornform beim Brechen des Korns bestimmend. Auf Grund dieser nicht idealen Eigenschaften des Rohstoffs fiel besonderes Augenmerk auf eine stufenweise Aufbereitung mit optimierter Auswahl und Zusammenstellung der Maschinenteknik. Weitere Kriterien für die Wahl der Anlagentechnik waren das Erfordernis eines geringen Platzbedarfs auf Grund der beengten Platzverhältnisse, der schnellen Verfügbarkeit der Maschinenteknik sowie die Wahl

einer flexiblen Systemkonstellation durch den Einsatz mobiler Geräte. Um die Investitionskosten gering zu halten, wurde bei den Brechern auf gebrauchte Geräte zurückgegriffen. Als Anforderung an den hohen Qualitätsstandard erfolgte eine Nassaufbereitung des Tunnelausbruchs mit neuer Gerätschaft. Für eine Reduktion der Feinteile und Verbesserung der Qualität des Rohmaterials wurde eine Vorabsiebung vorgesehen. Das gesamte der weiteren Aufbereitung zugeführte Material wurde mit einem Trennschnitt bei 32 mm zweigeteilt, wobei der Anteil 0 mm bis 32 mm auf die Deponie gebracht wurde und nur der Anteil > 32 mm bis Größtkorndurchmesser der weiteren Aufbereitung zugeführt wurde. Die Ausführung sah folgende Maschinenteknik vor:

- Gitterrost
- Backenbrecher
- Vorabsiebung bei 32 mm Durchmesser
- Prallmühle
- Zwischensiebung (für eine mögliche Herstellung von Filterkies 16/32 mm)
- Vertikalmühle
- Klassierung mit Nasssiebung 0/4, 4/8, 8/22 mm
- Nachwaschen des Sandes 0/4 mm im Schöpfrad
- Schlammwässerung in Filtersäcken

Zur Vermeidung von Staub- und Lärmemissionen wurde das im konventionellen Vortrieb ausgebrochene Material über den Vorbrecher und die Vorabsiebung bereits im Tunnel im Aufweitungsbereich einer Lüfterkaverne getrennt, die restlichen Aufbereitungsschritte erfolgten an dem Deponie Baufeld im seitlichen Padastertal. Die Entscheidung, die Gesteinskörnung in die 3 Kornfraktionen 0/4 mm, 4/8 mm und 8/22 mm zu klassieren, wurde auf Grund von Materialbedarf und vorhandenem Lagerplatz getroffen. Da der Anteil an Spritzbeton mit Größtkorn 8 mm im Baulos über 50 % betrug, war der Bedarf an Sand und Kies bis 8 mm vorherrschend. Der Bedarf an Gesteinskörnung für den Konstruktionsbeton konnte gut mit der weitgestuften Körnung 8/22 mm abgedeckt werden, zumal der Anteil an Gesteinskörnern > 16 mm durch den Aufbereitungsprozess gering war.



Abb. 5: Übersicht über die Materialaufbereitungsanlage im Padastertal, Foto BBT-SE

Die im Baufeld des seitlichen Padastertales situierte Aufbereitungsanlage (siehe Abbildung 5) produzierte ab Inbetriebnahme die gesamte Gesteinskörnung für den Beton des BBT-Vorbauloses H52, die in weiterer Folge direkt ohne Verlassen des Baubereichs der vor Ort befindlichen Baustellenmischanlage zugeführt wurde.

## 2.2 Rezepturfindung Spritzbeton

Der im Baulos E52 Wolf benötigte Spritzbeton wurde zur Vortriebs- und Ausbruchsicherung des konventionell aufgefahrenen Tunnels eingesetzt. Dafür wurde die Güte SpC 25/30/II/J2/XC4/GK8 gefordert. Die Rezepturfindung lief in mehreren weitgehend parallel ablaufenden Phasen statt. Zum einen wurden Untersuchungen an Bindemittelleimen mit unterschiedlichen Zusammensetzungen und unterschiedlichen Erstarrungsbeschleuniger-Produkten durchgeführt, zum anderen wurden für eine Optimierung der Sieblinie und der Maschineneinstellungen in der Aufbereitungsanlage Spritzversuche durchgeführt. In den Bindemittelleim-Untersuchungen wurden für die jeweilige beschleunigte Kombination die Erstarrungszeiten und der Festigkeitsverlauf bis 24 Stunden gemäß ÖBV-Richtlinie Spritzbeton [2] untersucht. Für ausgewählte Kombinationen wurde am Mörtel auch der Festigkeitsabfall im Alter von 7 Tagen im Vergleich zum unbeschleunigten Null-Mörtel gemäß [2] überprüft.

Die Zementleimversuche zeigten, dass die produktabhängige Erstarrungsbeschleuniger-Dosierung für vergleichbare Erstarrungsverhalten bei ausgewählter Bindemittelkombination lediglich zwischen 2 % v. B. und 4 % v. B. betrug. Die Erstarrungsbeschleunigung führte allerdings bei Mörtelprismen produktabhängig zu teilweise deutlich unterschiedlichen Festigkeitsverlusten im Vergleich zu unbeschleunigten Mischungen. Die Spritzversuche verdeutlichten, dass die Erstarrungsbeschleuniger-Bindemittelleim-Kombinationen mit einer geringen Dosierung und einer kurzen Zeitspanne zwischen Erstarrungsbeginn und -ende Schwierigkeiten in der Dosierung verursachten und dass sich höhere Frühfestigkeiten zu einer verringerten Festigkeitsleistung im höheren Alter, bzw. durch einen erhöhten Festigkeitsabfall bemerkbar machten. Seitens Bindemittelzusammensetzung kam nach Optimierungen eine Mischung von einem CEM I 52,5 N und einem CEM II/A-M (S-L) 42,5 N zu je 50 % mit Zugabe eines Zusatzstoffs Typ II in Form eines „Anrechenbaren Hydraulisch Wirksamen Zusatzstoffes“ (AHWZ) in einem Anteil von 11 % vom Bindemittel zur Anwendung. Der relativ hohe Bindemittelgehalt wurde durch den erhöhten Wasserbedarf der aufbereiteten Gesteinskörnung erforderlich (siehe Tabelle 1).

Tab. 1: Mixdesign Spritzbeton

Ausgangsstoff	Sorte / Type	Menge je m <sup>3</sup> Spritzbeton
Zement 1	CEM I 52,5 N	210 kg/m <sup>3</sup>
Zement 2	CEM II/A-M (S-L) 42,5 N	210 kg/m <sup>3</sup>
AHWZ (Zusatzmittel Typ II)	Fluasit	50 kg/m <sup>3</sup>
Wasser	-	220 l
Sand 0/4 mm	Aufbereiteter Sand	1119 kg/m <sup>3</sup>
Kies 4/8 mm	Aufbereiteter Kies	488 kg/m <sup>3</sup>
Zusatzmittel	Fließmittel, Konsistenzhalter, Luftporenbildner	Nach Erfordernis

## 2.3 Ausführung - Kennwerte

Für die Ausführung wurde direkt vor Ort ein Baustofflabor installiert. Durch ein verdichtetes Überwachungs- und Überprüfungsprogramm an der Mischanlage und an der Einbaustelle erfolgte die Kontrolle und Steuerung der Produktion. Im Bereich der Ausgangsstoffe wurde wöchentlich eine Kontrolle der Sieblinie der Einzelfraktionen und des Feinanteils durchgeführt (siehe Abbildung 6). Für den Beton erfolgte täglich die Frischbetonkennwerteermittlung und Kontrolle der Frühfestigkeitsentwicklung des Spritzbetons.

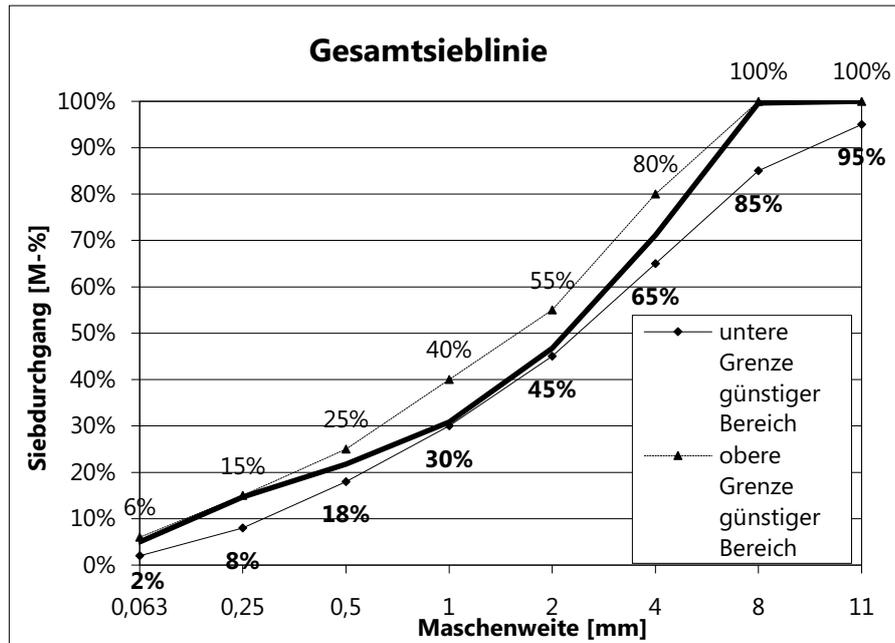


Abb. 6: Typische Gesamtsieblinie des aufbereiteten Tunnelausbruchmaterials für Spritzbeton während der Ausführungsphase

Durch die Verwendung des aufbereiteten Tunnelausbruchmaterials stellte sich materialbedingt ein relativ hoher Feinteilgehalt im oberen Bereich des günstigen Bereiches ein, wodurch gegenüber Standardmischungen ein erhöhter Wasseranspruch des Betons vorherrschend war. Dem erhöhten Wasseranspruch wurde durch Verwendung eines zweistufigen Verflüssiger-Systems, bestehend aus einem Hochleistungsfließmittel und einem Konsistenzhalter, gegengesteuert. Allerdings musste in der Produktion ein konstant höherer Wasseranspruch bei einer homogenen Produktion akzeptiert werden. Für die Nachweise der Druckfestigkeiten, der E-Modulentwicklung und der Gefügedichte wurden Bohrkerne sowohl aus Spritzkisten als auch dem Bauwerk entnommen. Die Frisch- und Festbetonkennwerte der durchgeführten Prüfungen sind in Tabelle 2 zu sehen.

Tab. 2: Frisch- und Festbetonkennwerte aus Prüfungen

	ABM	Luft	Rohdichte	Wasser	Nullmischung		Spritzbeton		
	10 Min.	Gehalt	-	Gehalt	Rohdichte	Druckfestigkeit	Rohdichte	Druckfestigkeit	Betonalter
	-	LP-Topf	LP-Topf	Röstng.	56 Tage	56 Tage	-	-	-
	cm	%	kg/m <sup>3</sup>	kg/m <sup>3</sup>	kg/m <sup>3</sup>	N/mm <sup>2</sup>	kg/m <sup>3</sup>	N/mm <sup>2</sup>	Tage
Anzahl an Prüfungen	196	195,0	196	196	196	84,0	65	65,0	65,0
<b>Mittelwert</b>	<b>64</b>	<b>6,6</b>	<b>2.204</b>	<b>224</b>	<b>2.220</b>	<b>40,6</b>	<b>2.231</b>	<b>31,0</b>	<b>72,2</b>
Minimum	52	2,5	2.097	201	2.150	5,9	2.154	25,5	28,0
Maximum	70	12,0	2.330	249	2.310	50,6	2.288	40,2	156,0
Standardabweichung	4	1,7	44	8	34	5,0	26	2,9	26,8

Aus den Untersuchungen wurde bestätigt, dass der Spritzbeton auf Grund der Materialeigenschaften des Bündner Schiefers ein sehr gutmütiges Materialverhalten aufwies. Die mit der Lastumverteilung einhergehenden Verformungen konnten durch den tiefen E-Modul bei den auftretenden Spannungen (siehe Abbildung 7) weitgehend ohne Schäden der Spritzbetonschale hervorragend aufgenommen werden.

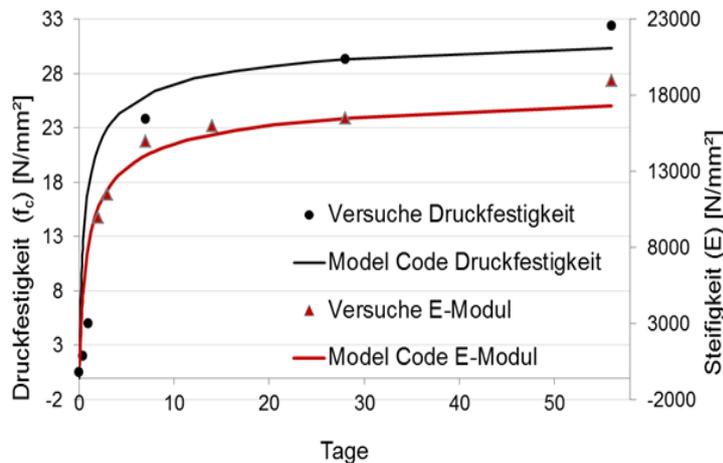


Abb. 7: Entwicklung von E-Modul und Druckfestigkeit (Prüfwerte, Rechnung), [1]

## 2.4 Studien zur Optimierung des Mixdesigns

Basierend auf der Erkenntnis, dass das vor allem aus phyllitischen Bündner Schiefer aufbereiteten Rohmaterials einen hohen Wasserbedarf für sich beansprucht, wurden Laboruntersuchungen zu einer weiteren Rezeptoptimierung durchgeführt. Da der Wasseranspruch der Gesteinskörnung wesentlich vom Wasseranspruch des Sandes abhängig ist, wurde im Speziellen der Zusammenhang zwischen Wasserbedarf und einem teilweisen bis zu 50%-igen Austausch der aufbereiteten Sandfraktion 0/4 mm durch eine kalzitische Sandfraktion 0/4 mm untersucht. Beim stufenweisen Austausch des Sandes war es notwendig, die Zusatzmitteldosierungen oder auch die Produkte selbst für die einzelnen Mischungsrezepturen anzupassen. Folgende Mischungen wurden verglichen, wobei das Bindemittel unverändert blieb (siehe Tabelle 3):

Tab. 3: Mixdesign für Optimierungsversuche Spritzbeton

Ausgangsstoff	Sorte / Type	Menge je m <sup>3</sup> Spritzbeton
Zement 1	CEM I 52,5 N	210 kg/m <sup>3</sup>
Zement 2	CEM II/A-M (S-L) 42,5 N	210 kg/m <sup>3</sup>
AHWZ (Zusatzmittel Typ II)	Fluasit	50 kg/m <sup>3</sup>
Nullmische NM	0/4 kalzitisch / 0/4 aufbereitet	0 % / 70 %
M20	0/4 kalzitisch / 0/4 aufbereitet	20 % / 50 %
M35	0/4 kalzitisch / 0/4 aufbereitet	35 % / 35 %
M50	0/4 kalzitisch / 0/4 aufbereitet	50 % / 20 %
Kies 4/8 mm	4/8 aufbereitet	30 %
Zusatzmittel	Fließmittel, Konsistenzhalter, Luftporenbildner	Nach Erfordernis

In Abbildung 8 ist das ermittelte Potential zur Wassereinsparung bei Verwendung eines Sandes mit geringerem Wasserbedarf bei vergleichbarer Verarbeitbarkeit des Frischbetons graphisch dargestellt.

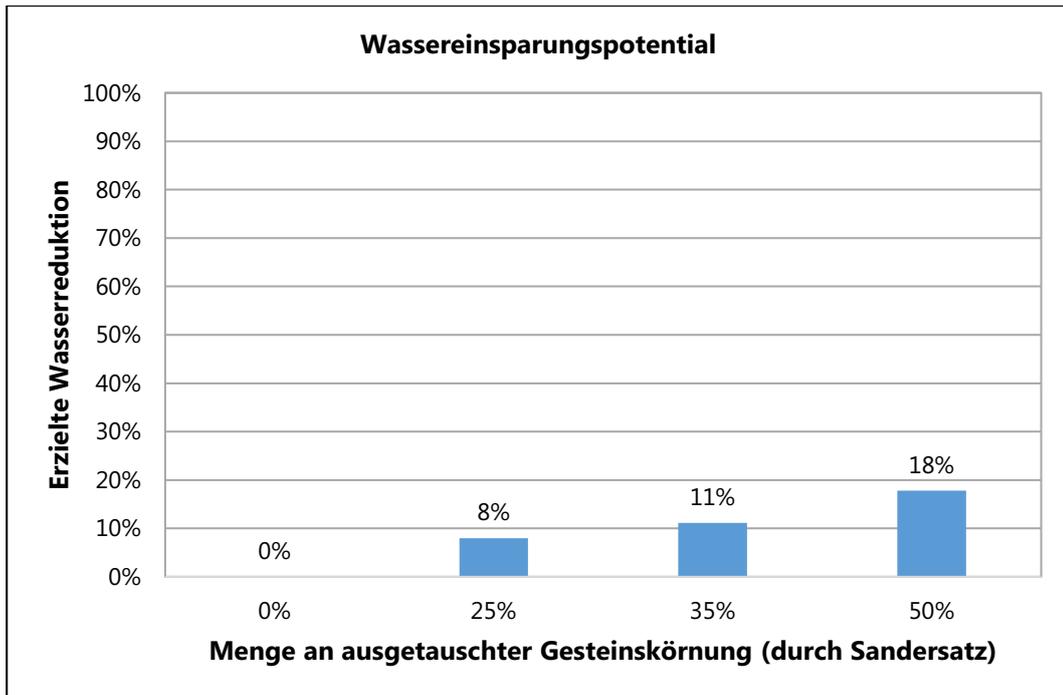


Abb. 8: Wassereinsparungspotential bei Sandaustausch

Zufolge des Wassereinsparungspotentials ergeben sich bei vergleichbaren Verarbeitungseigenschaften des Frischbetons deutliche Unterschiede in der zu erreichenden Festigkeit (siehe Abbildung 9).

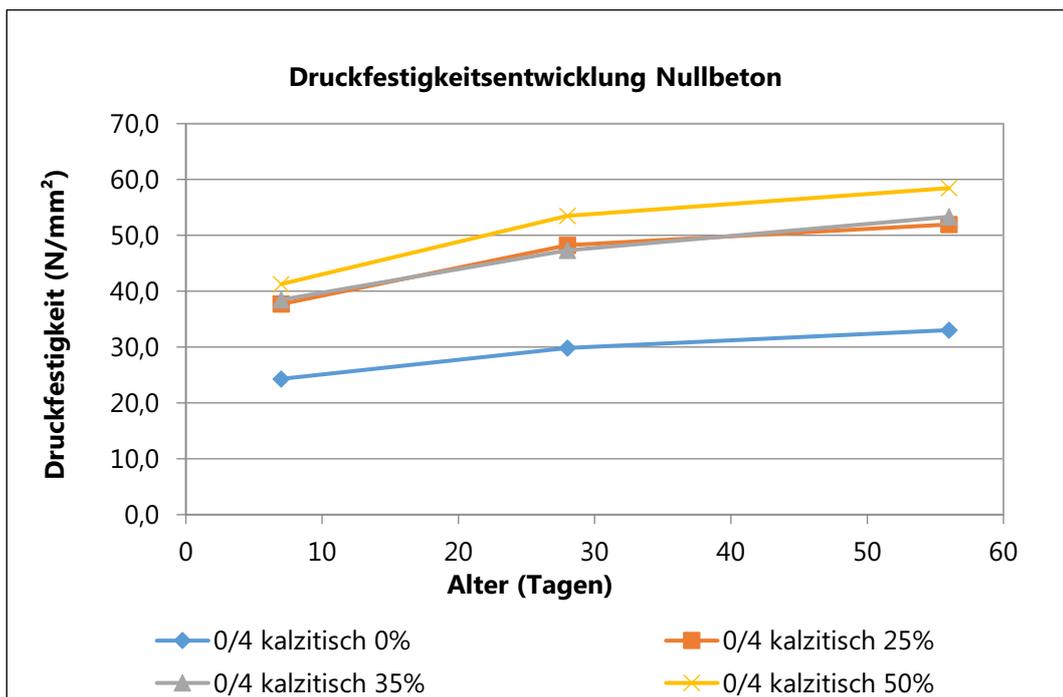


Abb. 9: Betonfestigkeitskurve für NM, M20, M35 und M50 Mischungen (unbeschleunigte Betone)

In den Optimierungsversuchen konnte durch systematischen Ersatz von aufbereitetem Bündner-Schiefer-Sand durch kalzitischen Sand 0/4 mm aufgezeigt werden, dass mit zunehmendem Ersatz der Wasseranspruch deutlich reduziert werden könnte, wodurch sich die Möglichkeit einer deutlichen Druckfestigkeitssteigerung des Spritzbetons, bzw. einer möglichen Reduktion des erforderlichen Bindemittelgehalts anbieten würde.

### 3 Lessons learned

#### 3.1 Erfolge

Insgesamt wurden im Projekt Wolf II knapp 80 % des Betons mit aufbereitetem Tunnelausbruchmaterial hergestellt. Der Anteil an zugelieferter Gesteinskörnung wurde vor der Installation der Aufbereitungsanlage benötigt, ab der Inbetriebnahme der Aufbereitungsanlage wurde eine autarke Versorgung der Baustelle mit Gesteinskörnung aus Tunnelausbruch erreicht.

Tab. 4: Betonkubaturen Vorbaulos H52, Wolf II mit angelieferter u. aufbereiteter Gesteinskörnung

Produkt	Menge	Anteil
Spritzbeton mit Gesteinskörnung angeliefert	25.000 m <sup>3</sup>	26 %
Spritzbeton mit Gesteinskörnung aufbereitet	72.000 m <sup>3</sup>	74 %
Spritzbeton gesamt	97.000 m <sup>3</sup>	100 %

Produkt	Menge	Anteil
Konstruktionsbeton mit Gesteinskörnung angeliefert	16.000 m <sup>3</sup>	18 %
Konstruktionsbeton mit Gesteinskörnung aufbereitet	72.000 m <sup>3</sup>	82 %
Konstruktionsbeton gesamt	88.000 m <sup>3</sup>	100 %

Produkt	Menge	Anteil
Beton mit Gesteinskörnung angeliefert	41.000 m <sup>3</sup>	22 %
Beton mit Gesteinskörnung aufbereitet	144.000 m <sup>3</sup>	78 %
Beton gesamt	185.000 m <sup>3</sup>	100 %

Durch die Aufbereitung wurden die externen Materialtransporte außerhalb des Baustellenbereichs um ca. 250.000 Tonnen reduziert. Diese Tonnage entspricht einer Einsparung von ca. 10.000 externen LKW- Fahrten.

#### 3.2 Benennung von Eckpunkten und Schwierigkeiten

Neben der Qualität des Ausgangsmaterials kommt der Aufbereitungstechnik und dem Durchsatz eine wesentliche Bedeutung zu. Dabei ist ein Optimum zwischen Aufbereitungsmenge und Aufbereitungsqualität zu finden. Für eine Steuerung ist eine konstante, baustellengebundene Laborbetreuung mit hinterlegten Prüfbläufen und Häufigkeiten unbedingt erforderlich. Die hergestellte Gesteinskörnung muss die Anforderungen an die erforderlichen Betongütern abdecken können. Dazu sind Überlegungen anzustellen, bis zu welcher Betongüte welche Grenzwerte bereits für die Gesteinskörnung vorzugeben und einzuhalten sind. Unabhängig davon ist eine Prüfung des Endprodukts Beton durch Nachweise am Festbeton in diese Überlegungen verstärkt einzubeziehen. Ebenfalls wesentlich ist die Berücksichtigung der unterschiedlichen jahreszeitlichen Randbedingungen für die Aufbereitung, Lagerung und Deponierung des Rohmaterials und Wertkorns, im vorliegenden Fall verschärft durch die Anwendung im alpinen Raum (z. B. frostsichere Aufbereitung, Wasseraufbereitung, Entwässerung des aufbereiteten Materials und des Rückstandes). Diese Erschwernisse konnten zum Großteil gut gelöst werden. Der hohe Wasseranspruch des Sandanteils bereitete jedoch erhöhte Schwierigkeiten und Aufwendungen.

#### 3.3 Erforderliche Anforderungen und Regelungen – aus Sicht der Projekterfahrung

Die folgenden Überlegungen beruhen auf den bereits beschriebenen Erfahrungen, sind projektspezifisch anzupassen und nicht allgemein gültig. Sie schaffen einen Konnex zwischen Geologie und Qualitätsanspruch an das Rohmaterial. Nach Kenntnis der Geologie könnte eine Einteilung des Rohmaterials unter Bewertung

des Mineralbestands in 4 Kategorien erfolgen: Kat. A - gut geeignet, Kat. B - geeignet, Kat. C - bedingt geeignet und Kat. D - ungeeignet. Den jeweiligen Kategorien, die Qualitätsklassen des Ausgangsmaterials darstellen, können erzielbare Betongüten zugeordnet werden, z. B. Material der Kat. A - Betone bis zur Festigkeitsklasse C35/45, Material der Kat. B - Betone bis zur Festigkeitsklasse C25/30, Material der Kat. C - Füllbetone u. Betone bis zur Festigkeitsklasse C16/20. Unabhängig davon wären bei einer erneuten Aufbereitung mit gegenständlicher Geologie folgende Schritte vorgesehen. Grobe Gesteinskörnung kann zur Gänze, Sandfraktion 0/4 mm kann nur bis zu einem Anteil von max. 40 % mit aufbereitetem Ausbruchmaterial zur Anwendung kommen. Das bedeutet allerdings auch, dass 60 % des Sandes zugeführt werden müssen. Bestimmte Aufbereitungsschritte, z. B. Vorabsiebung des Rohmaterials, Kategorisierung des Rohmaterials sind frühzeitig vor dem Aufbereitungsprozess analog zur Ausbaufestlegung und Definition von zumindest erforderlichen logistischen Maßnahmen, z. B. Notabwurf, Seitenaufgabe, Zwischenbunker vorzuschreiben. Zur Steuerung und Zuordnung von Massenströmen sind redundante Erfassungssysteme idealerweise online erforderlich. Es empfiehlt sich auch, Regelungen zur personellen Besetzung mit Anforderungsprofil zu Schlüsselstellen in der Abwicklung der Aufbereitung zu definieren und einzufordern, da der Vortrieb und der Baubetrieb nicht ursächlich die Bedürfnisse der Aufbereitungslogistik und Aufbereitungstechnik im Fokus haben müssen. Für die Qualitätsanforderungen an das Produkt müssen klare Zielvorgaben und Grenzwerte mit dem dazugehörigen Prüf- und Überwachungsplan (Produktionskontrolle) ausgearbeitet und umgesetzt werden.

#### **4 Literatur**

- [1] Cordes, T.; Hofmann, M. Murr, R.; Bergmeister: Aktuelle Entwicklungen der Spritzbetontechnologie u Spritzbetonbauweise am Brenner Basistunnel. In: Spritzbetontagung 2018, In: Kusterle, W. (Hrsg.): Spritzbeton - Tagung 2018, Alpbach, 11.- 12.1.2018, Eigenverlag, 2018.
- [2] ÖVBB (ÖBV): Richtlinie Spritzbeton, Österreichische Vereinigung für Beton und Bautechnik, 2009.
- [3] ÖBV: Richtlinie Innenschalenbeton, Österreichische Bautechnik Vereinigung, 2012
- [4] ÖBV: Richtlinie Erhöhter baulicher Brandschutz für unterirdische Verkehrsbauwerke aus Beton, 2015

#### **5 Autor**

##### **Dipl.-Ing. Roland Murr**

Bauausführung AT, Betontechnologie und Qualitätssicherung  
Brenner Basistunnel SE  
Amraserstraße 8  
A - 6020 Innsbruck  
roland.murr@bbt-se.com