

RUHR-UNIVERSITÄT BOCHUM

**RUB**

## Granulometrische Charakterisierung von Mörtelrezepturen für die Ringspaltverpressung beim maschinellen Tunnelbau

Rheologie – Workshop  
Sonderforschungsbereich 837 „Interaktionsmodelle für den maschinellen Tunnelbau“



**Dipl.-Ing. Bou-Young Youn**  
Ruhr-Universität Bochum  
Lehrstuhl für Baustofftechnik



SFB 837  
Interaction Modelling in  
Mechanized Tunnelling

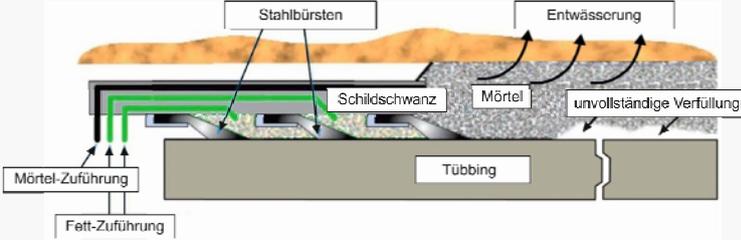
Rheologie – Workshop  
04. Juni 2014

RUHR-UNIVERSITÄT BOCHUM

**RUB**

## Wesentliche Anforderungen an Ringspaltmörtel (RSM)

- Verarbeitbarkeit über mehrere Stunden
- Hohe Fließfähigkeit und gleichzeitig ausreichende Stabilität
  - Vollständiges Verpressen des Ringspalts
- Rasche Entwicklung der notwendigen Scherfestigkeit unmittelbar nach dem Verpressen
  - Stabilisierung der Tunnelröhre
  - Minimierung der Setzungen an der Geländeoberfläche





SFB 837  
Interaction Modelling in  
Mechanized Tunnelling

“Granulometrische Charakterisierung von verschiedenen Mörtelrezepturen für die  
Ringspaltverpressung beim maschinellen Tunnelbau”  
04. Juni 2014, RUB

2

RUHR-UNIVERSITÄT BOCHUM

## Motivation und Zielsetzung

**RUB**

- **Zwei nahezu einander entgegenlaufende Anforderungen**
  - Optimale Fließeigenschaften
  - Lange Verarbeitbarkeitszeit
  - Rasche Entwicklung der erforderlichen Scherfestigkeit
- Bislang: Festlegung von RSM fast ausschließlich auf empirischer Basis
- Zusammenhang zwischen den einzelnen Ausgangskomponenten/ der Mörtelzusammensetzung und den maßgebenden Eigenschaften

3

 SFB 837  
 Interaction Modelling in  
 Mechanized Tunnelling

"Granulometrische Charakterisierung von verschiedenen Mörtelrezepturen für die  
 Ringspaltverpressung beim maschinellen Tunnelbau"  
 04. Juni 2014, RUB

RUHR-UNIVERSITÄT BOCHUM

## Notwendigkeit der Ringspaltverpressung

**RUB**

### Schadensbilder an Tübbings



Versatz in einer Tübbingfuge bedingt durch fehlerhafter Ringspaltverpressung



Biegerisse bedingt durch unvollständiger Ringspaltverpressung

4

 SFB 837  
 Interaction Modelling in  
 Mechanized Tunnelling

"Granulometrische Charakterisierung von verschiedenen Mörtelrezepturen für die  
 Ringspaltverpressung beim maschinellen Tunnelbau"  
 04. Juni 2014, RUB

RUHR-UNIVERSITÄT BOCHUM

## Klassifizierung von Ringspaltmörteln

**RUB**

- **Bindemittelanteil**
- Anteil an stabilisierenden Komponenten (ein- oder mehrkomponentig)
- Größtkorn der Gesteinskörnung

Ringspaltmörtel	Zementanteil	
Aktiv	> 200 kg/m <sup>3</sup>	Festigkeitsentwicklung primär durch Hydratation des Zements
Bedingt aktiv (semi-inert)	50 – 200 kg/m <sup>3</sup>	Schnelles Ansteifen, anschließend sehr langsame Festigkeitsentwicklung
Inaktiv (inert)	≤ 50 kg/m <sup>3</sup>	Zementersatz, z.B. hydraulischer Kalk oder Flugasche

SFB 837 Interaction Modelling in Mechanized Tunnelling "Granulometrische Charakterisierung von verschiedenen Mörtelrezepturen für die Ringspaltverpressung beim maschinellen Tunnelbau" 04. Juni 2014, RUB 5

RUHR-UNIVERSITÄT BOCHUM

## Praxisübliche Kenngrößen

**RUB**

### Zementhaltige Ringspaltmörtel

Anforderungen	Parameter		
Verarbeitbarkeit/ Konsistenz	Setzfließmaß SF Ausbreitmaß a Ausbreitmaß a	(t = 0h)	15 ± 5 cm
		(t = 0h)	20 ± 5 cm
		(t = 8h)	15 ± 5 cm
Festigkeits- entwicklung	Scherfestigkeit $\tau_v$		≥ 2,0 kPa, i.d.R. 5 – 10 kN/m <sup>2</sup> (bei aktiver Ortsbruststützung und vollständig verfülltem Ringspalt zur Vermeidung von Verformungen aus Auftriebskräften)
			Steifemodul $E_s$
	Druckfestigkeit $f_c$	(t = 24h)	≥ 0,5 MPa (für aktive RSM) [Thewes & Budach 2009]

SFB 837 Interaction Modelling in Mechanized Tunnelling "Granulometrische Charakterisierung von verschiedenen Mörtelrezepturen für die Ringspaltverpressung beim maschinellen Tunnelbau" 04. Juni 2014, RUB 6

RUHR-UNIVERSITÄT BOCHUM

## Mörtelrezepturen

**RUB**

Basisrezepturen

Ausgangsstoffe	Einheit	Aktiv	Bedingt aktiv	Bedingt aktiv	Inaktiv
Zement CEM I 42,5 R	[kg/m <sup>3</sup> ]	194	120	60	0
Quarzsand 0-1 mm	[kg/m <sup>3</sup> ]	169	169	169	169
Quarzsand 0-2 mm	[kg/m <sup>3</sup> ]	674	674	674	674
Quarzkies 2-8 mm	[kg/m <sup>3</sup> ]	454	454	454	454
Sieblinie	[-]	B8	B8	B8	B8
Bentonitsuspension (6 % Konzentration)	[kg/m <sup>3</sup> ]	153	183	166	183
Flugasche	[kg/m <sup>3</sup> ]	194	268	328	420
Wasser	[kg/m <sup>3</sup> ]	207	177	164	135

[Thewes & Budach 2009]

SFB 837  
Interaction Modelling in  
Mechanized Tunnelling

“Granulometrische Charakterisierung von verschiedenen Mörtelrezepturen für die Ringspaltverpressung beim maschinellen Tunnelbau”  
04. Juni 2014, RUB

7

RUHR-UNIVERSITÄT BOCHUM

## Untersuchungsvarianten

**RUB**

- **Basisrezepturen** (aktiv, bedingt aktiv, inaktiv)
- Variationsparameter:
  1. Sieblinie/ Feinstanteil (0,063 – 0,25 mm)
  2. **Feinheit der Feinstoffe** (Flugasche, Kalksteinmehl, Quarzmehl, Hüttensandmehl)
  3. Art der Gesteinskörnung (Quarz, Basalt)
  4. Wassergehalt W
  5. Entwässerungsdruck p
  6. Schichtdicke  $d_{RSM}$
  7. Filterpermeabilität k

SFB 837  
Interaction Modelling in  
Mechanized Tunnelling

“Granulometrische Charakterisierung von verschiedenen Mörtelrezepturen für die Ringspaltverpressung beim maschinellen Tunnelbau”  
04. Juni 2014, RUB

8

RUHR-UNIVERSITÄT BOCHUM

## Untersuchungsprogramm

**RUB**

Konsistenz/ Verarbeitbarkeit, einschl. zeitlicher Änderungen



Ausbreitmaß nach EN 1015-3



Trichterauslaufzeit nach EN 12350-9



SFB 837  
Interaction Modelling in  
Mechanized Tunnelling

"Granulometrische Charakterisierung von verschiedenen Mörtelrezepturen für die Ringspaltverpressung beim maschinellen Tunnelbau"  
04. Juni 2014, RUB

9

RUHR-UNIVERSITÄT BOCHUM

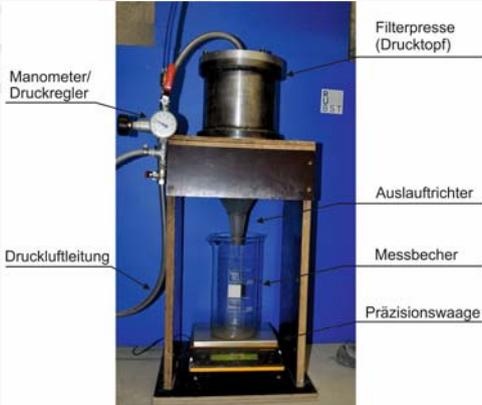
## Untersuchungsprogramm

**RUB**

Entwässerungsverhalten (Filtratwasserabgabe, einschl. zeitlicher Effekte)



Filterpresse nach DIN 4127



„Modifizierte Filterpresse“



SFB 837  
Interaction Modelling in  
Mechanized Tunnelling

"Granulometrische Charakterisierung von verschiedenen Mörtelrezepturen für die Ringspaltverpressung beim maschinellen Tunnelbau"  
04. Juni 2014, RUB

10

RUHR-UNIVERSITÄT BOCHUM

## Untersuchungsprogramm

**RUB**

- Entwicklung der **Scherfestigkeit**



Flügelsonde nach  
DIN 4094-4



Rahmenschergerät in Anlehnung an  
DIN 18137-3





SFB 837  
Interaction Modelling in  
Mechanized Tunnelling

"Granulometrische Charakterisierung von verschiedenen Mörtelrezepturen für die Ringspaltverpressung beim maschinellen Tunnelbau"  
04. Juni 2014, RUB

11

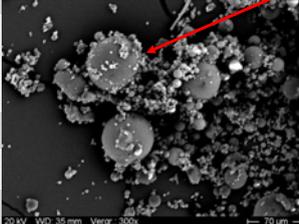
RUHR-UNIVERSITÄT BOCHUM

## Untersuchungsergebnisse

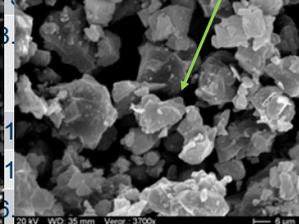
**RUB**

### Feinheitsparameter der Feinstoffe

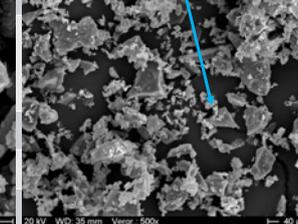
	Zement	Flugasche	Kalksteinmehl	Quarzmehl	Hüttensandmehl
Dichte $\rho$ [g/cm <sup>3</sup> ]	3.0	2.3	2.7	2.5	2.9
[cm <sup>2</sup> /g]					
Kornform	kantig	kugelig	kantig	kantig	kantig
Oberflächenrauigkeit	rau	glatt, porös	rau	glatt	glatt



20 kV WD: 35 mm Vergr.: 300x  
70 µm



20 kV WD: 35 mm Vergr.: 3100x  
6 µm



20 kV WD: 35 mm Vergr.: 500x  
40 µm



SFB 837  
Interaction Modelling in  
Mechanized Tunnelling

"Granulometrische Charakterisierung von verschiedenen Mörtelrezepturen für die Ringspaltverpressung beim maschinellen Tunnelbau"  
04. Juni 2014, RUB

12

RUHR-UNIVERSITÄT BOCHUM

## Untersuchungsergebnisse

**RUB**

### Granulometrische Charakterisierung der Basisrezepturen

	A-194	B-120	B-60	I-0
Zement [kg]	194	120	60	0
Flugasche [kg]	194	268	328	420
Wasser [kg]	207	177	164	135
$S_{m, \text{Bindemittel}}$ [cm <sup>2</sup> /g]	6.071	5.884	5.732	5.581
$S_{m, \text{Bindemittel}}$ [cm <sup>2</sup> ]	1,177,677,000	1,276,581,814	1,608,356,454	2,344,020,000
$W/S_m$ [g/cm <sup>2</sup> ]	1,76E-04	1,39E-04	1,02E-04	5,76E-05

SFB 837  
Interaction Modelling in  
Mechanized Tunnelling

“Granulometrische Charakterisierung von verschiedenen Mörtelrezepturen für die Ringspaltverpressung beim maschinellen Tunnelbau”  
04. Juni 2014, RUB

13

RUHR-UNIVERSITÄT BOCHUM

## Untersuchungsergebnisse – Basisrezepturen

**RUB**

### Zeitabhängige Ermittlung der Konsistenz (t = 0 und 6 h)

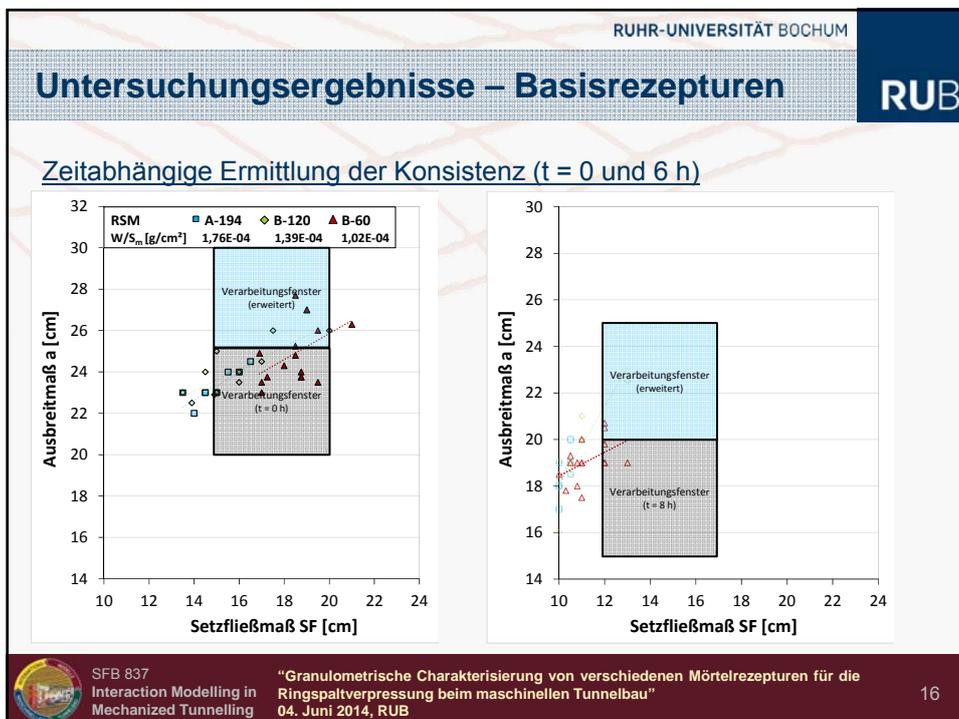
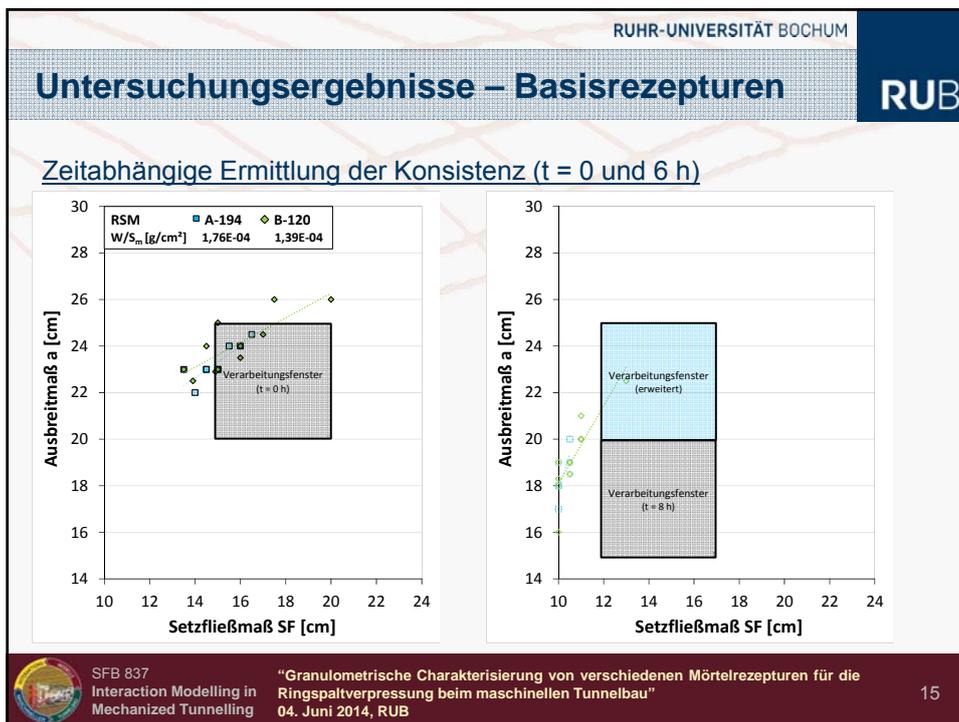
$W/S_m$  [g/cm<sup>2</sup>] 1,76E-04  
 A-194  
 Verarbeitungsfenster (t = 0 h)

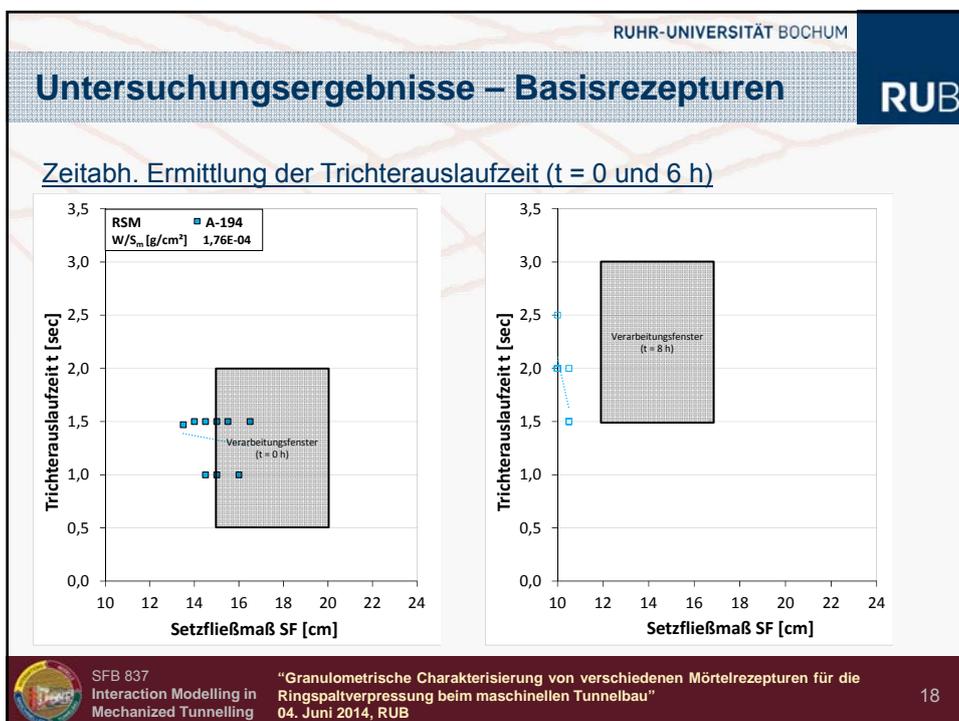
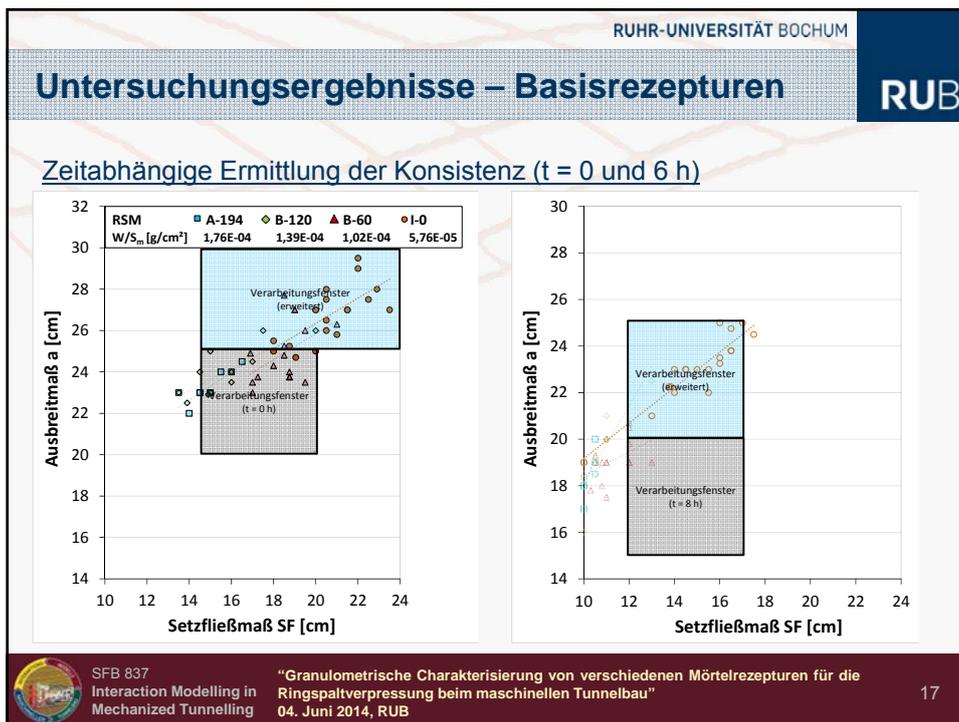
t = 360 min nach Herstellung  
 Verarbeitungsfenster (t = 8 h)

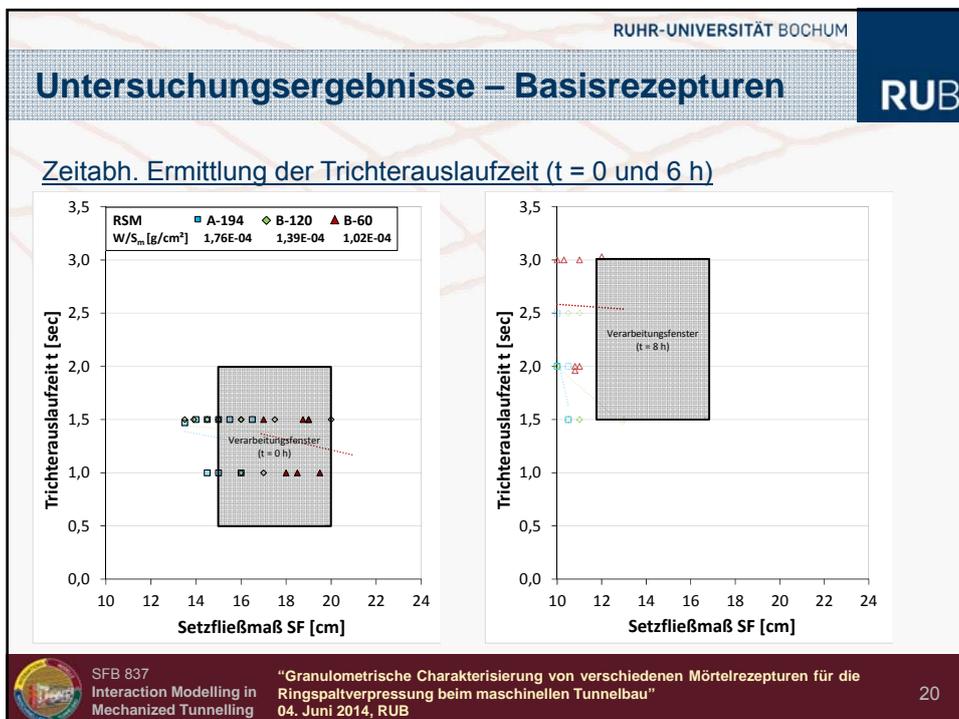
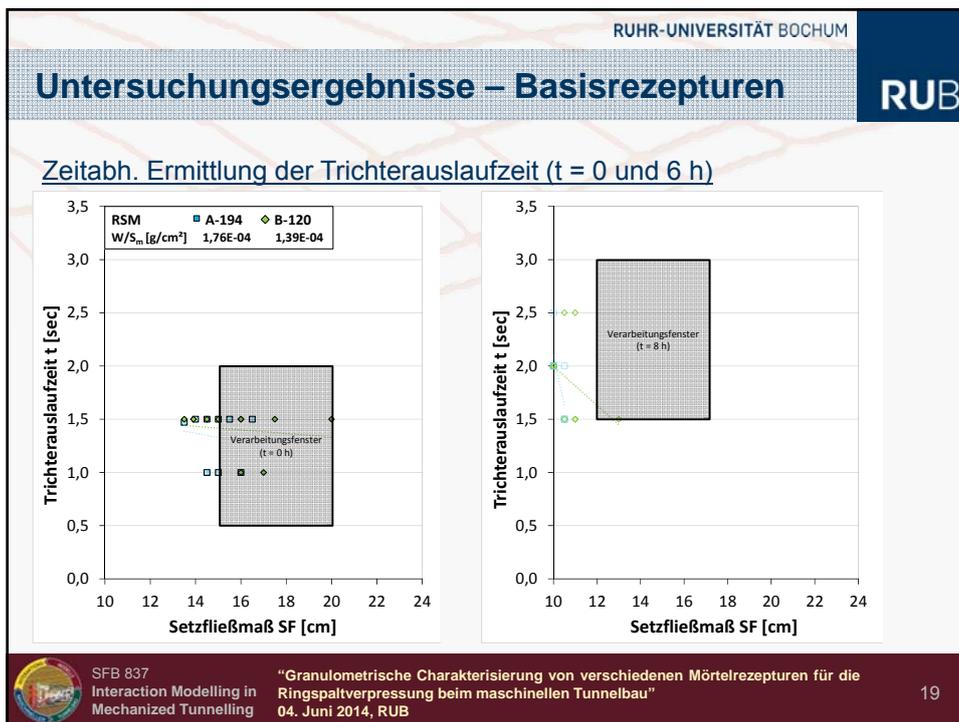
SFB 837  
Interaction Modelling in  
Mechanized Tunnelling

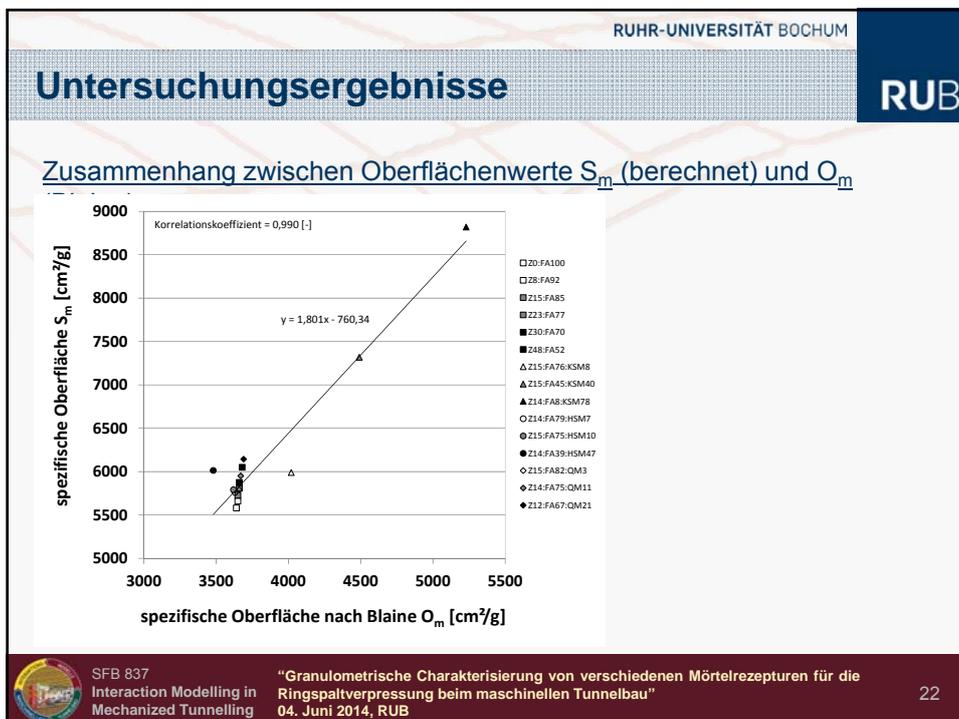
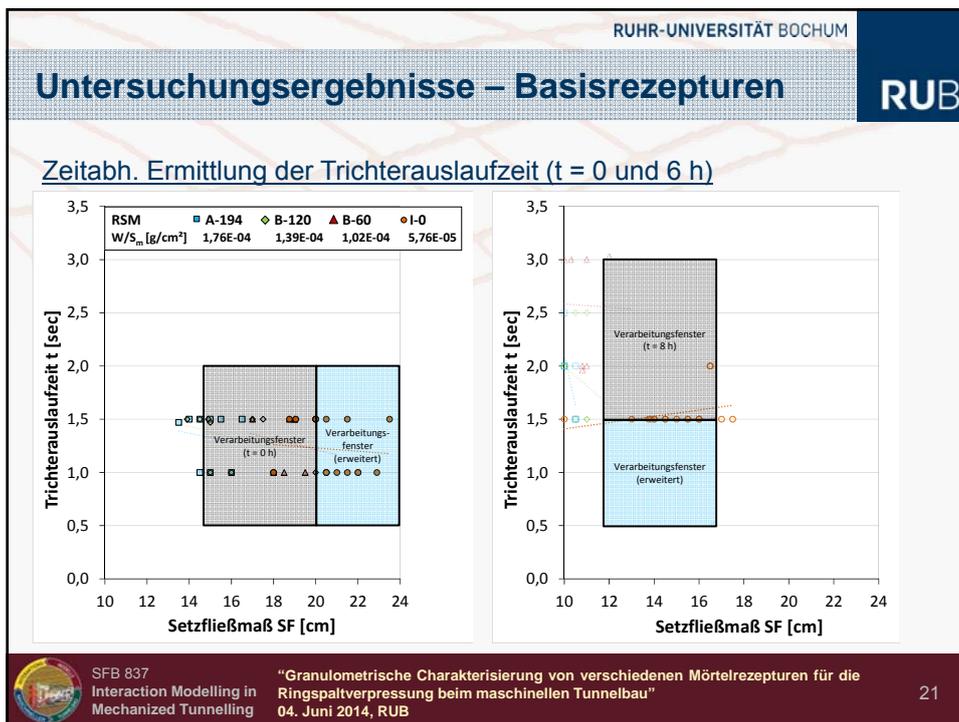
“Granulometrische Charakterisierung von verschiedenen Mörtelrezepturen für die Ringspaltverpressung beim maschinellen Tunnelbau”  
04. Juni 2014, RUB

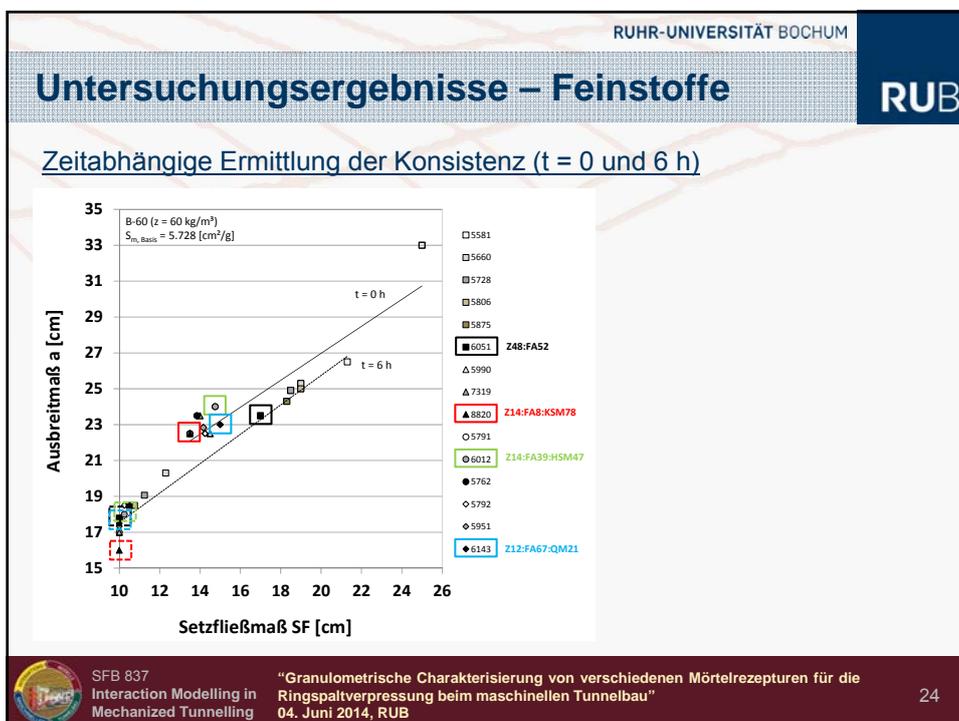
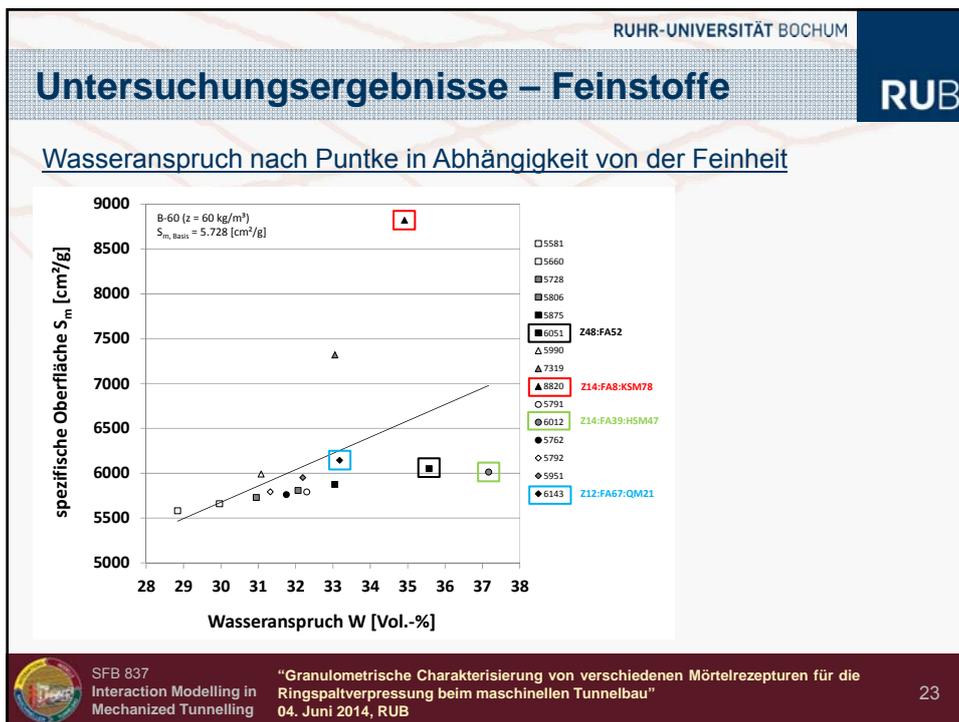
14

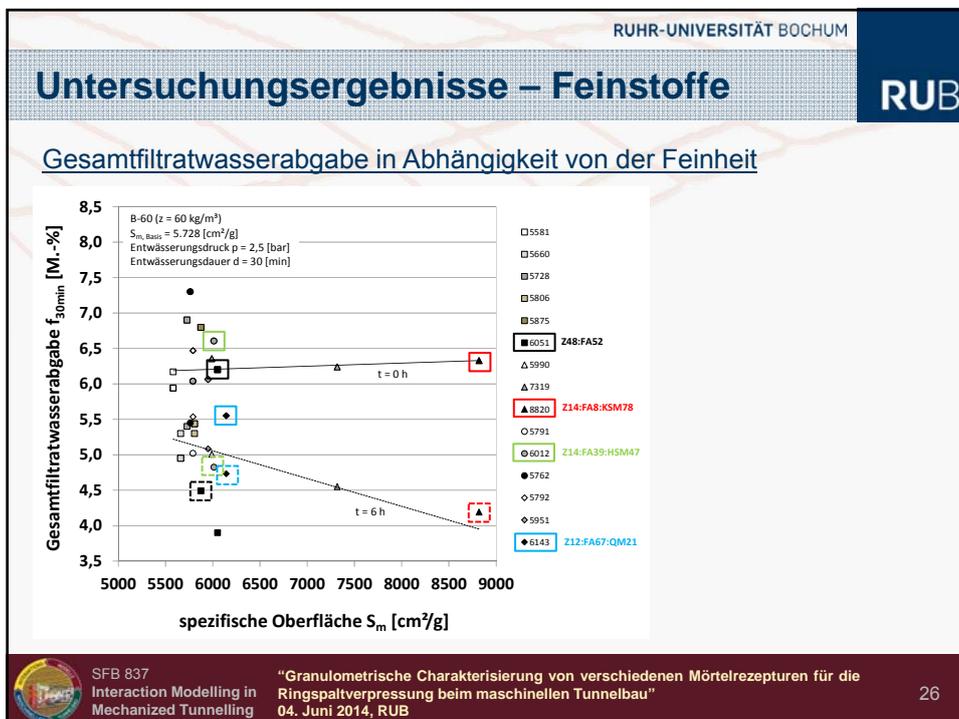
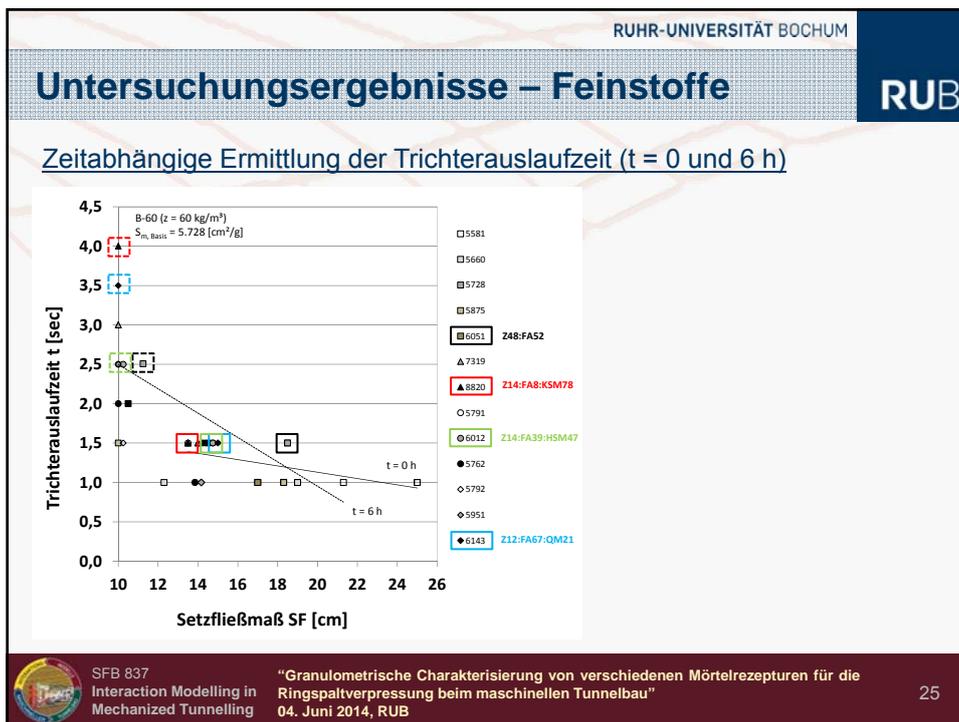


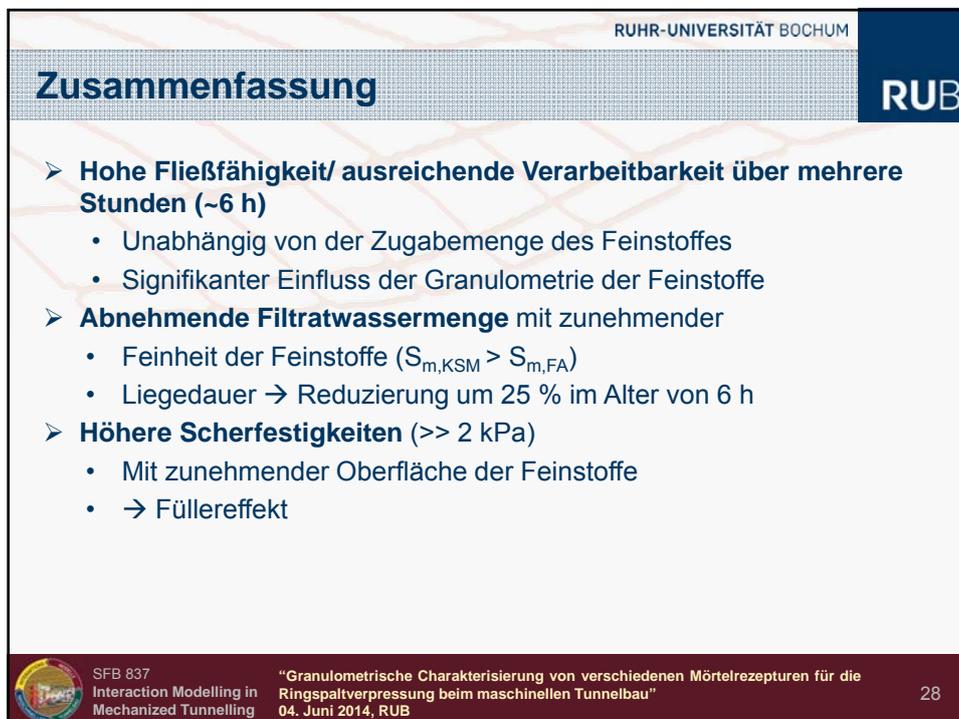
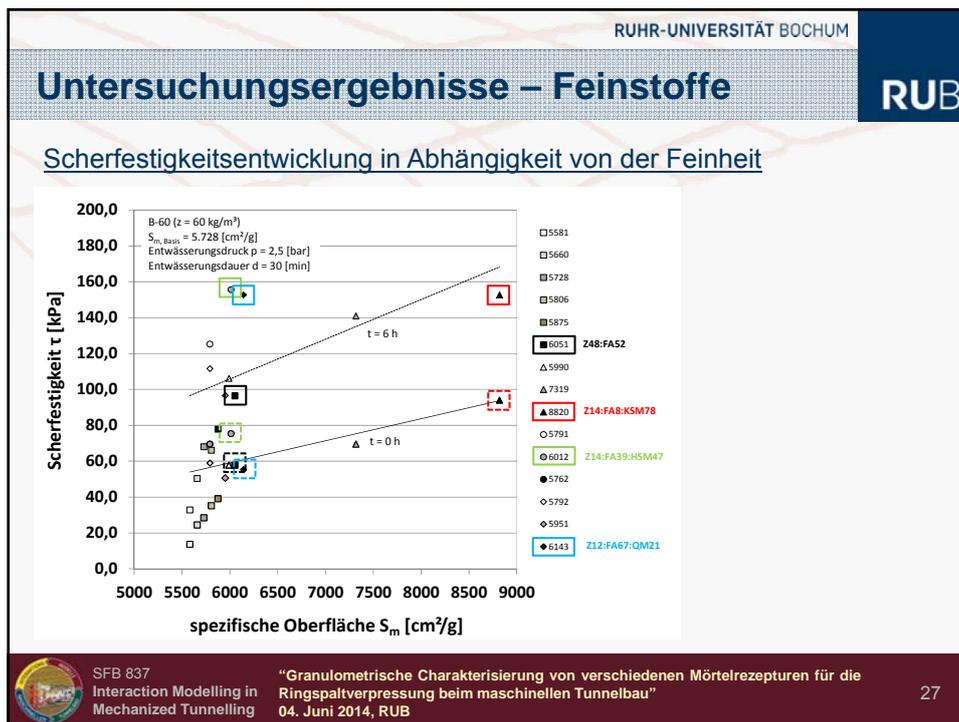












RUHR-UNIVERSITÄT BOCHUM

**RUB**

## Ausblick Phase II

- **Alternative Mörtel ohne Auspressen von Wasser**
  - Entwicklung von Mehrkomponentenmörteln mit neuartigen/modifizierten Bindemittelsystemen
  - Einsatzgebiete sowohl in nicht-bindigen als auch in bindigen Böden
  - Entwicklung von RSM mit dem Gebirgsdruck angepasster Steifigkeit/ Stauchungsfähigkeit
  - Optimierung des Verformungsverhaltens, insbesondere der Steifigkeit im Endzustand
- **Überprüfung der Umsetzbarkeit in die Praxis**
  - Entwicklung adäquater Mischtechnik (Statikmischer)
  - Förderung und Verpressung geeigneter RSM in halb-technischem Maßstab



SFB 837  
Interaction Modelling in  
Mechanized Tunnelling

“Granulometrische Charakterisierung von verschiedenen Mörtelrezepturen für die Ringspaltverpressung beim maschinellen Tunnelbau”  
04. Juni 2014, RUB

29

RUHR-UNIVERSITÄT BOCHUM

**RUB**

## Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!






SFB 837  
Interaction Modelling in  
Mechanized Tunnelling

Rheologie – Workshop  
04. Juni 2014