

---

# SPRITZBETON FÜR DRUCKHAFTES GEBIRGE - EIN EINFACHER, FLEXIBLER UND DAHER WIRTSCHAFTLICHER ANSATZ FÜR DAS PROBLEM DER DURCHÖRTERUNG VON DRUCKHAFTEM GEBIRGE

---

## *SHOTCRETE FOR SWELLING GROUND PROPERTIES - AN EASY, MORE FLEXIBLE AND THEREFORE ECONOMIC APPROACH FOR THE PROBLEM OF SWELLING GROUND PROPERTIES*

Dr. Rudolf **Röck**, Schretter & Cie GmbH & Co KG, Vils/Tirol, Österreich  
Dipl.-Ing. Jürgen **Baumgärtner**, Schretter & Cie GmbH & Co KG, Vils/Tirol, Österreich  
Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr. mont. Robert **Galler**, Montanuniversität Leoben, Österreich  
Dipl.-Ing. Christian **Volderauer**, Montanuniversität Leoben, Österreich  
Dipl.-Ing. Dr. mont. Gerhard **Pittino**, Montanuniversität Leoben, Österreich

Aus den Erfahrungen, die im Zuge der Entwicklung eines komprimierbaren Ringspaltmörtels (COMPEX) für den TBM-Vortrieb in druckhaftem Gebirge gesammelt werden konnten, gelang es, einen verformbaren Spritzbeton mit einem Stauchungspotenzial von mindestens 5 Volumsprozent und ausreichender Festigkeit herzustellen sowie an einem Modelltunnel im Zuge eines Pilotversuchs zu verarbeiten und zu testen.

Mit Unterstützung der Montanuniversität Leoben konnte anhand dieses Versuchs an einem Modell-Tunnel aus Stahl mit 3 Meter Durchmesser, an dessen Innenwand eine Vorrichtung zur Lastaufbringung auf den Spritzbeton installiert worden war, die Funktionsfähigkeit dieses Systems unter definierten Bedingungen getestet werden.

Über die Versuche sowie über das Verhalten des komprimierbaren Spritzbetons (COMGUN) unter Lasteinwirkung wird berichtet.

*With the experience of development of compressible annular gap mortar for TBM tunneling in swelling ground (COMPEX), it succeeded to produce a deformable shotcrete with a compression potential of at least 5 percent by volume and sufficient strength and to test it in a model tunnel as part of a pilot test.*

*With support from the University of Leoben the effectiveness of the system was tested under defined conditions on a model tunnel of steel with 3 meters in diameter with installed apparatus for the load application onto the shotcrete of the inner wall.*

*The testing as well as the behavior of compressible shotcrete (COMGUN) under load is reported.*

### 1. Einleitung

Bei Projekten im Untertagebau ist man unter anderem mit druckhaften Gebirgsverhältnissen und damit einhergehender Hohlraumrandverschiebung konfrontiert. Momentan werden bei großen Verschiebungen hierfür ausschließlich Stauchelemente zum Einsatz gebracht, die die auftretenden Konvergenzen aufnehmen können.

Inspiziert durch die Entwicklung eines komprimierbaren Ringspaltmörtels (COMPEX) für den TBM-Vortrieb, wurde ein weiteres Projekt mit der Entwicklung eines komprimierbaren Spritzbetons (COMGUN) für den Tunnelbau nach der neuen Österreichischen Tunnelbaumethode (NATM) begonnen.

Das Ziel dieser Entwicklung ist der Entfall von Stauchelementen. Auch aus statischer Sicht ist eine durchgängige, homogene Spritzbetonschale, die in einem Arbeitsgang hergestellt wird, von großem Vorteil.

In diesem Vortrag wird die von uns in Auftrag gegebene Machbarkeitsstudie [3] vorgestellt.

## 2. Projektvorstellung

Heutzutage werden im Tunnelbau bei druckhaften Gebirge vor allem Stauchelemente verwendet wie z.B. Lining Stress Controller (LSC), System WABE oder High Deformable Concrete (HiDCon), um die Verformungen und Radialverschiebungen aufnehmen zu können [3]. Als Weiterentwicklung des komprimierbaren Ringspaltmörtels (COMPEX) [1], eine Idee von K. Rotter aus dem Jahre 1990, kann der komprimierbare Spritzbeton Comgun gesehen werden.

Ebenso wie bei dem Ringspaltmörtel wurde Polystyrol als stauchbares Medium hinzugegeben, welches den nötigen Kompensationsraum liefert. Allerdings soll hier nur eine Komprimierbarkeit von 5-10 % erreicht werden. Zum Vergleich lässt sich der COMPEX-Mörtel um mehr als 50 % komprimieren. Durch eine passende Rezeptierung sollte ein Trockenmischgut für einen Nassspritzbeton kreiert werden, der mit handelsüblichen Beschleunigern die Frühfestigkeitsklasse J2, die 7-Tage-Festigkeit von 10 MPa und 28-Tage-Normfestigkeit von mindestens 15 MPa erreichen sollte.

Da eine Bewehrung aus Stahlbögen bzw. Baustahlgitter der Komprimierbarkeit der Spritzbetonschale im Wege stand, kamen hier nur Stahlfasern zum Einsatz.

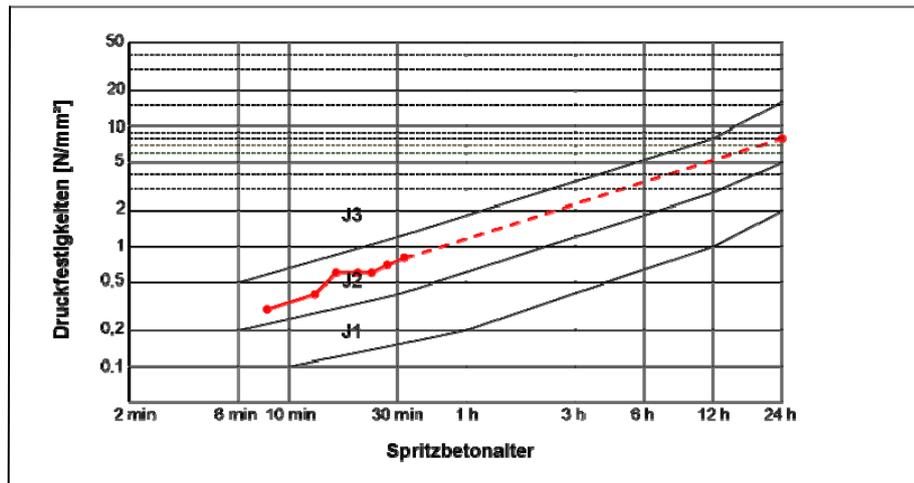
## 3. Vorversuche

In den Vorversuchen wurde ausgetestet wie der Spritzbeton beschaffen sein muss um die gewünschten Ziele zu erreichen. So wurde das Pumpverfahren erprobt, welches im Großversuch zur Anwendung kommen sollte. Hierbei zeigte sich, dass eine Förderung im Dünnstromverfahren mit einer Rotorspritzmaschine nicht geeignet war. Der Schlauchinnendurchmesser von 50 mm war ebenfalls sehr anfällig für Stopfer. Daher fiel die Wahl auf das Dichtstromverfahren mittels einer Kolbenpumpe mit einem 65 mm Schlauch. Die endgültige Betonrezeptur wurde aus den Ergebnissen der Vorversuche optimiert.

Folgende Ergebnisse lieferten die Vorversuche:

1. Die geforderte Festigkeitsentwicklung des jungen Spritzbetons – J2 – wurde erreicht.
2. Ein polystyrolhaltiger Spritzbeton ist mit üblichen Tunnelmaschinen verarbeitbar!
3. Die Komprimierbarkeit des gespritzten Materials wurde im ausreichenden Maße bestätigt.

**Frühfestigkeitsentwicklung des Jungen Spritzbetons**



*Bild 1: Frühfestigkeit von Spritzbeton nach ÖVBB Richtlinie Spritzbeton - Ergebnisse von COMGUN*



*Bild 2: Spritzversuch mit TBA-Beton am Spritzstand (Foto: Schretter & Cie)*



*Bild 3: Schalung und Probekörper für die Prüfung der Komprimierbarkeit (Foto: Schretter & Cie)*

Nach den Vorversuchen waren einige Eigenschaften geklärt und ein Teil der Fragestellungen positiv beantwortet worden. Neben den betontechnologischen Fragen wurden die benötigten

Belastungskurven und das Prüfungssetup festgelegt. Auch hierfür mussten Materialtests am Prüfstand durchgeführt werden. So legte man fest, die Last auf den Spritzbeton durch einen auf der Stahlringinnenseite liegenden flexiblen Gummischlauch aufzubringen. Um den Stahlring, ein ausgedientes Teil des Drehrohrofens, nicht übermäßig zu belasten, wurde die maximal aufzubringende Tangentialspannung mit der Kesselformel (3) in Anlehnung an EC3 [2] berechnet.

$$f_{y,d} = \frac{f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{235}{1,1} = 212,7 \text{ MPa} \quad (1)$$

$$p_{max} = \frac{f_{y,d} \cdot d}{r \cdot \gamma_{F,sup}} = \frac{212,7 \cdot 0,04}{1,7 \cdot 1,5} = 3,34 \text{ MPa} \quad (2)$$

$$\sigma_{t,SpC,max} = \frac{p_{max} \cdot r}{d_{SpC}} = \frac{3,34 \cdot 1,7}{0,3} = 18,9 \text{ MPa} \quad (3)$$

Durch (2) war der maximale Druck im Schlauch auf 33,4 bar berechnet worden mit dem nach (3) eine maximale Tangentialspannung im Spritzbeton von ca. 19 MPa erzeugt werden kann. Diese Spannung könnte durch Verringerung der Spritzbetondicke weiter erhöht werden. Somit war gewährleistet, dass das Setup die Beobachtungszeit von 7 Tagen ermöglicht.

Der Hersteller des Gummischlauches hatte zur Erprobung des Materials und des selbstentworfenen Ventils einen Belastungstest von 80 bar vorgeschlagen, welcher in einem Modellversuch durchgeführt wurde. Hierzu wurde eine Blase geliefert, die in einem eigens dafür angefertigten Drucktopf geprüft wurde. Zu diesem Zwecke wurde ein  $\varnothing$  200 mm Rohr mittig in dem Topf fixiert und mit händisch angerührtem COMGUN ca. zur Hälfte gefüllt. Um die Membran vor den Fasern zu schützen, wurde ein flacher Stahlzylinder dazwischen gelegt. Die Gummiblase wurde einen Tag nach der Betonage mit Pneumatiköl über eine Handpumpe gefüllt und somit der Beton komprimiert. Die eingepresste Menge Hydrauliköl und der damit einhergehende Druck wurden gemessen. In Bild 4 ist die Versuchsauswertung aufgetragen.

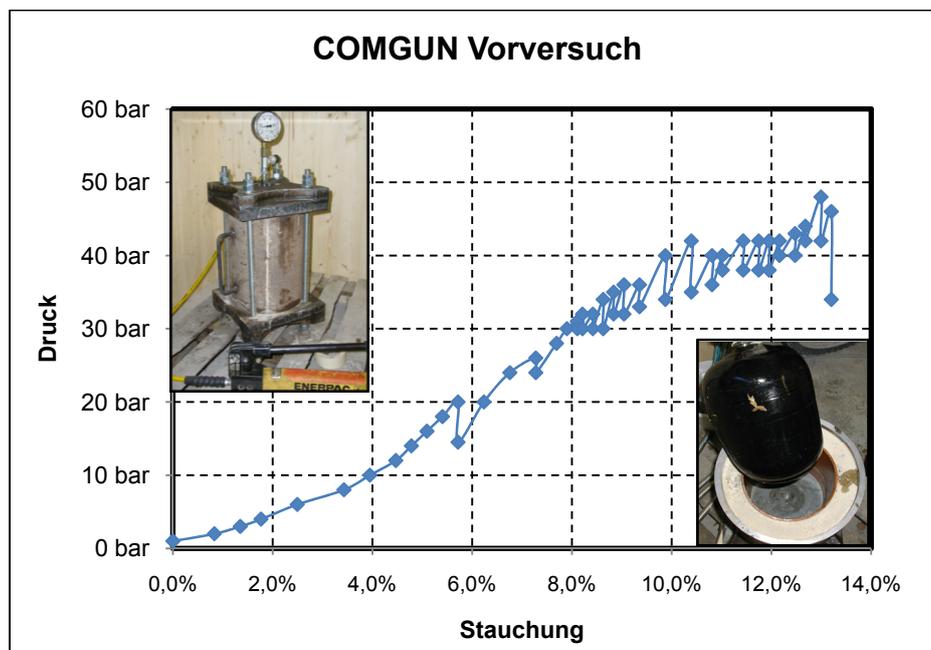


Bild 4: Ergebnis des COMGUN Vorversuch (Fotos: Schretter & Cie)

Wie aus Bild 4 deutlich zu sehen ist, tritt bei einem Druck von ca. 20 bar eine deutliche Relaxation des Systems ein. Dadurch war der Druck von 80 bar nicht erreichbar. Allerdings wäre bei einem steifen System der Druck rechnerisch auf ca. 120 bar gestiegen. Damit war der Test des Schlauchmaterials positiv abgeschlossen.

Aus den bei den Spritzversuchen hergestellten Spritzkisten wurden 100 mm Bohrkern entnommen und zur weiteren Prüfung an das Materialprüflabor des Lehrstuhles Subsurface Engineering nach Leoben geschickt. Dort erfolgte die Probenvorbereitung und die Lagerung bis zur Prüfung.

An der Probe wurden die einaxiale Druckfestigkeit, der Verformungs- und der Elastizitätsmodul und die Querdehnzahl nach 14, 28 und 56 Tagen ermittelt. Die Prüfpresse dokumentiert während dem einachsialen Druckversuch die aufgebrachte Kraft und den zurückgelegten Weg des Prüfstempels. Um die Verformung des Bohrkerns bestimmen zu können sind an dessen Seitenflächen zwei über Drähte miteinander verbundene Wegaufnehmer angebracht. Eine Umfangskette dient zur Messung der radialen Verformung, mit welcher die Poissonzahl ermittelt werden kann. In Bild 5 ist der prinzipielle Versuchsaufbau vor und nach dem Prüfen der Probe dargestellt. [3]



Bild 5: Eingespannte Probe mit Messinstrumenten (Foto: Galler) [3]

Um die Messeinrichtungen zu schonen, erfolgte die Ermittlung der Druckfestigkeit der Bohrkerns weggesteuert, und nicht in Anlehnung ÖNORM B 3303 [4] bzw. [5] kraftgesteuert. Ergebnisse dieser Versuche sind der Tab. 1 zu entnehmen [3].

Tab. 1: Ergebnisse der einachsialen Druckversuche [3]

Betonalter	Versuchs Nr.	Druckfestigkeit [MPa]	E-Modul [GPa]	V-Modul [GPa]	Poissonzahl [-]	Stauchung [%]
14 Tage	1	17,5	16,0	14,0	0,09	0,19
	2	16,5	12,5	11,0	0,12	0,20
	3	15,5	13,0	11,0	0,08	0,20
28 Tage	1	19,5	17,0	15,0	0,12	0,13
	2	18,0	15,5	13,5	0,11	0,17
	3	8,5	10,0	9,0	-	0,09
	4	10,0	12,5	11,0	0,13	0,10
	5	11,0	9,5	8,5	0,09	0,17
56 Tage	1	9,5	8,5	7,0	0,07	0,17
	2	12,0	10,5	9,0	0,14	0,15
	3	23,0	18,0	15,5	0,10	0,21
	4	24,5	16,0	14,0	0,09	0,20

Wie aus Tab. 1 ersichtlich, erzielen die drei Proben der 14-Tagesfestigkeit in etwa gleiche Festigkeitseigenschaften. Im Gegensatz dazu streuen die Druckfestigkeiten der 28- und 56-Tagesfestigkeit sehr stark. Gründe für diese Unterschiede werden in einer inhomogenen Mischung des Betons, vor allem in der Lage der Stahlfasern, vermutet.

In Bild 6 sind in einem Spannungs-Stauchungs-Diagramm ausgewählte Ergebnisse der Druckfestigkeitsbestimmung abgebildet.

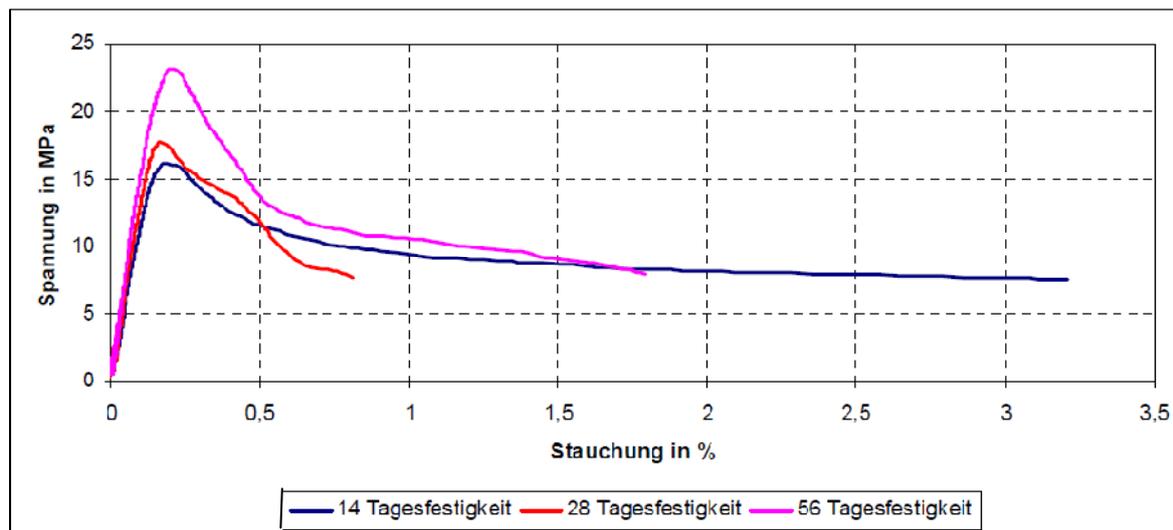


Bild 6: Ergebnisse des einaxialen Druckversuchs [3]

#### 4. Großversuch

Für den Versuch wurde vereinbart, eine etwa 1 m breite und 30 cm dicke Spritzbetonschicht in den Ring einzubringen. An den Außenseiten der Schale sollten Stege angebracht werden um den Spritzbetonauftrag zu erleichtern und definierte Ausgangsbedingungen zu gewährleisten. Die genauen Abmessungen sind in Bild 7 dargestellt.

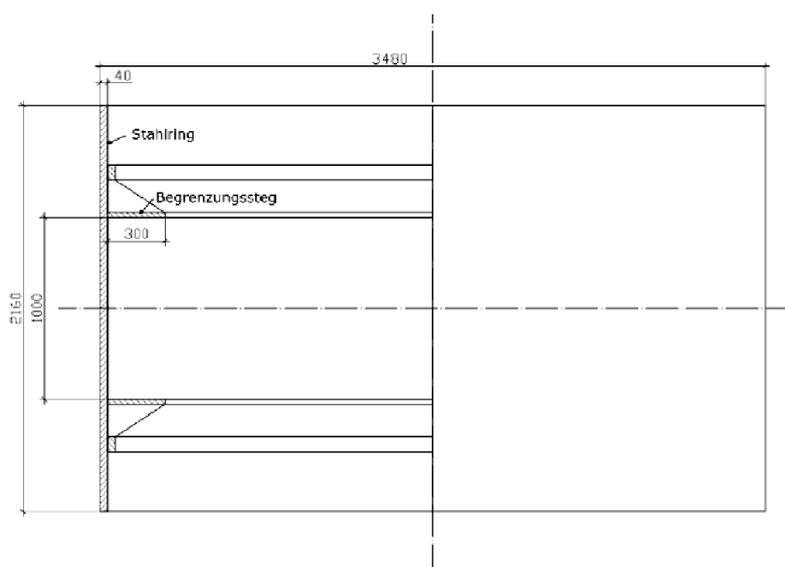


Bild 7: Abmessungen des Großversuches [3]

Für die Lasteintragung wurde ein deformierbarer Schlauch verwendet, der auf der Innenseite des Rings befestigt und evakuiert wurde.

Während des Versuches ist der Schlauch von allen Seiten, an der Stirn- und den Außenseiten vom Stahlring bzw. den Begrenzungsstegen und auf der Innenseite von Spritzbeton eingeschlossen. Somit wird der Druck von 3,34 MPa (siehe Gleichung 2) ausschließlich über Flächenpressung vom Schlauch auf den Spritzbeton übertragen. Der Druck soll durch das kontinuierliche Befüllen des Schlauches mit Wasser aufgebracht werden. Der geplante Aufbau des Versuches ist Bild 8 zu entnehmen.

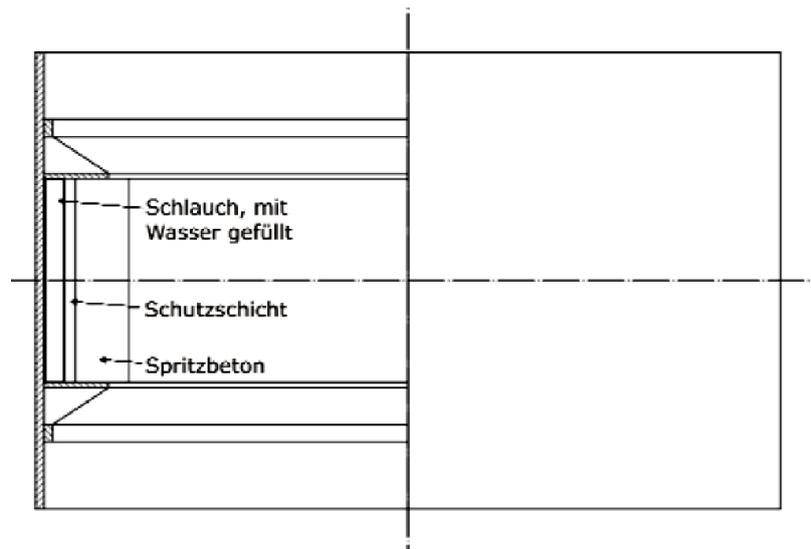


Bild 8: Prinzipskizze der Stahlvorrichtung und des Gummischlauchs (Versuchsende) [3]

Die geplante Verformungslinie für den Großversuch wurde nach Vorgaben in [3] festgelegt. Sie basiert auf verschiedenen Zeit-Verformungs-Diagrammen, die von einem bereits realisierten Tunnelbauvorhaben mit großen einhergehenden Konvergenzen stammen. Die berechnete Verformungslinie ist in Bild 9 dargestellt.

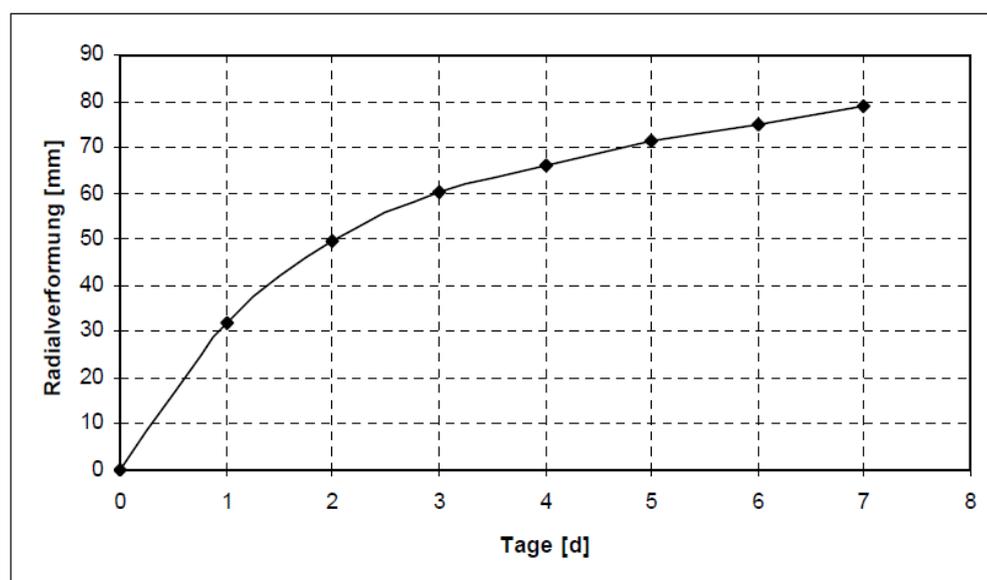


Bild 9: Geplante Verformungen während dem Versuch [3]

#### 4.1 Vorbereitende Arbeiten

Wegen der Stahlfasern im Spritzbeton wurde, um den Gummischlauch vor Leckage zu schützen, eine Schutzschicht auf den Schlauch aufgebracht.

Im ersten Schritt wurde hierfür ein Textilglasgitter auf der Innenseite des evakuierten und gleichmäßig an der Innenseite des Stahlrohrs anliegenden Schlauches ausgelegt, welches die Stabilität der Schutzschicht während des Spritzbetonauftrages gewährleisten sollte. Das Vakuum im Schlauch wurde durch ein Kugel-Absperrventil aufrecht erhalten.

Im Anschluß daran wurde Putzmörtel mit einem Größtkorn von 2 mm an den Kontaktflächen von Schlauch und Begrenzungsstegen aufgebracht, während das verbleibende Volumen mit Spritzbeton ausgefüllt wurde (siehe Bild 10).



*Bild 10: Aufbringen der Schutzschicht auf den Schlauch (Foto: Schretter & Cie)*

Für den Versuch wurden 5 m<sup>3</sup> Spritzbeton in einem Transportbetonwerk in Füssen angemischt und mit dem Betonmischwagen auf das Werksgelände geliefert. Dort wurde er über eine Schneckenpumpe und einer 65er Schlauchleitung verspritzt. Letztendlich wurde eine Förderleistung von 4,5 m<sup>3</sup>/h mit einer Beschleunigerzugabe von 160 l/h erreicht. Zusätzlich zu der Innenschale (s. Bild 11) wurden für die Laboruntersuchungen auch Spritzkisten (50 x 50 x 20 cm<sup>3</sup>) hergestellt.



*Bild 11: Herstellen der Spritzbetoninnenschale (Foto: Schretter & Cie)*

Drei Stunden nach Betonierende wurde der Stahlring mit Hilfe eines Autokrans aufgestellt und Bireflextargets in der Spritzbetonschale angebracht, um die Konvergenzen mit einem Theodoliten messen zu können. Anschließend wurde an das geschlossene Absperrventil ein Manometer und ein Durchflussmesser montiert. Die Befüllung des Schlauches sollte bis zu

einem Druck von 9 bar mit der Werkswasserleitung durchgeführt werden. Für die Realisierung höherer Drücke sollte im Anschluss ein Kompressor zum Einsatz kommen.

#### 4.2 Versuchsablauf

Zu Beginn des Versuches wurde der Gummischlauch mit Wasser bis zu einem Druck von etwa 3 bar befüllt. Bei diesem Druck wurden leichte Wasseraustritte aus dem Inneren des Stahlrings registriert, weshalb die Wasserzufuhr unterbrochen wurde. Als Ursache hierfür wurde eine ungenügende Verbindung des Gummischlauchs mit dem Verbindungselement des Ventils diagnostiziert, so dass der Versuch weitergefahren wurde um die in Bild 9 geplante Konvergenz zu erreichen.

Bei ca. 6 bar Wasserdruck kam es zu einem Scherbruch der Innenschale im Sohlbereich. Um den Versuch weiterführen zu können wurde entschieden, den beschädigten Bereich heraus zu stemmen und durch schnellerhärtenden Sanierbeton wieder zu ersetzen. Einen Tag nach der Reparatur konnte der Versuch fortgeführt werden. Allerdings war durch diesen Eingriff die Versetzung der Bireflextargets G & H notwendig geworden.

In einem ersten Schritt wurde der Schlauch wieder mit 8 bar beaufschlagt und in einem weiteren Schritt der Druck auf 11 bar gesteigert. Da visuell keine Konvergenz feststellbar war, wurde durch die Vermessung mit einem Theodoliten bei einer kurzzeitigen Erhöhung des Druckes festgestellt, dass die Druckaufbringung hauptsächlich elastische statt plastische Konvergenzen hervorrief. Aus diesem Grund wurde der Druck erhöht, bis ein deutliches Knacken in der Innenschale zu vernehmen war. Nach mehreren dieser Durchgänge kam es erneut zu einem Scherbruch im Sohlbereich (Bild 12). Selbst der höherfeste Sanierbeton war dabei in tangentialer und radialer Richtung gebrochen.



*Bild 12: Erneuter Scherbruch im Sohlbereich (Foto: Volderauer [6])*

Nach einer erneuten Belastung von ca. 8 bar konnte das Abscheren der Schale deutlich beobachtet werden. Um den Schlauch nicht unnötig durch die Reibung zu belasten und ggf. zu zerstören, wurde der Versuch für beendet erklärt.

#### 4.3 Versuchsauswertung

Die Vermessung der Innenschale mit einem Theodoliten ergab nur sehr geringe Konvergenzen im niedrigen cm-Bereich. Die wirklichen Verschiebungen traten erst nach den Scherbrüchen und der letzten Druckbelastung auf. Die Messergebnisse sind in Bild 13 graphisch dargestellt.

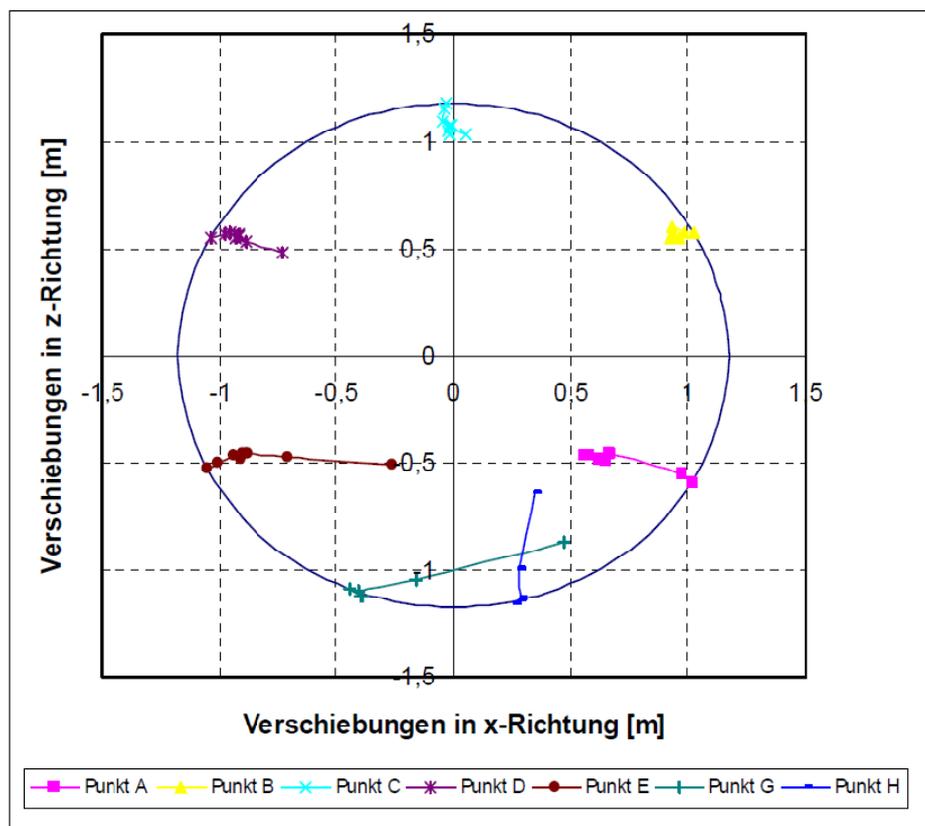


Bild 13: Konvergenzen der einzelnen Punkte (20-fach vergrößert dargestellt) [3]

Aus den beim Großversuch hergestellten Spritzkisten wurden in Leoben wieder Bohrkern entnommen und, wie in Kapitel 3 beschrieben, geprüft. Die Ergebnisse sind in Tab. 2 angeführt.

Tab. 2: Ergebnisse der einaxialen Druckversuche - Großversuch [3]

Betonalter	Versuchs Nr.	Druckfestigkeit [MPa]	E-Modul [GPa]	V-Modul [GPa]	Stauchung [%]
4 Tage	1	3,4	-	4,0	0,30
	2	5,2	-	6,0	0,38
	3	3,4	-	4,0	0,34
	4	3,4	-	1,0	0,26
11 Tage	1	11,5	-	5,0	0,50
	2	17,2	-	10,0	0,47
	3	13,8	11,5	11,0	0,19
28 Tage	1	21,3	19,5	19,0	0,12
	2	12,1	14,5	14,0	0,10
	3	21,8	18,0	17,0	0,19
	4	21,8	16,0	15,0	0,22

Wie aus den Ergebnissen abzulesen ist, besitzt der COMGUN eine 4-Tage-Druckfestigkeit von 3,9 MPa im Mittel. Die zweite Messung der 28 Tagefestigkeit ist als Ausreißer zu interpretieren. Zum Vergleich zu Bild 6 sind auch für diese Versuchsreihe repräsentative Spannungs-Stauchungslinien in Bild 14 abgebildet.

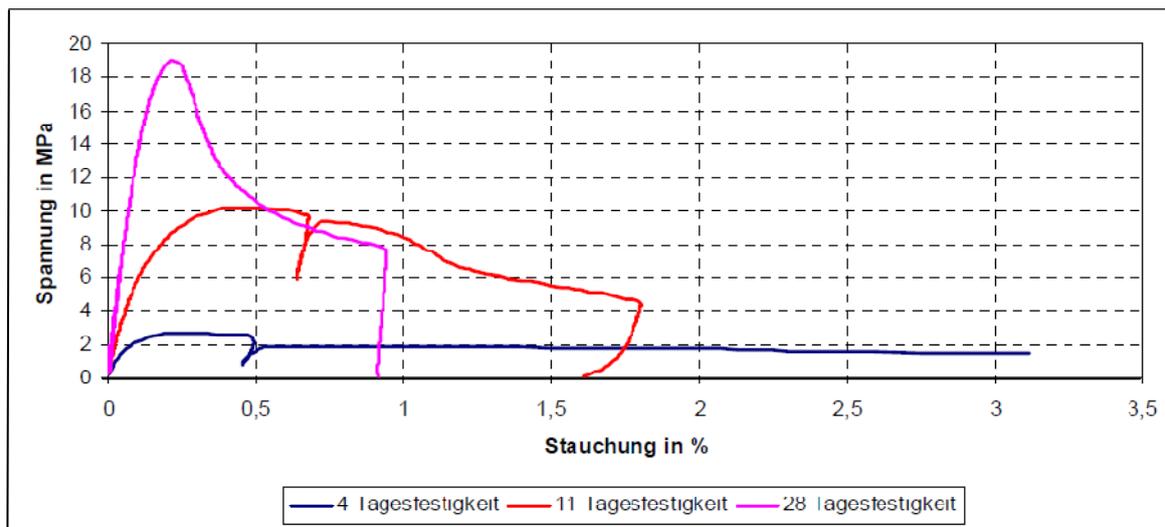


Bild 14: Ergebnisse der einaxialen Druckversuche - Großversuch [3]

## 5. Zusammenfassung

Mit diesem ersten Großversuch konnte nachgewiesen werden, dass ein komprimierbarer Spritzbeton möglich und verarbeitbar ist. Jedoch wurden die im Vorfeld geäußerten Ziele nicht alle erreicht. Jedoch hat die Studie gezeigt, dass in naher Zukunft mit diesem System zu rechnen ist. Neben betontechnologischen Modifikationen wird auch das gewählte Prüf-setup für weitere Versuche einer Überarbeitung bedürfen.

So war es durch Leckagen im Schlauch leider nicht möglich die geplante Belastungskurve abzufahren. Auch führten die zu schnell aufgebrachten Drücke nicht zu einer bedeutenden plastischen Verformung, sondern vorher zum Bruch der Spritzbetonschale. Durch den Großversuch wurde jedoch nachgewiesen, dass mit der Rezeptur die vorher projektierte 28-Tage-Festigkeit erreicht werden kann.

Was die Komprimierbarkeit angeht, gab es unterschiedliche Interpretationen des Begriffes. Während man bei uns im Hause von einer querdehnungsbehinderten Prüfung ausging (s. Bild 3), wurde am Lehrstuhl für Subsurface Engineering in Leoben von einer durch unbehinderte einaxiale Belastung erzeugten Komprimierbarkeit ausgegangen. Darum kommt man auch hier zu unterschiedlichen Ergebnissen. Je nach Prüfung lag die maximal erreichte Stauchung bei 4,7 % bzw. 0,5 %.

Obwohl dieser Effekt nicht vordergründig Gegenstand der Untersuchung war, fiel dennoch die gute Restdruckfestigkeit des Spritzbetons positiv auf. Dadurch wird dieser Spritzbeton mit einem „Selbtheilungseffekt“ ausgestattet, mit dem er Störungen, die er im jungen Alter erfährt, durch die langsamere Hydratation wieder selbst „heilen“ kann.

Aus den Erfahrungen am Großversuch ziehen wir den Schluss, dass nur mit Stahlfaserbewehrung das Auftreten von unerwünschten Scherbrüchen der Spritzbetonschale nicht zu verhindern ist.

Für weitere Untersuchungen sollten geeignete Bewehrungssysteme, die eine Komprimierung in tangentialer Richtung zulassen, getestet werden. Solche Bewehrungssysteme könnten diagonal angebrachte Bewehrungsgitter oder Körbe mit gewellten Stäben sein. Für Anregungen in dieser Hinsicht sind wir offen und nehmen sie dankbar entgegen.

## 6. Literaturverzeichnis

- [1] Röck, R., et al.:  
COMPEX SUPPORT SYSTEM – Komprimierbare Tübbinghinterfüllung mit einstellbarem Aus-  
bauwiderstand. Österreichische Vereinigung für Beton- und Bautechnik, Wien, 2006.
- [2] Schneider, K., et.al.:  
Bautabellen für Ingenieure. Köln: Werner Verlag, 17. Auflage 2006.
- [3] Galler, R.:  
Entwicklung eines komprimierbaren Spritzbetons - Machbarkeitstudie. Montanuniversität Leoben,  
2011.
- [4] ÖNORM B 3303:  
Betonprüfung. Österreichisches Normungsinstitut, 1. September 2002.
- [5] ON-NP10:  
Zusammenstellung der Prüfverfahren Beton (PVB) gemäß ÖNORM B 3303 „Betonprüfung“.  
Österreichisches Normungsinstitut, 1. Oktober 2002.
- [6] Volderauer, Ch.:  
Entwicklung einer Großversuchsanlage zur Bestimmung der Komprimierbarkeit von Spritzbeton.  
Diplomarbeit Montanuniversität Leoben, 2011.

### Zu den Autoren

Dr. phil. Rudolf Röck  
Leiter Forschung und Entwicklung und Laborleiter bei Schretter & Cie GmbH & Co KG in Vils  
[rudolf.roeck@schretter-vils.co.at](mailto:rudolf.roeck@schretter-vils.co.at)

Dipl.-Ing. Jürgen Baumgärtner  
Studium Werkstoffwissenschaften/Baustoffe an der Bauhaus-Universität Weimar, seit 2008 bei  
Schretter & Cie GmbH & Co KG im Labor für Forschung und Entwicklung in Vils  
[juergen.baumgaertner@schretter-vils.co.at](mailto:juergen.baumgaertner@schretter-vils.co.at)

Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr. mont. Robert Galler  
Montanuniversität Leoben, Vorstand des Lehrstuhls für Subsurface Engineering  
[robert.galler@mu-leoben.at](mailto:robert.galler@mu-leoben.at)

Dipl.-Ing. Christian Volderauer  
Montanuniversität Leoben. Wissenschaftlicher Mitarbeiter am Lehrstuhl für Subsurface Engineering  
[christian.volderauer@unileoben.ac.at](mailto:christian.volderauer@unileoben.ac.at)

Dipl.-Ing. Dr. mont. Gerhard Pittino  
Montanuniversität Leoben. Leiter des Labors des Lehrstuhls für Subsurface Engineering  
[gerhard.pittino@unileoben.ac.at](mailto:gerhard.pittino@unileoben.ac.at)