
ENTWICKLUNG EINES KOMPRIMIERBAREN, SPRITZBAREN MÖRTELS ZUR ERZEUGUNG EINER STAUCHZONE FÜR DRUCKHAFTES GEBIRGE

DEVELOPMENT OF A COMPRESSIBLE SPRAYABLE MORTAR TO CREATE A COMPRESSION ZONE FOR SWELLING GROUND

Jürgen **Baumgärtner**, Deutscher Beton- und Bautechnik- Verein E.V., Berlin; Deutschland;
vormals Schretter & Cie GmbH & Co KG, Vils/Tirol, Österreich
Herbert **Zeller**, Schretter & Cie GmbH & Co KG, Vils/Tirol, Österreich
Arno **Goidinger**, DI Hans Goidinger - Bau + Leichtbeton GmbH, Wattens, Österreich

Aufgrund der erfolgreichen Anwendung des komprimierbaren Ringspaltmörtels Compex bei Tunnelbaustellen wurde von den Kunden der Wunsch geäußert, ein gleichwertiges spritzbares Material für den Ausbau der Karvernen oder Kreuzungsbereiche zu bekommen. Zusammen mit einem Schlitzputzhersteller aus Wattens wurde ein gleichwertiges Produkt entwickelt. Mit dem Produkt soll es möglich sein im Spritzverfahren bis zu 20 cm dicke Stauchzonen auch Überkopf zu spritzen. Durch solch ein Material, welches bis ca. 40% ohne signifikante Lastzunahme zusammengedrückt werden kann, würde die Last auf die Innenschale durch druckhaftes Gebirge stark absorbiert und die Dauerhaftigkeit der Innenschale durch die Vermeidung von Rissen stark erhöht.

The customers of the compressible annular gap mortar Compex requested an equivalent sprayable material for the expansion of caverns or intersections. Together with slit plaster manufacturer from Wattens an equivalent product was developed. With that product, it is possible to spray compression zones up to 20 cm thickness even overhead. Such a material, which can be compressed to approximately 40% without a significant load increase, the load on the inner shell would be strongly absorbed by swelling ground and the durability of the inner shell would be increased by the avoidance of cracks.

1. Einleitung

Auf der Spritzbetontagung 2012 wurde bereits der Spritzbeton Comgun vorgestellt, der eine Komprimierbarkeit von 10 % aufwies und in einem Baustelleneinsatz in der Sillschlucht erfolgreich verarbeitet werden konnte. Allerdings war die Komprimierbarkeit nicht mit dem komprimierbaren Ringspaltmörtel Compex vergleichbar, der bereits aufgrund seiner hervorragenden Eigenschaften auf mehreren Baustellen mit Erfolg eingesetzt wurde [1][2].

Von den Anwendern wurde der Wunsch geäußert, einen spritzbaren Compex zu erhalten, mit dem man einen Stauchbereich von ca. 20 cm und 40% Komprimierbarkeit aufbringen kann. Dieser solle vergleichbar mit dem Ringspaltmörtel sein. Mit so einem Mörtel, hier Quetschi genannt, wäre es möglich, Vortrieben, die nicht mit einer TBM aufgefahren werden, wie z.B. bei Querschlägen, eine gleichwertige Stauchzone zur Verfügung zu stellen.

Da Compex für möglichst lange Verarbeitungszeiten entwickelt wurde, war eine komplette neue Entwicklung des Bindemittels notwendig. Aus diesem Grund war eine Zusammenarbeit mit dem Schlitzputzhersteller aus Wattens, eine logische Folge. Beide Produkte bestehen aus einem Polystyrol-Bindemittel-Gemisch.

2. Grundlagen der Komprimierbarkeit

Um die Komprimierbarkeit eines Systems zu messen hat man sich bei den Anfängen von Compex darauf verständigt, dass ein 100% querdehnungsbehinderter Druckversuch dem Einsatz am ehesten entspricht. Hierfür wird ein Probezylinder kraftgeregelt gedrückt. In Bild 1 ist der Prüfaufbau zu sehen.



Prüfplatte

Prüfzylinder
mit eingebautem
Probenmaterial
DN 20 Rohr mit Kappe
Höhe 20 cm

Kraftmessdose

Bild 1: Prüfaufbau zur Messung der Last-Verformungs-Kurve (Bild Schretter & Cie).

Beim Eindrücken der Prüfplatte in den Probekörper wird die Kraftaufnahme gemessen. Die Daten werden über die komprimierte Weglänge aufgetragen und somit erhält man die materialspezifische Arbeitslinie. In Bild 2 ist diese schematisch aufgetragen.

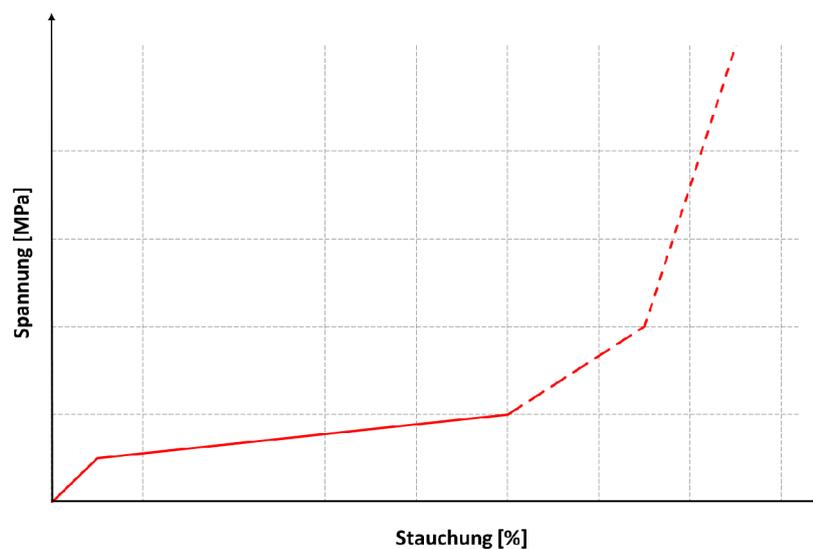


Bild 2: Schematische Last-Verformungslinie, auch Arbeitslinie genannt.

Die Kurve ist im Allgemeinen in drei Bereiche zu unterteilen. Der erste Abschnitt geht nach anfänglich starkem Anstieg in einen über längere Strecke nur schwach ansteigenden Plateaubereich über. Der mittlere Bereich zeigt eine deutliche Erhöhung der Steigung und der Endpunkt dieses Bereichs ist im Allgemeinen der angegebene Wert der Komprimierbarkeit. Sobald diese erreicht ist, steigt die Spannung sehr stark an und es ist nur noch wenig Weg bzw. Komprimierbarkeit zu erreichen. Auch wenn Polystyrol das Medium ist, welches die erwünschte Komprimierung des Materials ermöglicht, hängt die Komprimierbarkeit eines Systems von mehreren Faktoren ab. Neben der Zusammensetzung des Mörtels, wie zum Beispiel Verhältnis Polystyrol zu Bindemittel, Korngröße des Polystyrols und Bindemittelzusammensetzung, ist die Verarbeitung ein entscheidender Einflussfaktor. Daher ist es wichtig sich nicht nur auf Laborwerte zu verlassen, sondern die auf der Baustelle verwendeten Förderwege bestmöglich nachzustellen. Um eine größtmögliche Komprimierbarkeit zu erlangen, sind die Förderlängen zu minimieren.

3. Ausgangslage

Zu Beginn der Entwicklung im Sommer 2016, wurde das bereits fertige Produkt Tiroplan auf sein Arbeitsvermögen geprüft. Bei den ersten Spritzversuchen wurde der Druck variiert, um genug Haftung herzustellen und das Ablösen beim Überkopfspritzen zu verhindern.

In Bild 3 sind die gemessenen Arbeitslinien zu sehen.

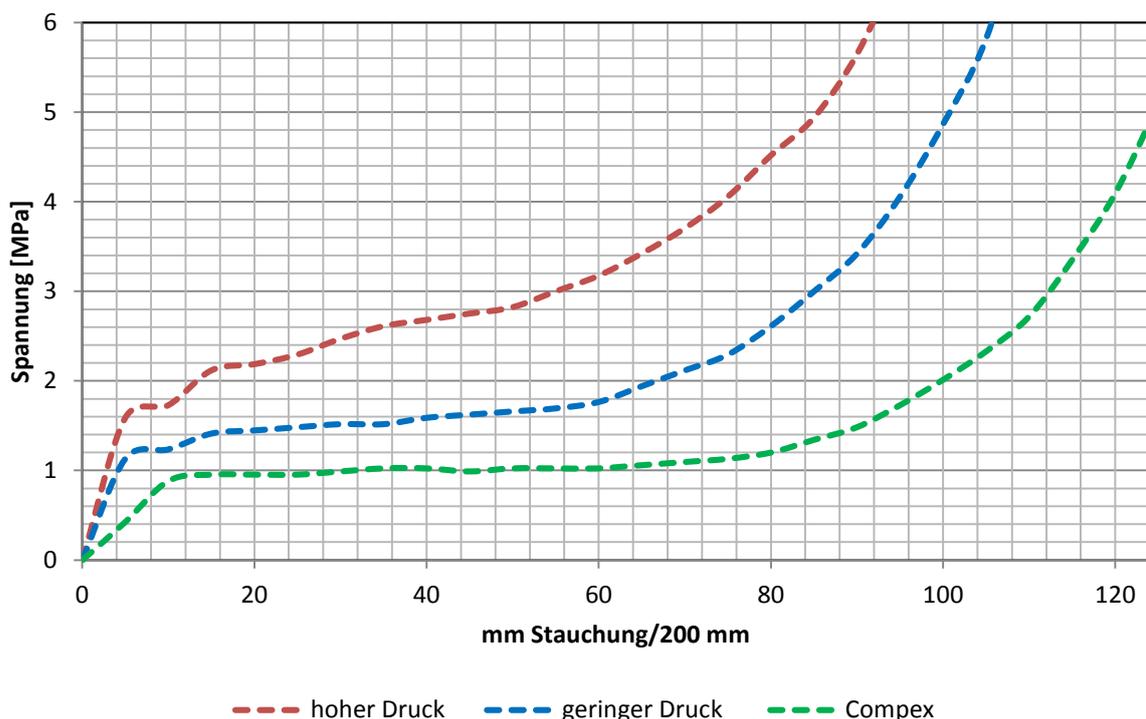


Bild 3: Arbeitslinie nach 7 Tagen von Compex und Tiroplan im Vergleich.

Aus diesen Arbeitslinien ist deutlich das verminderte Arbeitsvermögen durch das Spritzen zu erkennen. Dies war so auch erwartet worden, wobei das Bestreben darin lag mit normalem Druck zu spritzen.

Bei diesen Spritzversuchen war es jedoch nicht möglich, die gewünschten 20 cm Schichtdicke mit schwachem Spritzdruck aufzubringen. Auch durch das Aufbringen in mehreren Lagen wurde dies nicht erreicht. Als Ergebnis dieses ersten Versuches stand fest, dass im ersten Schritt an dem Haftvermögen des Spritzmörtel zu arbeiten war. Parallel dazu war man bemüht, die Festigkeit auf das gleiche Niveau wie die des Compex-Hinterfüllmörtels abzusenken.

Die Verbesserung des Haftvermögens hoffte man durch ein schnelleres Erstarren gewährleisten zu können. Hierzu wurde versucht, mit warmem Wasser zu spritzen. Dieses führte zu einem deutlichen schnelleren Ansteifen, aber nicht zum Verweilen des Mörtels auf der Überkopfplatte. Allerdings trat das Versagen, wie schon bei den Versuchen zuvor, nicht unmittelbar auf, sondern nach einer Verweilzeit von 30 bis 120 Minuten.

Die Reduzierung der Festigkeit wurde im ersten Schritt durch das Beimischen von zementfeinen Stoffen erfolgreich im Labor erreicht. Die Arbeitslinien sind in Bild 4 dargestellt.

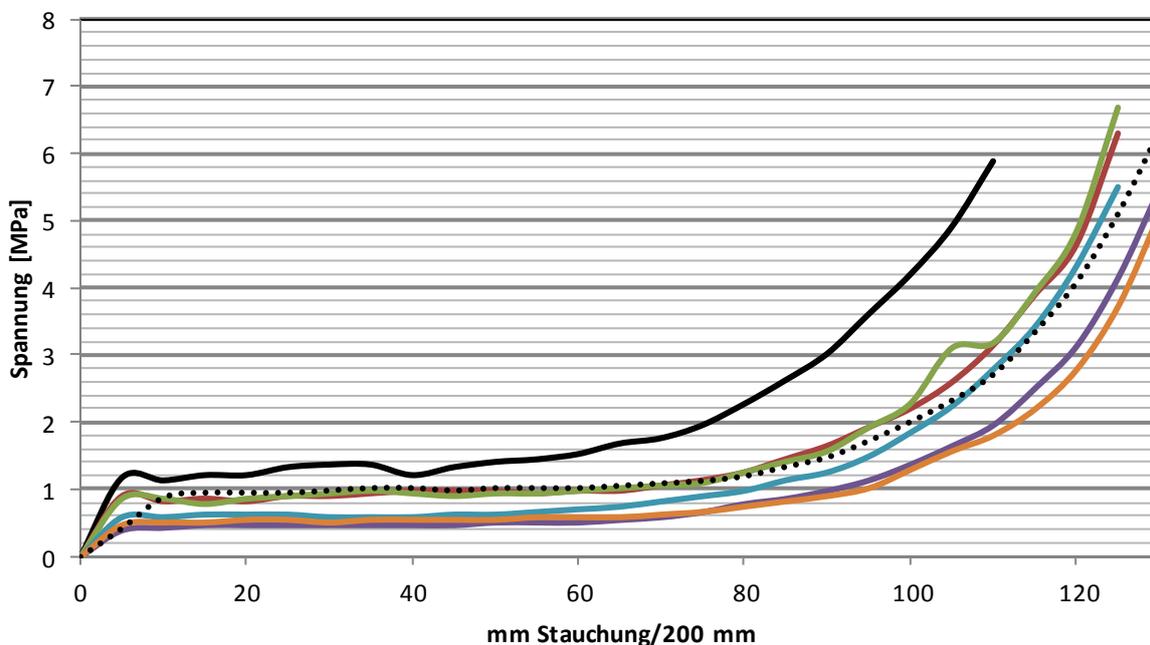


Bild 4: Arbeitslinie Laborversuche zur Festigkeitsreduktion durch Beimischung (farbig) (schwarz: Nullmischung; Punkte schwarz: Compex), Alter 7 Tage.

Diese Mischungen waren auch spritzbar, nur war der Haftverbund nicht gegeben. Daraufhin war klar, dass die Zusammensetzung des Bindemittels neu zu entwickeln war. Das Ziel der Entwicklung war es, ein schnelles Erstarren zu generieren, welches dennoch zu einer niedrigeren Endfestigkeit führen sollte.

4. Bindemittelentwicklung

Das Bindemittel besteht aus rein zementfeinen Bestandteilen und Betonzusatzmitteln. Hierbei hat man sich an der Zusammensetzung der Originalmischung des Leichtmörtels Tiroplan orientiert. Ein Hauptbestandteil dieser Mischung ist ein Mayenit haltiger Schnell-

zement, der eine allgemein baurechtliche Zulassung besitzt. Dieser ist für das rasche Ansteifen und die schnelle Festigkeitsentwicklung im Alter von weniger als 5 Stunden verantwortlich. Daher war eine Mischung ratsam, um die Endfestigkeiten nicht zu hoch werden zu lassen. Um den Erhärtungsverlauf zu dokumentieren, wurde sie mit diskontinuierlichen 27 kHz-Ultraschallmessungen für 24 Stunden überwacht. Die Ultraschallmessungen einiger Mischungen sind in folgenden Diagrammen dargestellt.

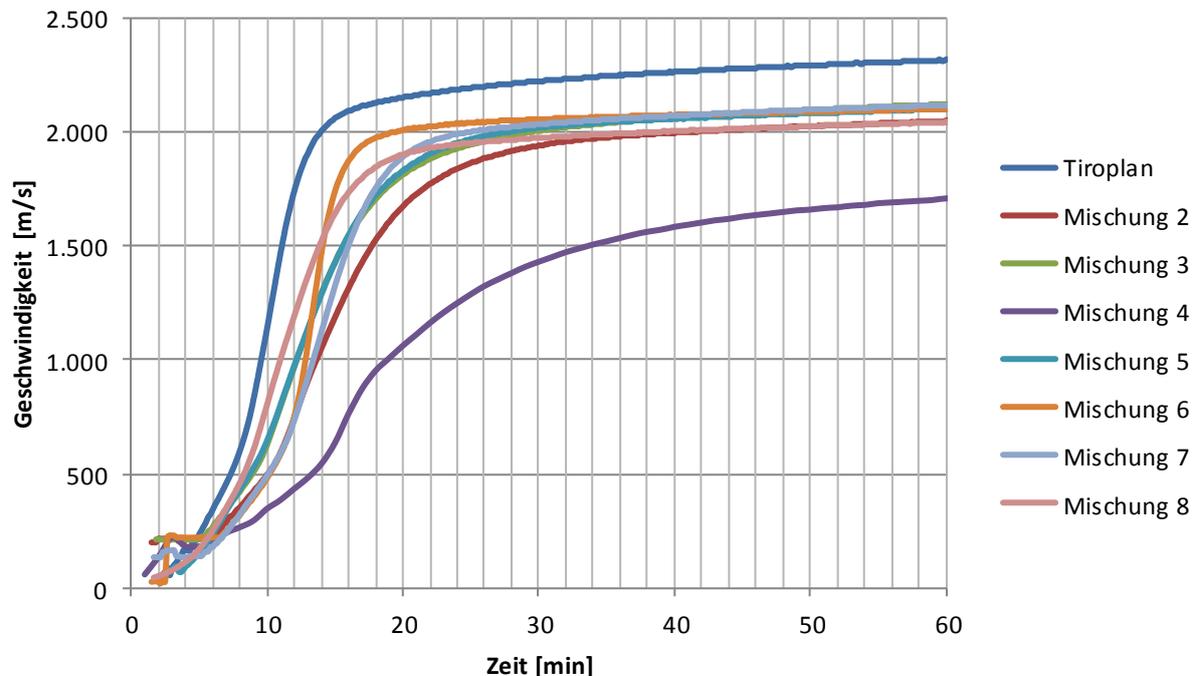


Bild 5: Ultraschallmessung von Bindemittelkombinationen über 60 Minuten.

Mit dem verwendeten Ultraschallmesssystem hat sich gezeigt, dass das Erstarrungsende nach Vicat sehr gut mit dem Zeitpunkt bei der Geschwindigkeitsmessung von 1000 m/s korreliert. Von dieser Messung wurde nun der Bereich bis 60 Minuten ausgewertet. In Bild 5 ist dieser Bereich detailliert abgebildet.

Hier fielen vor allem Mischung 5 und Mischung 8 auf. Diese waren die beiden schnellsten Bindemittel, aber langsamer als der Tiroplan-Mörtel. Es ist auch deutlich zu sehen, dass die Offenzeit der Mischung 4 bei fast 20 Minuten lag und daher nicht mehr weiter berücksichtigt wurde.

In Bild 6 ist deutlich zu sehen, dass die Anfangsfestigkeiten unterhalb des im Erstversuch verwendeten Tiroplan-Mörtels lagen. Dennoch erreichten einige Proben, wie zum Beispiel Mischung 3, im höheren Alter das gleiche Festigkeitsniveau wie das Tiroplan-Bindemittel. Mit der Mischung 4 wurde die geringste Festigkeit erzielt. Diese schied jedoch durch ihr langsames Erstarren aus.

In Bild 6 ist auch gut zu erkennen, dass die beiden nach Tiroplan schnellsten Mischungen auch in den Endfestigkeiten die geringsten Werte erreichten, ausgenommen Mischung 4. Darum wurden die beiden Mischungen 5 und 8 für weitere Spritzversuche herangezogen.

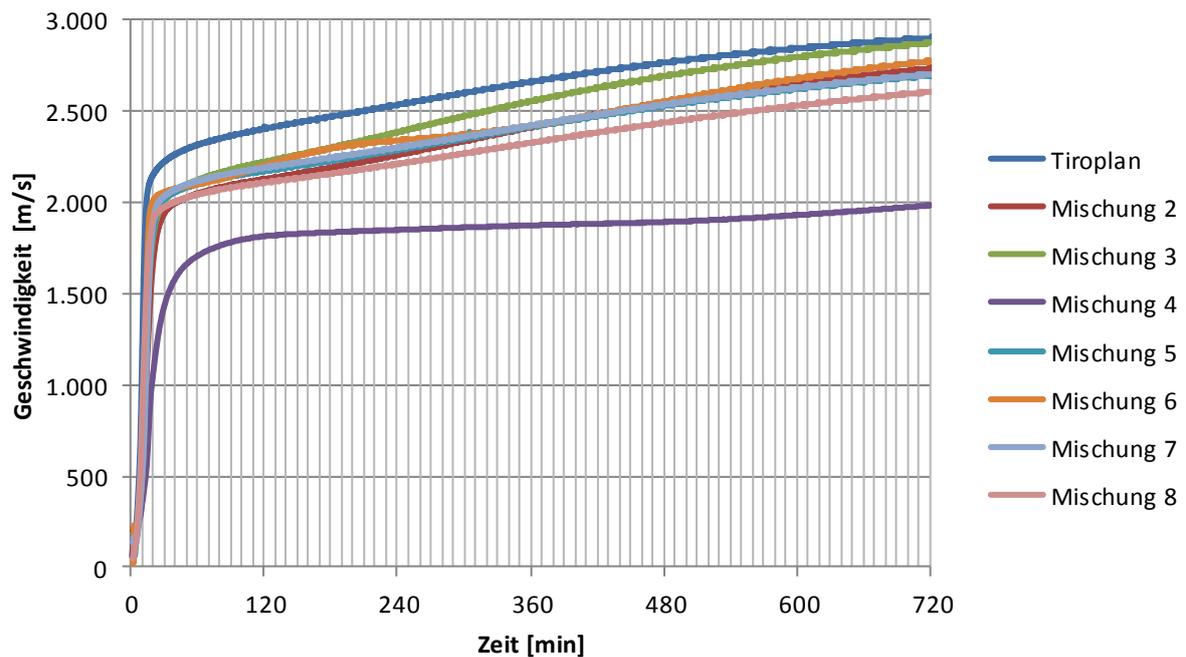


Bild 6: Ultraschallmessung von Bindemittelkombinationen über 12 Stunden.

5. Spritzversuche

Die Spritzversuche wurden anfänglich in Vils und im weiteren Verlauf in Wattens durchgeführt. Es wurde für beide Versuche eine Putzmaschine des Typs G4 der Fa. „PFT“ mit Dämmputzausrüstung (Schnecke, Schneckenmantel und Wendel) inclusive Rotorquirl als Nachmischer verwendet. In Bild 7 ist die Fotodokumentation des Spritzversuches in Vils zu sehen.



Bild 7: Bildserie des Spritzversuches in Vils (Bilder Schretter & Cie)

Bei diesem Spritzversuch wurden auch Probekörper zur Messung der Arbeitslinie hergestellt. Beide Mischungen waren gut spritzbar und es konnten Schichtdicken von mehr als 20 cm aufgetragen werden. Auch hier wurde der Auftrag in zwei Lagen durchgeführt, um das großflächige Aufbringen der Knautschzone zu simulieren.

Nach erfolgreicher Applizierung musste man feststellen, dass Mischung 8 nicht brauchbar war. Die Spritzbarkeit des Materials war zwar einwandfrei. Es ließ sich die Schichtdicke von mehr als 20 cm problemlos herstellen und auch das Anziehen des Materials war wie gewünscht. Allerdings löste sich etwa die Hälfte der aufgetragenen Schicht nach ca. 60 Minuten und fiel zu Boden. Der Bruch des Materials verlief über die Arbeitsfuge hinweg, so, dass das Versagen augenscheinlich nicht mit dem Auftrag in zwei Schichten zu tun hatte.

Aus diesem Grund wurde lediglich das Arbeitsvermögen der Mischung 5 ermittelt. Diese ist im Bild 8 zu sehen.

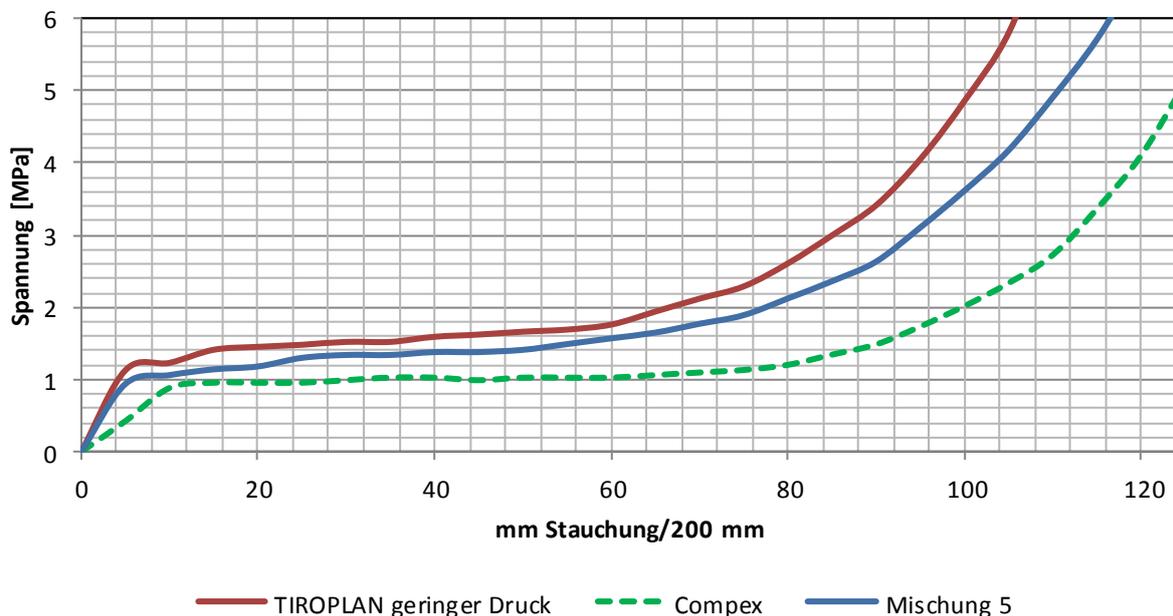


Bild 8: Arbeitslinie der gespritzten Mischung 5 im Vergleich zu Tiroplan und Compex.

Es ist deutlich erkennbar, dass das Arbeitsvermögen gesteigert und die Festigkeit näher an das Niveau des Compex gebracht werden konnte. Die Komprimierbarkeit wurde durch den Spritzvorgang erwartungsgemäß verringert. Die Steigerung der Komprimierbarkeit im Vergleich zu Tiroplan beträgt allerdings 14%, was die Erwartungen deutlich übertroffen hat.

Um diese Versuche zu verifizieren wurden die Spritzversuche in Wattens mit der Mischung 5 wiederholt. In Bild 9 sind die Spritzversuche fotografisch dokumentiert.



Bild 9: Bilderserie des Spritzversuches in Wattens (Bilder Schretter & Cie).

Bei diesem Spritzversuch wurde die Mischung 5 mit unterschiedlichem Spritzdruck appliziert. Damit sollten zum einen die Ergebnisse aus Vils bestätigt und zum anderen die Spannweite des Materials durch unterschiedliche Förderluftdrücke abgebildet werden.

Mit der in den Versuchen verwendeten Maschinenteknik war eine Spritzleistung von bis zu 3 m³/h möglich. Der dabei auftretende Rückprall, selbst bei hohen Förderluftdrücken, war vernachlässigbar. Nach Herstellerangaben der Maschinenteknik sind mit einer baugleichen größeren Mischpumpe Spritzleistungen von ca. 5 m³/h möglich.

Die hergestellten Probezylinder wurden anschließend im Alter von 7 Tagen im Labor in Vils geprüft. Die Arbeitslinien sind in Bild 10 zu sehen.

Es ist deutlich zu erkennen, dass die Mischung 7 mit geringem Förderdruck verspritzt das gleiche Arbeitsvermögen besitzt wie bei den vorangegangenen Spritzversuchen in Vils. Somit können die Werte als gesichert und bestätigt erachtet werden.

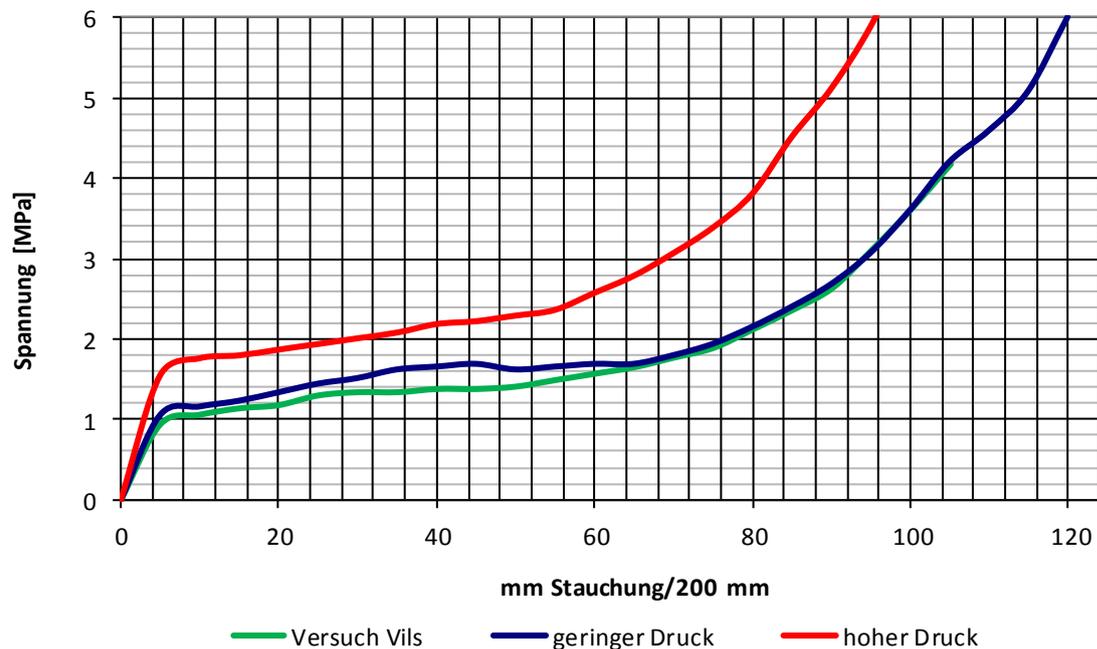


Bild 10: Arbeitslinie der Spritzversuche in Wattens (Mischung 7, Alter 7 Tage) im Vergleich mit dem Wert aus dem Spritzversuchen in Vils.

6. Zusammenfassung

Es konnte erfolgreich eine spritzbare Variante des Complex-Mörtels entwickelt werden. Die Feinabstimmung für einen Baustelleneinsatz ist jederzeit denkbar. Mit diesem Material ist es nun möglich, eine Knautschzone im Spritzverfahren aufzutragen, um im Anschluss eine Innenschale zu betonieren. Diese sollte jedoch im Ortbeton-Verfahren eingebracht werden, da ein Spritzbetonauftrag zu einer weiteren Komprimierung des Materials führen würde. Die mit diesem „Knautschmörtel“ erzeugte Stauchzone kann weitestgehend die Aufgaben übernehmen, die der Ringspaltmörtel Complex in der Praxis bereits erfolgreich nachgewiesen hat.

7. Literatur

- [1] Schneider E.; Spiegl M.:
Nachgiebiger Ausbau für druckhaftes Gebirge. Taschenbuch für den Tunnelbau 2015. ISBN 9783433605790, Ernst & Sohn, Berlin, 2015.
- [2] Zghondi J.; Carraretto S.; Noiret A.; Armand G.:
Monitoring and Behavior of an Instrumented Concrete Lining Segment of a TBM Excavation Experiment at the Meuse Haute-Marne Underground Research Laboratory (France). CONCREEP 10: Mechanics and Physics of Creep, Shrinkage, and Durability of Concrete and Concrete Structures; Wien; 21-23 September 2015. ISBN 9780784479346.

Zu den Autoren

Dipl.-Ing. Dr. techn. Jürgen Baumgärtner
Studium Werkstoffwissenschaften/ Baustoffe in Weimar, Dissertation an der Universität Innsbruck,
9,5 Jahre Mitarbeiter im F& E Labor bei Schretter & Cie, seit 08/2017 Bauberater beim DBV
baumgaertner@betonverein.de

Dr. Herbert Zeller

Studium der Chemie in Erlangen, nach der Promotion 1,5 Jahre im Institut für Mineralogie in Erlangen,
Seit Herbst 1993 im Labor der Fa. Schretter & Cie, Vils.

herbert.zeller@schretter.tirol

Mag. Arno Goidinger

Jurist, seit 1998 Geschäftsführer der Firma DI Hans Goidinger, Bau- und Leichtbeton GmbH, Wattens.

arno@goidinger.com