

---

# SPRITZBETON MIT REDUZIERTEM VERSINTERUNGSPOTENTIAL - PRAKTISCHE ANWENDUNG AUF ÖSTERREICHISCHEN GROSSBAUSTELLEN

---

## ***SPRAYED CONCRETE WITH REDUCED PRECIPITATION POTENTIAL – PRACTICAL EXPERENCES FROM MAJOR CONSTRUCTION SITES IN AUSTRIA***

Walter **Pichler**, Material Consult Dr. Pichler ZT GmbH, Hart, Österreich  
Hanns **Wagner**, ÖBB-Infrastruktur AG, Graz, Österreich  
Romed **Insam**, Brenner Basistunnel BBT SE, Innsbruck, Österreich

Beginnend 2010 mit dem Bau des ersten Bauloses am Koralmtunnel wird in Österreich zunehmend bei großen Tunnelbauvorhaben die Anforderung an eine begrenzte Auslaugbarkeit von Calcium aus dem Spritzbeton gestellt, mit dem Ziel die laufenden Instandhaltungskosten, die durch Reinigungsarbeiten der Drainagen entstehen, zu verringern.

Durch die Evaluierung des Prüfverfahrens, der Festlegung eines möglichen Grenzwertes und die Veröffentlichung des ÖBV Merkblattes „Festlegung des reduzierten Versinterungspotentials“ wurden die Erkenntnisse, die im Zuge des ersten Bauloses des Koralmtunnel der ÖBB-Infrastruktur AG gewonnen wurden der Fachwelt zugänglich gemacht. Die Verwendung von Spritzbeton mit „reduziertem Versinterungspotential“ ist in Österreich dadurch innerhalb weniger Jahre Stand der Technik geworden.

Die Erfahrungen von mehreren Großbaustellen mit Spritzbeton, der ein reduziertes Versinterungspotential aufweist, werden in diesem Dokument dargelegt.

*Ever since the first building section of the Koralm Tunnel in 2010 more and more requirements have been imposed on limiting the calcium leaching from the sprayed concrete at major Austrian railway projects. The aim is to reduce the maintenance costs for the cleaning of the drainage system.*

*The findings, which were acquired during the first building section of the Koralm Tunnel by the ÖBB-Infrastruktur AG, have been made accessible to experts through the evaluation of the test procedure, the establishing of a possible limit value as well as the publication of the OEBV Bulletin “Specification for Reduced Precipitation Potential“. The application of sprayed concrete with “reduced precipitation potential“ has therefore become the state of the art technique in Austria within the last few years.*

*The experience made at multiple major railway construction sites using sprayed concrete with reduced precipitation potential is presented in this paper.*

## **1. Einleitung**

Auslaugversuche an Spritzbeton werden seit Jahrzehnten durchgeführt, allerdings mit unterschiedlichen Zielsetzungen. Einerseits wurde mit Hilfe der ausgelaugten Stoffe die Dauerhaftigkeit des Spritzbetons beurteilt. Andererseits war eine Bewertung des Einflusses auf die Umwelt (Grund- oder Bergwassers) möglich. Dies war auch ein probates Mittel, um die ungeliebten, weil arbeitshygienisch sehr bedenklichen, Alkali-Laugen mit einem pH-Wert

von bis zu 13, die als Erstarrungsbeschleuniger verwendet wurden, aus dem Tunnel- und Stollenbau zu verbannen.

Es wurden allerdings bereits vor der Jahrtausendwende Auslaugversuche durchgeführt, um die Spritzbetonzusammensetzung im Hinblick auf eine Verringerung der Calciumauslaugung zu optimieren [2], mit dem Ziel, die Versinterung der Drainagen zu minimieren. Aufgrund des Fehlens von verbindlichen Anforderungen in Normen und Richtlinien, sowie eines einheitlichen Prüfverfahrens wurde dies nur in Einzelfällen projektsbezogen angewendet.

Die für die Bewertung des Auslaugverhaltens des Spritzbetons hauptsächlich verwendeten Elutionsverfahren sind in Tabelle 1 angeführt.

Tab. 1: Übersicht Elutionsverfahren [1]

Verfahren	Durchführung	Eluent			Dauer	Ursprung, Anwender
		Aus-tausch	Destil-liert	CO <sub>2</sub> -hältig		
DEV-S4	Probe zerkleinert, Probe geschüttelt, Eluat filtriert/zentrifugiert	nein	ja	nein	24h	DIN 38414-S4
Trogverfahren	Vollständige Umströmung mit bewegtem Wasser	nein	ja	nein	24h	ÖNORM S 2072
Auslaugzelle	Prüfplatte 50x70 cm, kontinuierliche Zufuhr	ja	ja	nein	3,5h	Philipp Holzmann AG
Durchströmungs-zelle	10 mm dicke Scheiben werden mäanderförmig durchströmt	ja	ja	nein	3,5h	TU München
Umströmungs-zelle	6 Probekörper in Umströmungsanlage, Wasserstemperatur 4°C	nein	nein	ja	28d	Ruhr-Universität Bochum, Umwelt- und Tunnel-Technologie

Mit Ausnahme der Umströmungszelle wurde bei den einzelnen Prüfverfahren destilliertes Wasser verwendet. Die mit diesen Verfahren ermittelten Auslaugraten an Calcium sind daher mit natürlichen Verhältnissen nicht vergleichbar. Mit der Umströmungszelle wurde bereits ein Weg beschritten, Wässer naturnahe nachzubilden und als Eluens zu verwenden.

Ein ideales Prüfverfahren sollte eine Berechnung der auslaugten Menge an Calcium im zeitlichen Verlauf für einen Baustoff bezogen auf ein Bergwasser mit bekanntem Chemismus ermöglichen. Damit wäre es möglich den kostenintensiven Maßnahmen in Bezug auf die Verwendung von teuren Stoffkomponenten ein Einsparungspotential bei den Instandhaltungskosten gegenüber zu stellen.

Das Tunnelsystem und dessen konstruktive Ausbildung sowie die bahntechnischen Einrichtungen haben einen wesentlichen Einfluss auf die zukünftige Instandhaltung der Infrastrukturanlage. Die Instandhaltung hat wiederum Auswirkungen auf den Betrieb und die Verfügbarkeit, sowie auf die zukünftigen Betriebs- und Instandhaltungskosten. Bisherige Erfahrungen mit bestehenden Tunnelbauwerken und projektspezifische Untersuchungen zu zukünftigen Instandhaltungsarbeiten im Tunnel zeigen, dass die Instandhaltungsarbeiten des Entwässerungssystems sehr arbeitsaufwändig sein können. Der Anteil der Reinigung der Sohldrainagen an den Instandhaltungskosten eines Tunnels beträgt ca. 15 % und ist somit ein wesentlicher Kostenfaktor für den Betreiber des Tunnels.

Im folgenden Bild 1 sind die einzelnen Anteile an den Instandhaltungskosten eines Tunnels angeführt.

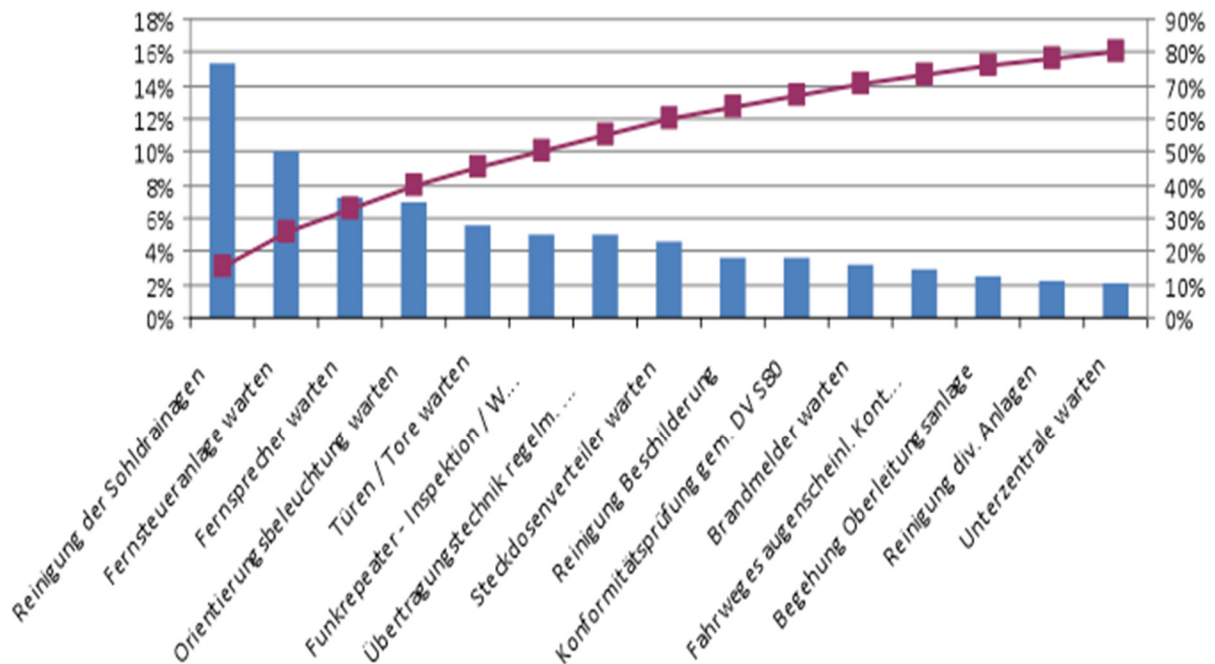


Bild 1: Anteile an den Instandhaltungskosten eines Tunnels [5]

## 2. Baupraktische Umsetzung in Österreich

Für die Herstellung des Spritzbetons des Bauloses KAT 1 des Koralmtunnels, der ÖBB-Infrastruktur AG wurde erstmals in Österreich eine Begrenzung des Versinterungspotentials eingeführt. Im Zuge der Ausschreibung im Jahre 2008 wurde im Rahmen eines Pilotprojektes, der Grenzwert für die Calziumauslaugung des Spritzbetons definiert. Dieser lag für die Spritzbetonsorte SpC20/25/J2/XC4/EA bei 0,30 kg/to Spritzbeton, wobei die Bezeichnung EA für eluierarm projektspezifisch festgelegt wurde.

Im Zuge der ersten Baustellenerfahrungen musste eine Evaluierung und Optimierung des Prüfverfahrens durchgeführt werden, dessen Ergebnisse [3, 4] Basis für das im Jahre 2012 von der Österreichischen Bautechnik Vereinigung (ÖBV) herausgegebene Merkblatt „Festlegung des reduzierten Versinterungspotentials“ waren. Das darin beschriebene Verfahren gründet sich auf dem in der Tabelle 1 beschriebenen Trogverfahren, das speziell für die Auslaugung von Spritzbeton modifiziert wurde.

Das Prüfverfahren gemäß ÖBV Merkblatt „Festlegung des reduzierten Versinterungspotentials“ ist aufgrund seiner einfachen Handhabung baustellentauglich und zielt darauf ab, den Klinkergehalt im Mischgut für den Spritzbeton weitgehend zu begrenzen. Aufgrund der Prüfdauer von in Summe 8 Tagen und der verwendeten Eluens (entionisiertes Wasser), wird praktisch nur die Menge an löslichem Calziumhydroxid aus dem Zementstein geprüft.

Die Löslichkeit von Kalzit, der im Baustoff in Form von Kalksteinmehl oder Gesteinskörnung enthalten sein kann, wird dabei nicht ausreichend erfasst. Bei größerem Bergwasserandrang und weichen, kalkaggressiven Bergwässern sollte das Auslaugen von Calzium aus Kalzit langfristig betrachtet nicht vernachlässigt werden.

Ein Prüfverfahren, das auch die Löslichkeit des Kalzit, den unterschiedlichen Aggressivitätsgrad des Bergwassers, und die anfallenden Bergwassermengen berücksichtigt, ist derzeit in Entwicklung.

Bei folgenden großen österreichischen Eisenbahntunnel wurde eine Begrenzung des Versinterungspotentials gefordert, wobei abhängig vom Baubeginn das ÖBV-Merkblattes „Festlegung des reduzierten Versinterungspotentials“ aus dem Jahr 2012 berücksichtigt wurde.

- Koralmtunnel (Baulose KAT1, KAT2 und KAT3)
- Tunnel Pummersdorf
- Semmering Basistunnel Neu (Baulose SBT1.1, SBT 2.1 und SBT3.1)
- Tunnelkette Granitztal

Bei den genannten Bauvorhaben ist, zumindest in großen Bereichen, gering mineralisiertes Bergwasser anzutreffen, wodurch die mögliche Löslichkeit von Calcium aus den verwendeten Baustoffen eine große Bedeutung in Bezug auf die Versinterung der Drainagen erwarten lässt.

Als Grenzwert (RV-Wert) wird als maximal zulässiger Einzelwert bei den Projekten eine maximale Calciumauslaugung von 0,70 kg/to Spritzbeton gefordert.

Für den Brenner Basistunnel werden derzeit Vorbereitungsarbeiten zur Festlegung eines Grenzwertes durchgeführt.

Am Beispiel des Brenner Basistunnel wird in der Folge die Komplexität des Entwässerungssystems, und dessen Wichtigkeit für die Funktion der baulichen Anlage aufgezeigt.

Der Brenner Basistunnel mit einer Gesamtlänge von ca. 54 km besteht aus zwei eingleisigen Haupttunnelröhren, vier Verbindungstunnel im Norden und Süden zur Verknüpfung mit den Bestandsstrecken sowie aus einem tiefer mittig unter den Haupttunnelröhren situierten Entwässerungs- und Servicestollen, der in der Bauphase als Erkundungsstollen herangezogen wird. Die Haupttunnelröhren beinhalten laut derzeitigem Planungsstand ein Entwässerungssystem bestehend aus Ulmendrainagen, Querleitungen je nach Erfordernis im Bereich der technischen Querschlüge sowie Reinigungsschächte im Abstand von 111 m.

Eine erste Untersuchung zu den geplanten Sperrpausen im Brenner Basistunnel [6] zeigen, dass die Instandhaltungsarbeiten der Tunnelentwässerung einen erheblichen Teil des gesamten Instandhaltungsaufwandes hervorrufen. Das größte Problem betreffend die Tunnelentwässerung stellen noch immer Versinterungen des Drainagesystems dar.

Im Zuge von verschiedenen Projektoptimierungen am Brenner Basistunnel wurden auch verschiedene Lösungsansätze für eine Optimierung der Tunnelentwässerung aufgezeigt. Zu diesen gehören neben den konstruktiven Optimierungen und den Optimierungen der Instandhaltungsmaßnahmen des Entwässerungssystems auch der Einsatz von Baustoffen mit geringem Versinterungspotential, wie z.B. für Spritzbeton, Injektionen, Drainagekörper, Ringspaltverfüllungen.

Der Vortrieb des Brenner Basistunnels wird sowohl in konventioneller als auch in maschineller Bauweise erfolgen. In mehreren Abschnitten der Haupttunnelröhren ist damit zu rechnen, dass Versinterungen im Entwässerungssystem auf Grund der Bergwasser-eigenschaften, wie Chemismus und Wassermenge, sowie auf Grund des Auswaschens von zementgebundenen Baustoffen entstehen können.

In bestimmten sensiblen wasserführenden Zonen, wie z.B. Valsertal, Venntal oder Brennersee sind Abdichtungsmaßnahmen gemäß Umweltverträglichkeitsgutachten in Abhängigkeit der Monitoringaufzeichnungen und in Abstimmung mit den zuständigen Behörden mit großer Wahrscheinlichkeit erforderlich. Die gebirgsverbessernden Maßnahmen zur Reduzierung der potentiellen Wasserzutritte und / oder Absenkungen der piezometrischen Druckhöhen können durch Injektionsmaßnahmen, wie z.B. in Form von Zement- oder Kunstharzinjektionen ausgeführt werden. Die Wahl des Injektionsmittels ist von verschiedenen Faktoren, wie z.B. Bergwasserdruck, Bergwasserchemismus (Sulfatgehalt), Bergwassertemperatur, Kluftsysteme sowie von Kosten und Terminen abhängig. Die Wahl eines bestimmten Injektionsmittels kann aber auch bedeutende Auswirkungen auf die Versinterungsbildungen im Entwässerungssystem haben.

In verschiedenen Tunnelabschnitten werden niedrig und hoch mineralisierte Bergwässer prognostiziert. In Bereichen mit hoch mineralisierten Bergwässern können Versinterungsbildungen nicht nur in der Bauphase, sondern auch in der Betriebsphase unabhängig vom Kontakt mit zementgebundenen Baustoffen, entstehen. Ferner sind zwischen Steinach und der Staatsgrenze sehr sulfatreiche Bergwässer prognostiziert, die eine bestimmte Betonaggressivität aufweisen und daher für die Zusammensetzung der Spritzbetonaußenschale bzw. Tübbingauskleidung zu berücksichtigen sind.

### 3. Spritzverfahren

Die Anforderung an das Versinterungspotential des Spritzbetons ist nicht auf das Spritzverfahren (Trocken- oder Nassspritzverfahren) bezogen, sondern auf die Eigenschaften des hergestellten Baustoffes.

Es ist allerdings festzuhalten, dass sich derzeit die Mehrzahl der Erfahrungen und Erkenntnisse auf das Nassspritzverfahren beziehen. Für das Trockenspritzverfahren wurden Versuche in großem Maßstab durchgeführt. Mit den derzeit in großtechnischem Maßstab eingesetzten Mischgut „TM“ kann die Klasse RV0,70 trotz durchgeführter Optimierungsmaßnahmen nicht gesichert eingehalten werden. Die Optimierungsmaßnahmen sind allerdings noch nicht abgeschlossen.

### 4. Bindemittel

Die Begrenzung des Calciumhydroxid-Gehaltes im Spritzbeton lässt sich am einfachsten durch die Verringerung des Klinkergehaltes im Bindemittel verwirklichen. Dabei wird ein Teil des Klinkers durch Zusatzstoffe (ca. 30 % im Bindemittel) ersetzt. Dies erfordert Zemente mit extrem hoher Frühfestigkeit, da sonst die Frühfestigkeitsklasse J2, die im Regelfall für den Vortriebsspritzbeton gefordert wird, nicht erreicht werden kann.

In der folgenden Tabelle 2 sind die maßgeblichen Kennwerte wie Mahlfineinheit und Druckfestigkeit der auf den verschiedenen Baustellen verwendeten Zemente (Werk A und B) einem üblichen Zement („Standard Zement“) für die Herstellung von Nassspritzbeton gegenüber gestellt.

*Tabelle 2: Kennwerte von Zementen*

Kennwert	CEM I 52,5 R Werk A	CEM I 52,5 R Werk B	Standard Zement CEM II/A-S 52,5 N
Blainewert (cm <sup>2</sup> /g)	5520	4900	4600
1d Druckfestigkeit (N/mm <sup>2</sup> )	32	29	20
28d Druckfestigkeit (N/mm <sup>2</sup> )	64	62	62

Die 1-Tage Druckfestigkeit der CEM I Zemente liegt deutlich über der von im Tunnelbau üblicherweise eingesetzten Zementen, die eine Druckfestigkeit im Bereich von 16-21 N/mm<sup>2</sup> aufweisen. Dies ist erforderlich, da ein Bindemittel aus Zement und Zusatzstoff verwendet wird, das einen Klinkeranteil von lediglich ca. 70 % aufweist.

Die 1-Tage Druckfestigkeit ist allerdings kein alleiniges Merkmal zur Festlegung der Eignung eines Zementes für die Herstellung von Spritzbeton mit reduziertem Versinterungspotential. Die Reaktivität des Zementes während der ersten 24 Stunden in Verbindung mit den Wirkstoffkomponenten des Erstarrungsbeschleunigers ist hierbei essentiell.

Als Prüfverfahren für die Reaktivität des Bindemittels mit dem Erstarrungsbeschleuniger können die Prüfverfahren gemäß ÖVBB Richtlinie Spritzbeton, Ausgabe 2009, Pkt. 12.2.1 und Pkt. 12.2.3 (Zylinderproben) verwendet werden.

Prinzipiell ist anzumerken, dass nicht ausschließlich Bindemittel auf der Basis von CEM I Zement mit Zusatzstoff angewendet werden müssen. Eine Verwendung von Zement der Type CEM II/B als Bindemittel ist durchaus möglich, wenn der darin enthaltene Klinker eine entsprechende Reaktivität aufweist, und der Zumahlstoffgehalt an der Obergrenze des zulässigen Bereiches (30 %) liegt.

## 5. Mischgut

Für Nassmischgut für Spritzbeton der Sorte SpC25/30(56)/II/J2/XC4/RV0,70 wird im Regelfall die Zusammensetzung gemäß Tabelle 3 verwendet. Darin enthalten ist auch eine übliche Mischgutzusammensetzung für dieselbe Spritzbetonsorte ohne Anforderung an das Versinterungspotential.

*Tab. 3: Übliche Rezeptur für Nassmischgut mit und ohne Anforderung an das Versinterungspotential RV0,70 (mittlere Spalte) und ohne Anforderung an das Versinterungspotential (rechte Spalte)*

	SpC25/30(56)/II/J2/XC4/RV0,70	SpC25/30(56)/II/J2/XC4
CEM I 52,5 R	280-320 kg/m <sup>3</sup>	-
CEM II/A-S 42,5 R	-	420 kg/m <sup>3</sup>
AHWZ	140-100 kg/m <sup>3</sup>	-
Wassergehalt	200 l/m <sup>3</sup>	200 l/m <sup>3</sup>
Zusatzmittel (FM, LP, VZ)	nach Bedarf	nach Bedarf
Gesteinskörnung	ca. 1800 kg/m <sup>3</sup>	ca. 1800 kg/m <sup>3</sup>
0/4	70-75 %	70-75 %
4/8	30-25 %	30-25 %

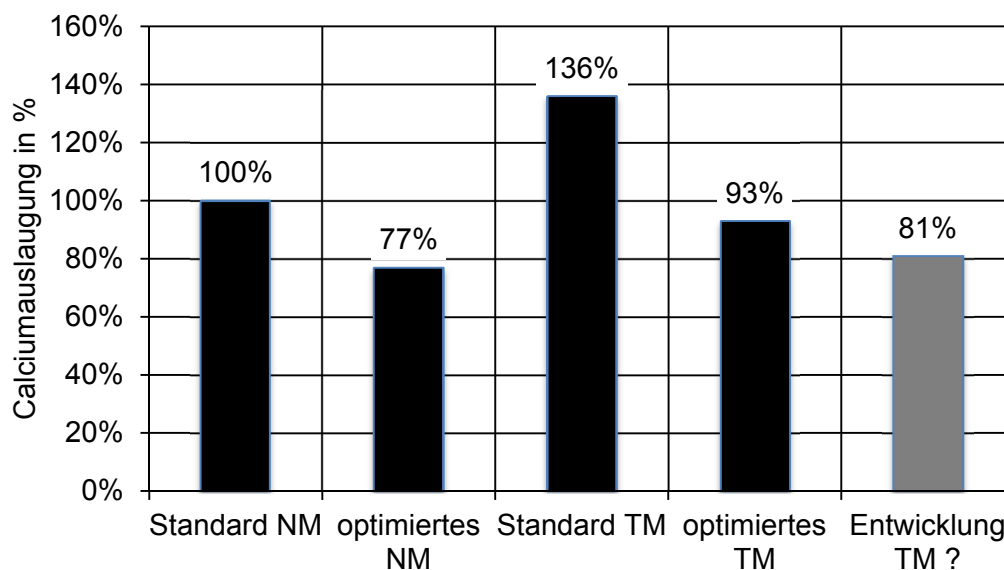
Bei drückendem Bergwasser hat sich die Erhöhung des Zementgehaltes von 280 kg/m<sup>3</sup> auf bis zu 320 kg/m<sup>3</sup> sehr bewährt. Eine belastbare statistisch Auswertung des Einflusses der Erhöhung des Zementgehaltes auf 320 kg/m<sup>3</sup> (Austausch einer äquivalenten Menge an Zusatzstoff durch Zement) in Bezug auf die Prüfung des RV-Wertes ist derzeit aufgrund der geringen Anzahl an Prüfergebnissen noch nicht möglich.

Für Trockenmischgut kann derzeit keine „übliche“ Zusammensetzung angegeben werden aufgrund der Unterschiede in den verwendeten Betonzusammensetzungen.

## 6. Spritzbeton

Baupraktisch konnte bisher kein wesentlicher Einfluss der verwendeten Gesteinskörnung oder des verwendeten Erstarrungsbeschleunigers auf das Ergebnis der Prüfung der Calciumauslaugung gemäß dem Prüfverfahren im ÖBV Merkblatt festgestellt werden, unter der Voraussetzung, dass der Zementgehalt nicht verändert wurde.

Ein Vergleich der Prüfergebnisse unterschiedlicher Spritzverfahren (mit unterschiedlicher Mischgutzusammensetzung) mit und ohne Optimierung des Mischgutes ist in Bild 2 enthalten.



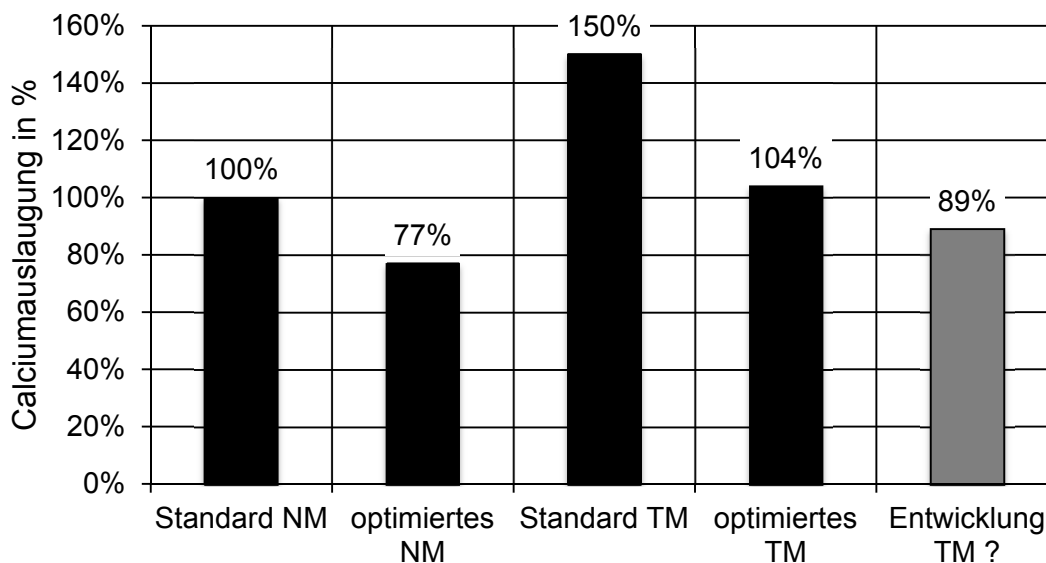
*Bild 2: Calciumauslaugung in % abhängig vom Spritzverfahren und Optimierungsgrad des Mischgutes (NM-Nassmischgut, TM-Trockenmischgut)*

Die Werte im Bild 2 basieren auf Mittelwerten aus der Konformitätsprüfung unterschiedlicher Baustellen. Als Optimierungsmaßnahme wurde ein Teil des Zementes durch Zusatzstoff ersetzt. Eine Abschätzung der möglichen Entwicklung für Trockenmischgut (TM) zeigt, dass bei einer weiteren Optimierung der Zusammensetzung durch Reduktion des Zementgehaltes eine Calciumauslaugung im Bereich des optimierten Nassspritzbetons möglich ist.

In diesem Zusammenhang ist allerdings anzumerken, dass der Rückprall bei der Anwendung des Trockenspritzverfahrens gegenüber dem Nassspritzverfahren um ca. 10 %-15 % höher anzusetzen ist.

Da Rückprall größtenteils aus Gesteinskörnung besteht, muss an der aufgetragenen Spritzbetonoberfläche, die mit Trockenmischgut hergestellt wurde, mit einem entsprechend höheren Zementgehalt gerechnet werden. Da die Proben für die Prüfung der Calciumauslaugung im Regelfall aus Spritzkisten und nicht aus dem Bauwerk entnommen werden, ist dieser Einfluss im Bild 2 nicht enthalten.

Eine Berücksichtigung eines um ca. 10 % höheren Zementgehaltes im Spritzbeton aus Trockenmischgut würde die Ergebnisse des Bild 2 gemäß Bild 3 verändern.



*Bild 3: Calciumauslaugung in % abhängig vom Spritzverfahren und Optimierungsgrad des Mischgutes für Bauwerksproben*

In der folgenden Tabelle 4 ist eine Auswertung der Prüfergebnisse für die Calciumauslaugung die im Rahmen der Konformitäts- und Identitätsprüfung auf 3 unterschiedlichen Baustellen geprüft wurden.

*Tab. 4: Prüfergebnisse der Calciumauslaugung von Spritzbeton*

	Baustelle A	Baustelle B	Baustelle C
Mischgut	NM	NM	NM
Mittelwert	0,53	0,44	0,56
Standardabweichung	0,10	0,11	0,064
Max. Wert	0,69	0,92	0,68
Anzahl der Prüfergebnisse	33	30	28
95% Quantil	0,70	0,65	0,67
99,5% Quantil	0,80	0,74	0,74

Aus Tabelle 4 geht hervor, dass Einzelwerte den festgelegten Grenzwert von 0,70 überschritten können, wenn eine entsprechende Anzahl von Prüfergebnissen vorliegt. Dies erklärt sich daraus, dass bei der Berechnung des zulässigen Grenzwertes (RV-Grenzwert) das 95 % Quantil verwendet wurde. Aus statistischen Überlegungen heraus müsste somit nach zwanzig positiven Ergebnissen ein negatives Ergebnis folgen. Es sollte daher eine Modifizierung der Anforderung in Bezug auf den RV-Wert erfolgen. Eine einzelne Überschreitung des Grenzwertes um 15 % je 20 Prüfwerte kann zugelassen werden. Dies würde einer Versagenswahrscheinlichkeit von einem negativem Ergebnis 1 aus 200 Prüfwerten entsprechen.

Theoretisch sollte es eine Korrelation zwischen Calciumauslaugung und Wassereindringtiefe oder Druckfestigkeit (Dichte) des Spritzbetons geben. Die entsprechenden Werte aus den Konformitäts- und Identitätsprüfungen einer Baustelle sind im Bild 4 und 5 gegenübergestellt.



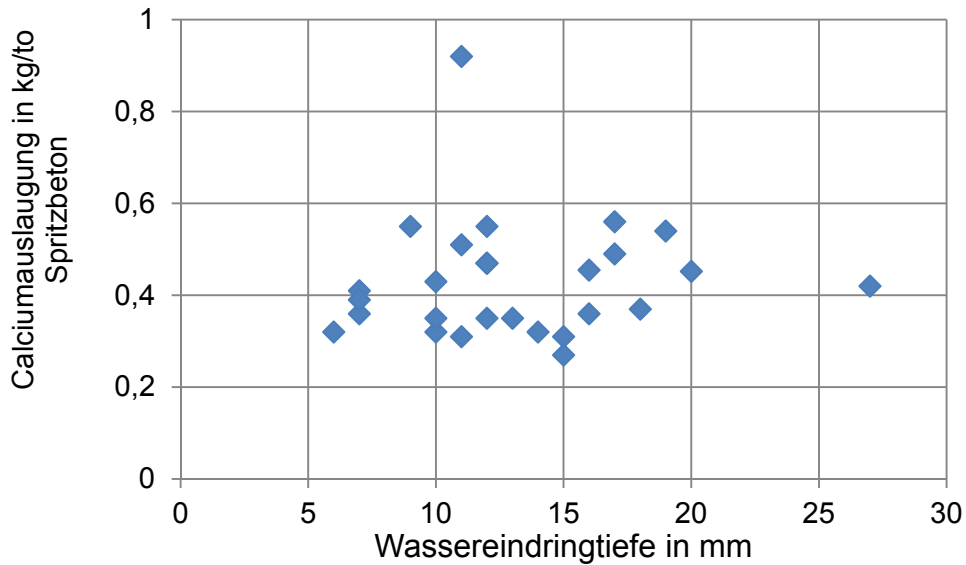


Bild 4: Gegenüberstellung der Werte der Wassereindringtiefe und der Calziumauslaugung

Eine Korrelation von Wassereindringtiefe und Calziumauslaugung ist anhand der Prüfergebnisse der Konformitätsprüfung in Bild 4 nicht herzustellen.

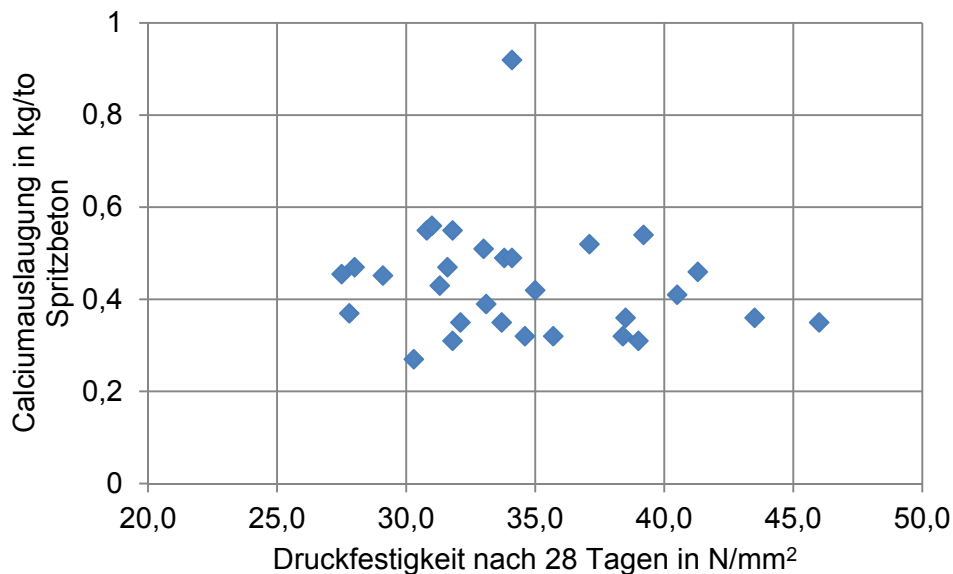


Bild 5: Gegenüberstellung der Werte der Druckfestigkeit und der Calziumauslaugung

Eine Korrelation von 28-Tage-Druckfestigkeit und Calziumauslaugung ist anhand der Prüfergebnisse der Konformitätsprüfung in Bild 5 nicht herzustellen.

## 7. Grenzen der Anwendung

Die Einhaltung der Anforderung an das reduzierte Versinterungspotential kann für folgende Spritzbetonklassen, nach derzeitigem Stand der Technik, nicht gesichert eingehalten werden:

- Frühfestigkeitsklasse „J3“
- Expositionsklasse XAT/C<sub>3</sub>A-frei

Aufgrund der begrenzten Zugabemenge an Klinker im Bindemittel sind nur die Frühfestigkeitsklassen J1 und J2 zielsicher erreichbar.

Für Sulfatangriff mit Sulfatgehalten im Bergwasser über 600 mg/l ist die Verwendung eines Zementes der Klasse „SR 0“ erforderlich. Bei diesen Zementen fehlt die Mineralphase C<sub>3</sub>A, wodurch das Erreichen einer entsprechenden Frühfestigkeit durch die Zugabe von Erstarrungsbeschleunigern erschwert wird. Dies wird im Regelfall durch die Verwendung eines höheren Klinkeranteils im Bindemittel ausgeglichen. Dieser Klinkeranteil führt zu erhöhten Calciumgehalten bei den Auslaugversuchen.

Wird Tunnelausbruchmaterial für die Herstellung von Spritzbeton aufbereitet, so ist abhängig von der Qualität des Gesteins gegebenenfalls ein erhöhter Wasseranspruch zu berücksichtigen, der den erforderlichen Klinkergehalt im Mischgut erhöht und daher auch die auslaugbare Menge an Calcium.

## 8. Zusammenfassung

Die Verwendung von Spritzbeton mit einem begrenzten Versinterungspotential gemäß dem ÖBV Merkblatt „Festlegung des reduzierten Versinterungspotentials“ kann in Österreich zwischenzeitlich als Stand der Technik bezeichnet werden. Einschränkend muss allerdings dazu festgestellt werden, dass nur wenige Zementwerke geeignete Zemente für die Herstellung des Mischgutes produzieren. Abhängig von der örtlichen Lage der Baustelle können dadurch erhebliche Transportkosten für das Bindemittel entstehen.

Betreffend Frühfestigkeitsklasse, Expositionsklasse und verwendeter Gesteinskörnung bestehen Zwangspunkte, die bei Festlegung des Grenzwertes der Calciumauslaugung zu berücksichtigen sind.

Die Entwicklung/Optimierung des derzeit verwendeten Prüfverfahrens ist erforderlich, um auch den Einfluss des Chemismus des Bergwassers in Hinblick auf die Petrographie der Gesteinskörnung und der im Mischgut enthaltenen nicht reaktiven Zusatzstoffen berücksichtigen zu können.

Die Anforderung betreffend des einzuhaltenden Grenzwertes sollte um das Kriterium „Einzelüberschreitung Grenzwert“ ergänzt werden, das die Versagenswahrscheinlichkeit des 99,5% Quantil berücksichtigt.

## 9. Literatur

- [1] Tallarek, F.; Schockemöhle, B.; Maidl, B.:  
Auslaugverhalten von Spritzbeton. Spritzbetontechnologie 1999, In: Berichtsband der 6. Internationalen Fachtagung Innsbruck-Igls: 21.+22. Januar 1999.
- [2] Dorner, H. W.:  
Auslaugung von Salzen aus Spritzbetonschalen durch Wasser. In: Berichtsband der 4. Internationalen Fachtagung Innsbruck-Igls: 21.+22. Januar 1993.
- [3] Kusterle, W., Pichler, W. und Saxer, A.:  
Prüfverfahren zur Bestimmung des Versinterungspotentials von Spritzbeton – Einflussfaktoren. Beton- und Stahlbetonbau 106, (2011), Heft 12, 847-852.
- [4] Pichler, W.; Saxer, A.; Kusterle, W.:  
Kann die Spritzbetonzusammensetzung die Versinterungsneigung in der sekundären Tunneldrainage beeinflussen? In: Kusterle, W. (Hrsg.): Spritzbeton-Tagung 2012. Proc. der Tagung, 12.+13.01.2012, Alpbach, Tirol, Eigenverlag, 2012.

- [5] Pichler, W.; Schöfer, H.; Wagner, H.:  
Eluatarmer Spritzbeton, Erkenntnisse aus 2 Jahren Baustelleneinsatz. In Südbahntagung 2011, 02.-03. Dezember 2011, Technische Universität Graz, Tagungsband, Veranstalter Technische Universität Graz, Herausgegeben: Institut für Felsmechanik und Tunnelbau, Wulf Schubert, 1. Auflage 112 Seiten.
- [6] Berghold, A.:  
Zwischenergebnisse Sperrpausen im BBT. TU Graz, unveröffentlichter Bericht 18.06.2013.

### **Zu den Autoren**

Dipl.-Ing. Dr. techn. Walter Pichler

Studium des Bauingenieurwesens an der Fakultät für Bauingenieurwesen der Universität Innsbruck, Dissertation an der Universität Innsbruck, Gesamtverantwortlicher Leiter der staatlich akkreditierten Prüf- und Messtechnik, Geschäftsführer der Verbundplan Prüf- und Messtechnik GmbH, seit 2005 selbständiger Ingenieurkonsulent für Bauwesen, seit 2013 Geschäftsführer der Material Consult Dr. Pichler ZT GmbH  
*office@matcon.at*

Dipl.-Ing. Hanns Wagner

Studium des Bauingenieurwesens an der Fakultät für Bauingenieurwesen der Technischen Universität Graz, seit 2007 bei der ÖBB-Infrastruktur AG, Streckenmanagement und Anlagenentwicklung, Geschäftsfeld Engineering Services, Tunnelbau  
*hanns.wagner@oebb.at*

Dipl.-Ing. Romed Insam

Studium des Bauingenieurwesens an der Fakultät für Bauingenieurwesen der Universität Innsbruck, Geoconsult ZT GmbH, seit 2001 bei BBT SE, Planung  
*romed.insam@bbt-se.com*