

INSTITUT FÜR
BAUSTOFF
FORSCHUNG

FEHS

Abteilung "Baustoffe"

25. Beiratssitzung am 25. September 2019

Aufgabenkatalog-Vorschlag 2020 (I)

Stoffart	lfd. Nr.	Aufgaben 2020 Bereich BAUSTOFFE	Erläuterungen	Förderträger	FA/FV	Laufzeit
1	2	3	4	5	6	7
X HS HZ	1.07	Gremienarbeit	Für den Absatz von HZ und HS dringend notwendige Verpflichtungen			
X HS HZ	1.24	Hydraulizität von Hüttensanden (Vervollständigung der Hüttensanddatei)	Erweiterung der Datengrundlage und HS-Monitoring für FEHS-Mitglieder			
X HS HZ	1.45	Frühfestigkeit von Hochofenzement	Zur Steigerung der Anfangsfestigkeit von HOZ			
X HS	1.46	Einfluss der thermischen Vorgeschichte von Hochofenschlacke auf die Hüttensandreaktivität	Glasstruktur von Hüttensand	RFCS AiF	FV FV	07/17 06/21 04/17 10/19
X HS HZ	1.49	Vergleichende Untersuchungen mit europäischen Prüfverfahren	Erfahrungssammlung und neue Messverfahren im FEHS-Institut	AiF	FA	01/20 12/21
X HS HZ	1.50	Untersuchungen zur Erhöhung des Frost-Tausalz-Widerstands von Betonen mit hüttensandhaltigen Zementen	Modifizierung des CDF-/CIF-Tests			
X HS HZ	1.54	Untersuchungen zum Sulfatwiderstand	Weiterentwicklung eines Schnellprüfverfahrens sowie Arbeiten zum Einfluss der Hüttensandqualität	AiF	FV	11/16 12/19
X HS HZ	1.62	Die Mahlbarkeit von Hüttensand und ihre Beurteilung	Wechselwirkung Mahlbarkeit und Porosität, beschrieben mittels 3D-CT	AiF	FV	11/18 10/20

1.07 → Interessenvertretung

1.24 → Datensammlung, HS-Monitoring

1.45 → Einige separate Projekte in der Vergangenheit (Feinheit, KGV, Klinker, Stäube...). Derzeit keine neue Forschung sinnvoll, eher Querschnittsaufgabe (z.B. innerhalb 1.46)

1.46 → lfd. AiF-FV mit TUC und RFCS-FV mit AM u.a.

1.49 → Sicherstellung der Arbeitsfähigkeit; AiF-FA zur Staubanalytik in Vorbereitung

1.50 → Bereits in 2017 beendetes AiF-FV; derzeit Transfer der Ergebnisse (Publikationen; Präsentationen)

1.54 → lfd. AiF-FV mit ibac

1.62 → lfd. AiF-FV mit Fraunhofer-Institut

Aufgabenkatalog-Vorschlag 2020 (II)

Stoffart	lfd. Nr.	Aufgaben 2020 Bereich BAUSTOFFE	Erläuterungen	Förderträger	FA/FV	Laufzeit	
1	2	3	4	5	6	7	
X	SWS	1.63	SWS als Gesteinskörnung	SWS als Deponiebaustoff (MgO II)	AiF	FV	12/16 01/19
				KS-Steine mit erhöhtem Schallschutz	AiF	FV	10/18 09/20
				Künstliche Gesteinskörnungen	BMBF (ReMin)	FA	01/20 12/22
X	EhS	1.67	Alkaliaktivierte Bindemittel	Verwendung von alkalisch aktivierten EhS HS als Bindemittel	BMBF (ReMin)	FA	01/20 12/22
X	HZ	1.69	Untersuchungen zum Säurewiderstand	HOZ mit erhöhtem Säurewiderstand	AiF	FV	12/15 03/19
X	SWS SEKS HZ	1.70 (4.14)	Klinker aus Stahlwerksschlacken	LDS-Transformation	BMBF (ReMin)	FA	01/20 12/22
X	HZ	1.72	Sonderbetone mit hüttensandhaltigen Zementen	Wärmespeicherbeton	BMWi	FV	09/18 08/21
				Beton mit erhöhtem Hochtemperaturwiderstand	AiF	FV	10/18 09/20

1.63 → a) Ende 2018 beendetes AiF-FV; in 2019 nur Publikationen etc.

b) lfd. AiF-FV mit FV Kalk-Sand

c) Beantragtes FV mit TU Clausthal und ZKW Otterbein (Bewertung Dez. 2019)

1.67 → Beantragtes FV mit STUVA und MC Bauchemie zu Ringspaltmörteln (Bewertung Dez. 2019)

1.69 → Gerade beendetes AiF-FV mit Uni Bochum

1.70 → Beantragtes FV mit BAM, TKIS u.a. zur Weiterführung früherer Versuche (Bewertung Dez. 2019)

1.72 → a) lfd. BMWi-FV mit TU Berlin u.a.

b) lfd. AiF-FV mit Uni Wuppertal

Aufgabenkatalog-Vorschlag 2020 (III)

Stoffart	lfd. Nr.	Aufgaben 2020 Bereich BAUSTOFFE	Erläuterungen	Förderträger	FA/FV	Laufzeit
1	2	3	4	5	6	7
X HS	1.80 (4.25)	Granulationstechnik	FORWARDS-2.0: Pilotanlage zur Trockenschlackengranulation	FFG	FV	03/16 02/19
X HS HZ	1.85 (4.14)	Eigenschaften von Schlacken aus alternativen Verfahren	Zementtechnische Eigenschaften von Schlacken aus der Kombination Direktreduktion/Elektroofen HIsag - Utilisation of HIsarna slag in building materials	BMBF (KlimPro) RFCS	FA FA	- 06/20 11/23

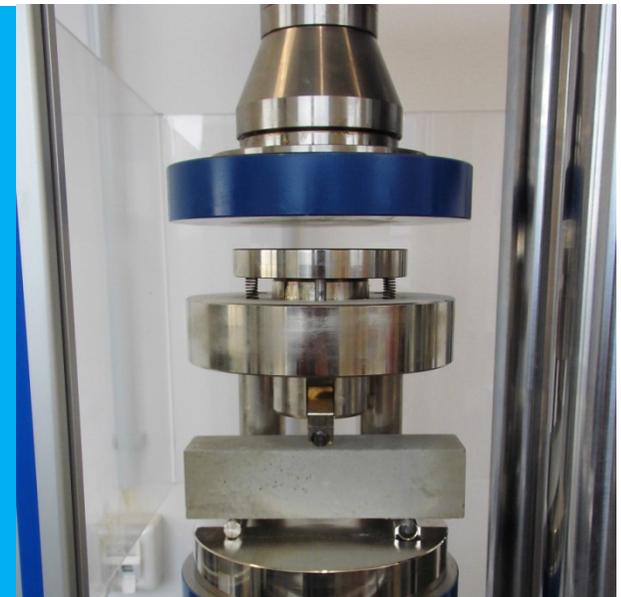
1.80 → Im Frühjahr 2019 beendetes FFG-FV mit Voestalpine, Primetals, MUL

1.85 → a) Im Dezember 2019 Skizze einzureichen ("maßgeschneidertes" BMBF-Programm)

b) Beantragtes RFCS-FV mit Tata Steel IJmuiden, Paul Wurth, ENCI, HTC

Aufgabenkatalog-Vorschlag 2020: Ausgewählte Themen

- **1.24 Hydraulizität von Hüttensand**
- **1.46 Thermische Vorgeschichte von
Hüttensand / Glasstruktur**
- **1.62 Mahlbarkeit von Hüttensand**
- **1.80 Granulationstechnik**



1.24 Hydraulizität von Hüttensand

- "Hüttensand-Datei" seit 1970
- August 2019: > 850 Datensätze
- Hüttensand-Monitoring (I/2008 - I/2019)
für Mitglieder des FEHS-Instituts
- Einzigartige Basis für Forschungs- und
Industrieprojekte



Die Hüttensand-Datei des FEHS-Instituts

Alte = neue Aufgaben

1. Sitzung AG "Hüttensand" 13.11.1969

*"Aufgabe und Ziel der Untergruppe muß es sein, eine **Schnellmethode** zu erarbeiten und festzulegen, die es gestattet, jederzeit einen Hüttensand einem optimalen Verwendungszweck zuzuführen. Hierbei darf es **nicht** dazu kommen, daß von einem **schlechten oder guten Hüttensand** gesprochen wird, sondern der Hüttensand muß in seiner Qualität stets ausgerichtet gesehen werden auf seinen Verwendungszweck."*

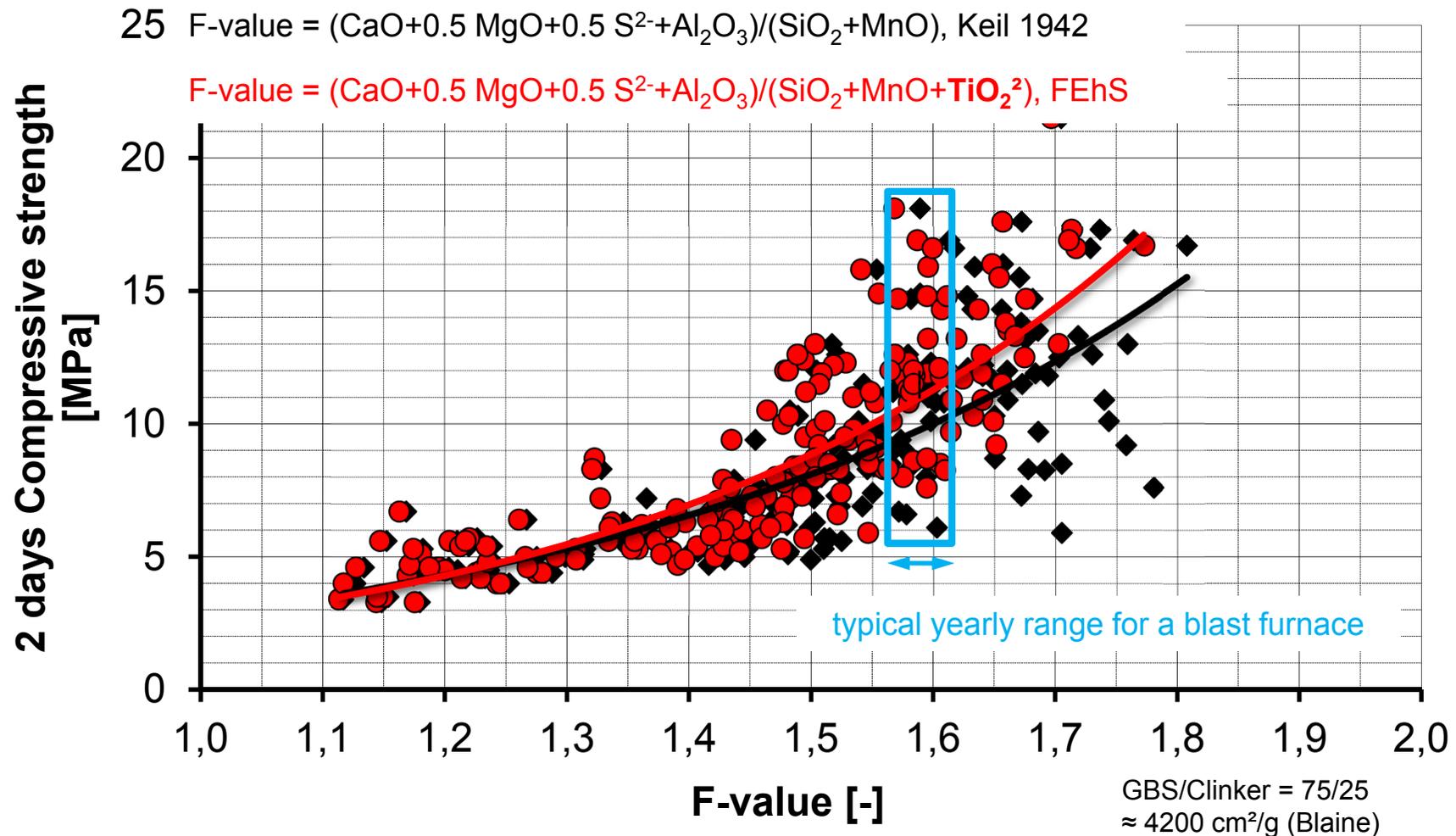
H.-G. Smolczyk:

Zum Einfluß der Chemie des Hüttensands auf die Festigkeiten von Hochofenzementen, Zement-Kalk-Gips (1978)

*"... sind wir inzwischen sicher, daß es eine **einfach zu handhabende allgemeingültige Hydrauleformel** für Hüttensand gar **nicht geben kann**."*

Unzureichende Korrelation Chemie/Festigkeit

Proben HS-Monitoring 2008-2016 (n = 270)



Unzureichende Korrelation Chemie/Festigkeit

Proben HS-Monitoring 2008-2016 (n = 270)

F. Schröder (FEhS): Tonindustriezeitung 85 (1961) No. 2/3, 39-44

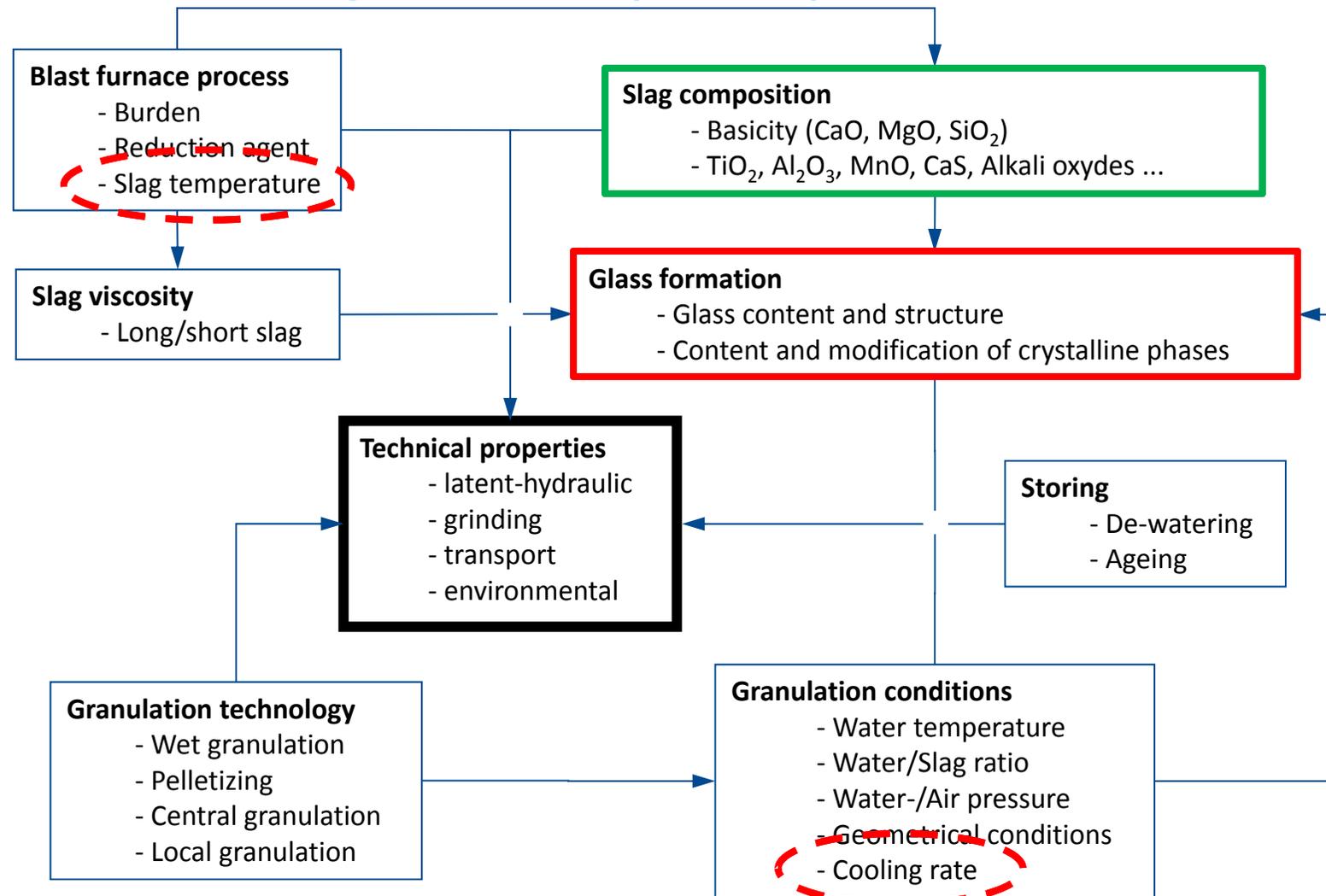
"... it is obvious that clear, universally valid relationships between the chemistry and the latent-hydraulic ability for hardening do not exist."

H.-G. Smolczyk (FEhS), 7. ICCO, Paris, 1980

"... that a hydrating blastfurnace slag cement is a complicated multi-material system. Therefore, it cannot be expected that the resulting strength development can be predetermined by aid of simple hydraulic factors."

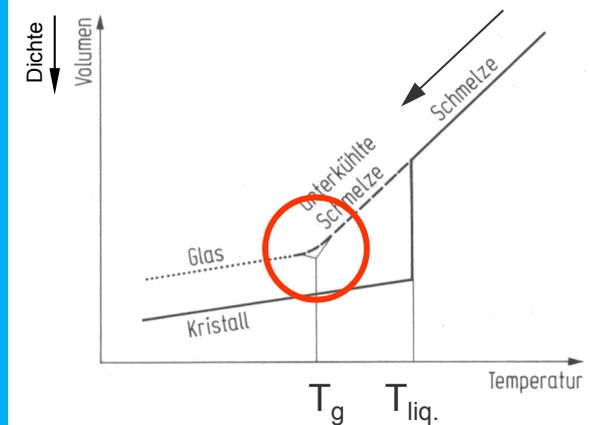
Unzureichende Korrelation Chemie/Festigkeit

Proben HS-Monitoring 2008-2016 (n = 270)



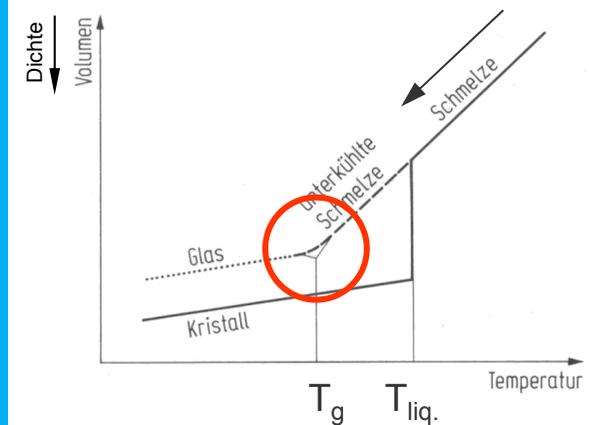
1.46 Thermische Vorgeschichte von Hüttensand / Glasstruktur

- **AiF-FV 19416 (01.04.17-31.10.19)**
"Faktoren der Glasbildung von Hüttensand
und deren Einfluss auf Glasstruktur und
Reaktivität unter Berücksichtigung
verschiedener Granulationsverfahren"
- **Partner: TU Clausthal**



1.46 Thermische Vorgeschichte von Hüttensand / Glasstruktur

- **RFCS-FV (01.07.17-30.06.21)**
"New Activation Routes for Early Strength Development of Granulated Blast Furnace Slag (ACTISLAG)"
- **Partner: ArcelorMittal, TU Clausthal, CEMHTI, LMDC, ECOCEM**



Vortrag auf dem 15. ICCC, Prag, 16.-20.09.2019

"The glass structure of granulated blast furnace slag and its effect on reactivity" (Paper ID 350)



15TH INTERNATIONAL CONGRESS ON THE CHEMISTRY OF CEMENT

Prague, Czech Republic
September 16-20, 2019



A. Ehrenberg

Offene Fragen

- Gibt es signifikante Unterschiede in der thermischen Vorgeschichte von Hüttensanden?
- Beeinflussen sie signifikant die Hüttensandreaktivität?
- Gibt es größere Unterschiede zwischen kleineren (= schneller gekühlten) und größeren (= langsamer gekühlten) Hüttensandpartikeln?
- Können wir das beeinflussen?

Gibt es signifikante Unterschiede in der thermischen Vorgeschichte von Hüttensanden?

16 HS	(C+M)/S	Al ₂ O ₃	TiO ₂	MnO	Glas	T _g	T _f ("klein")	T _f ("groß")
	-	M.-%			Vol.-%	°C		
Max.	1.44	20.1	3.02	1.48	100	743	870	829
Min.	1.13	6.8	0.27	0.12	95	731	811	774

→ Hyperquenching-Annealing-Calorimetry:

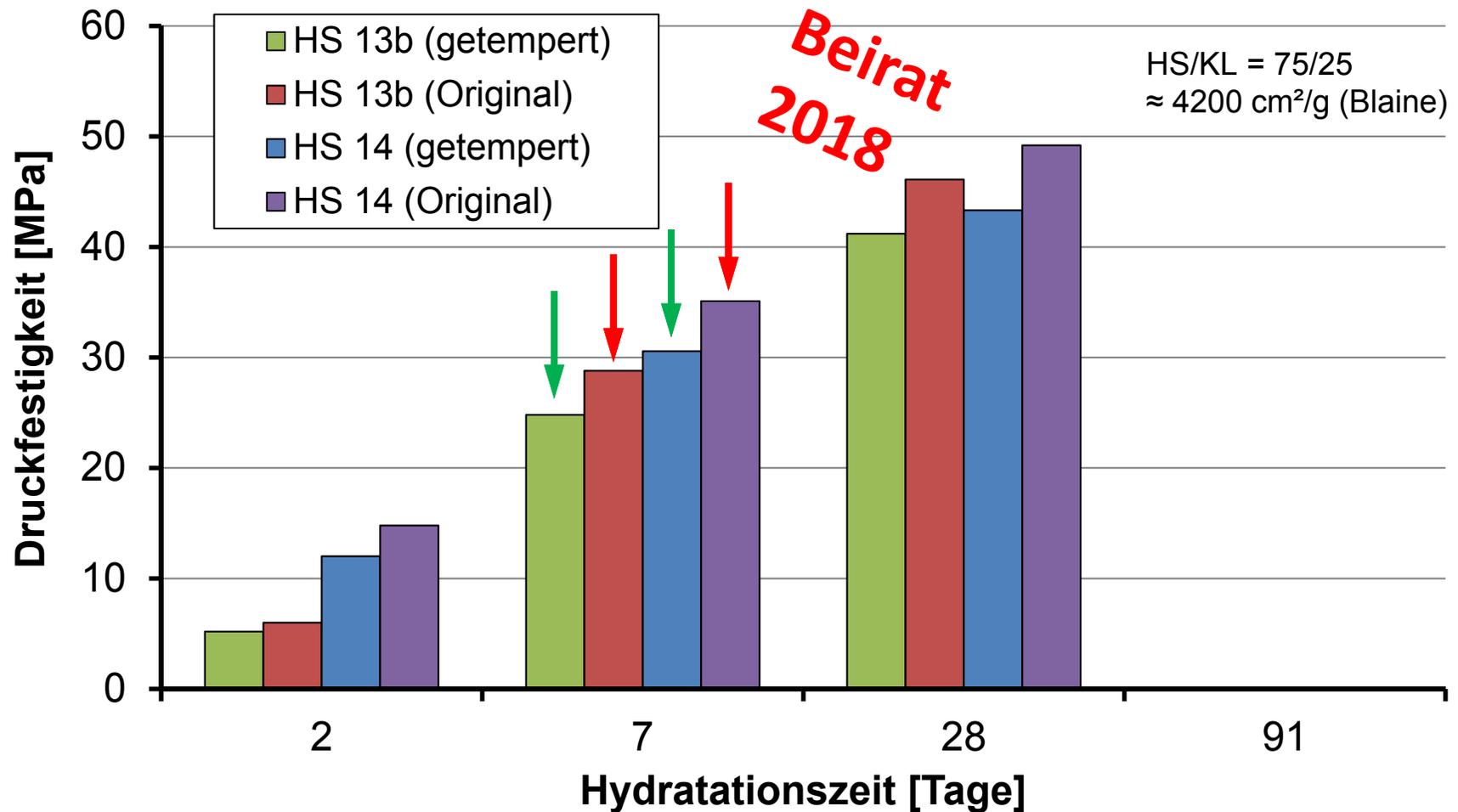
Ja, es gibt signifikante Unterschiede!

→ Aber, beeinflussen sie die Reaktivität?

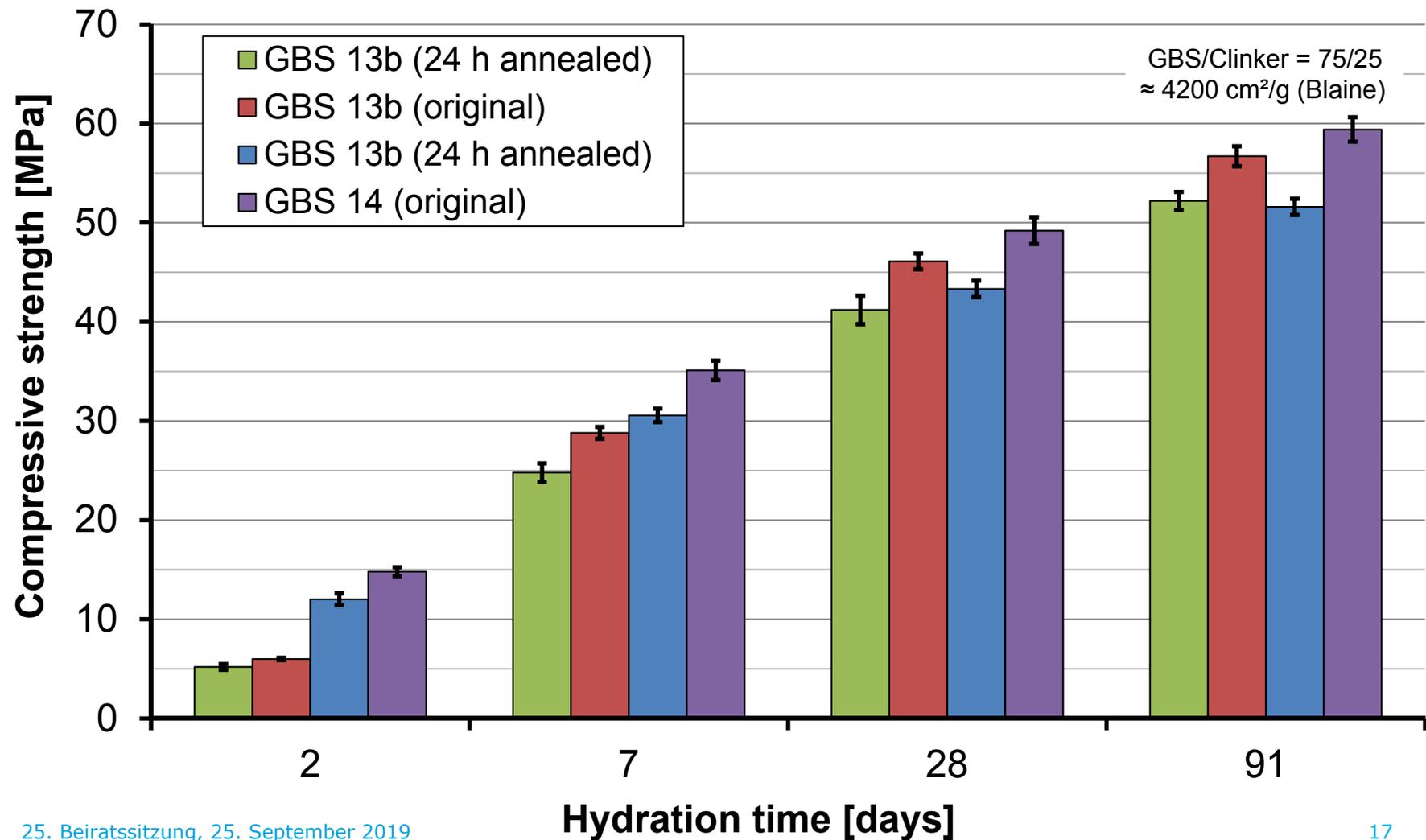
Problem: Nachträgliches Anheben der HS-Enthalpie ist unmöglich

→ Aber Absenken der HS-Enthalpie ist möglich: Glasentspannung

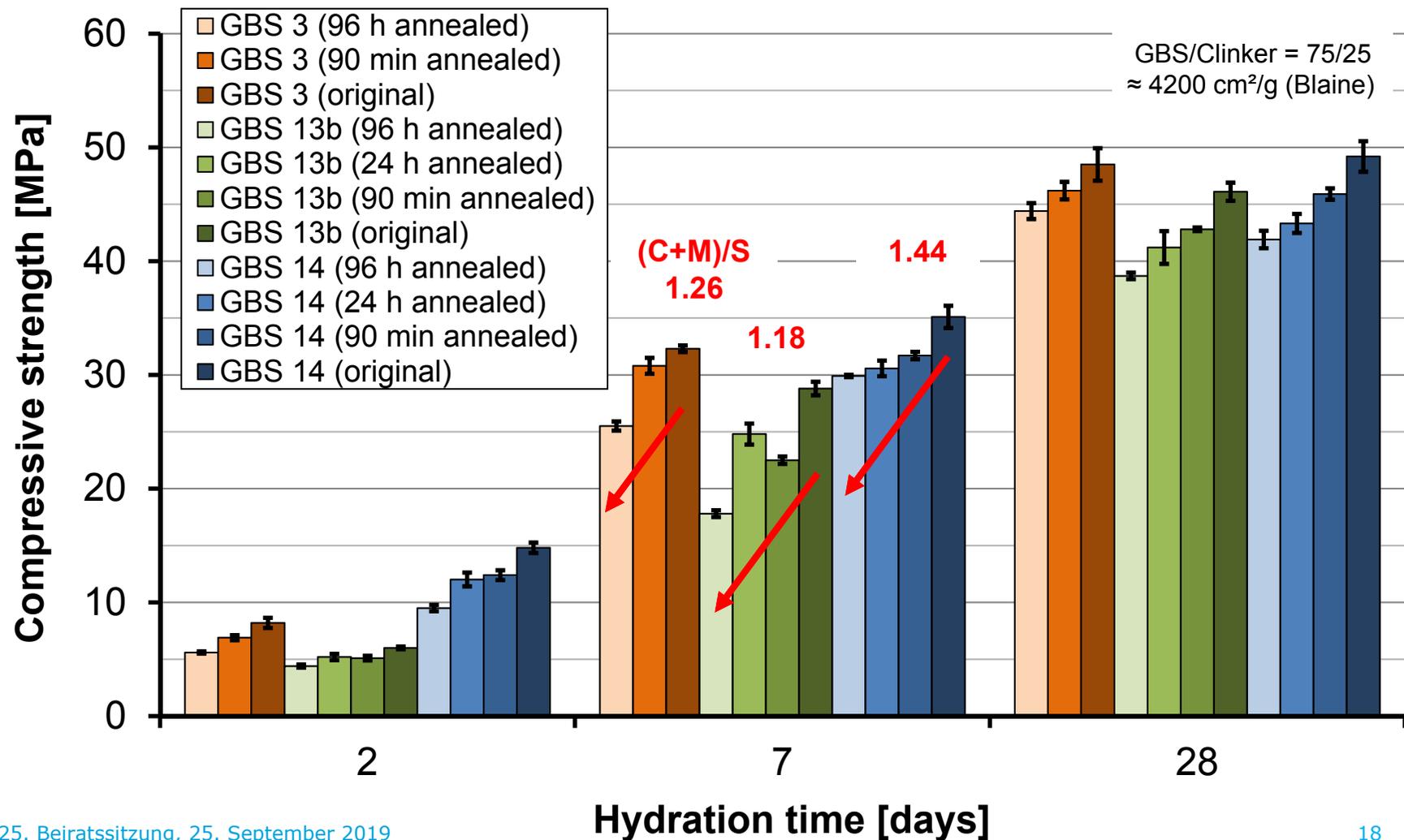
Hat die thermische Vorgeschichte wirklich Einfluss auf die Reaktivität? Mörteldruckfestigkeit



Hat die thermische Vorgeschichte wirklich Einfluss auf die Reaktivität? Mörteldruckfestigkeit



Hat die thermische Vorgeschichte wirklich Einfluss auf die Reaktivität? Mörteldruckfestigkeit



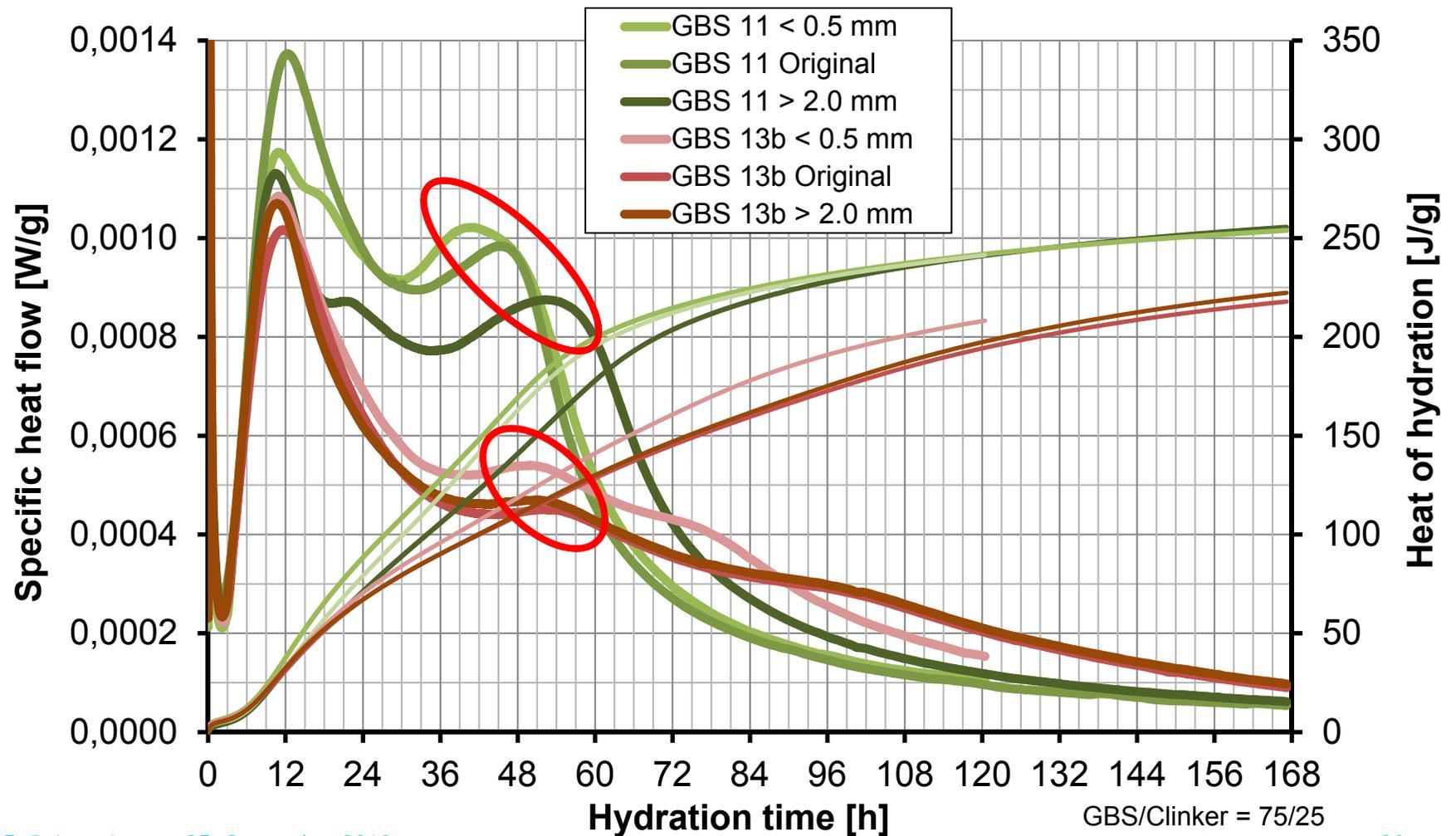
Unterschiede zwischen kleineren und größeren Partikeln?

	< 0.5 mm	> 1.0 mm	> 2.0 mm	Original
	M.-%			
HS 11	26	34	5	100
HS 13b	13	60	26	100

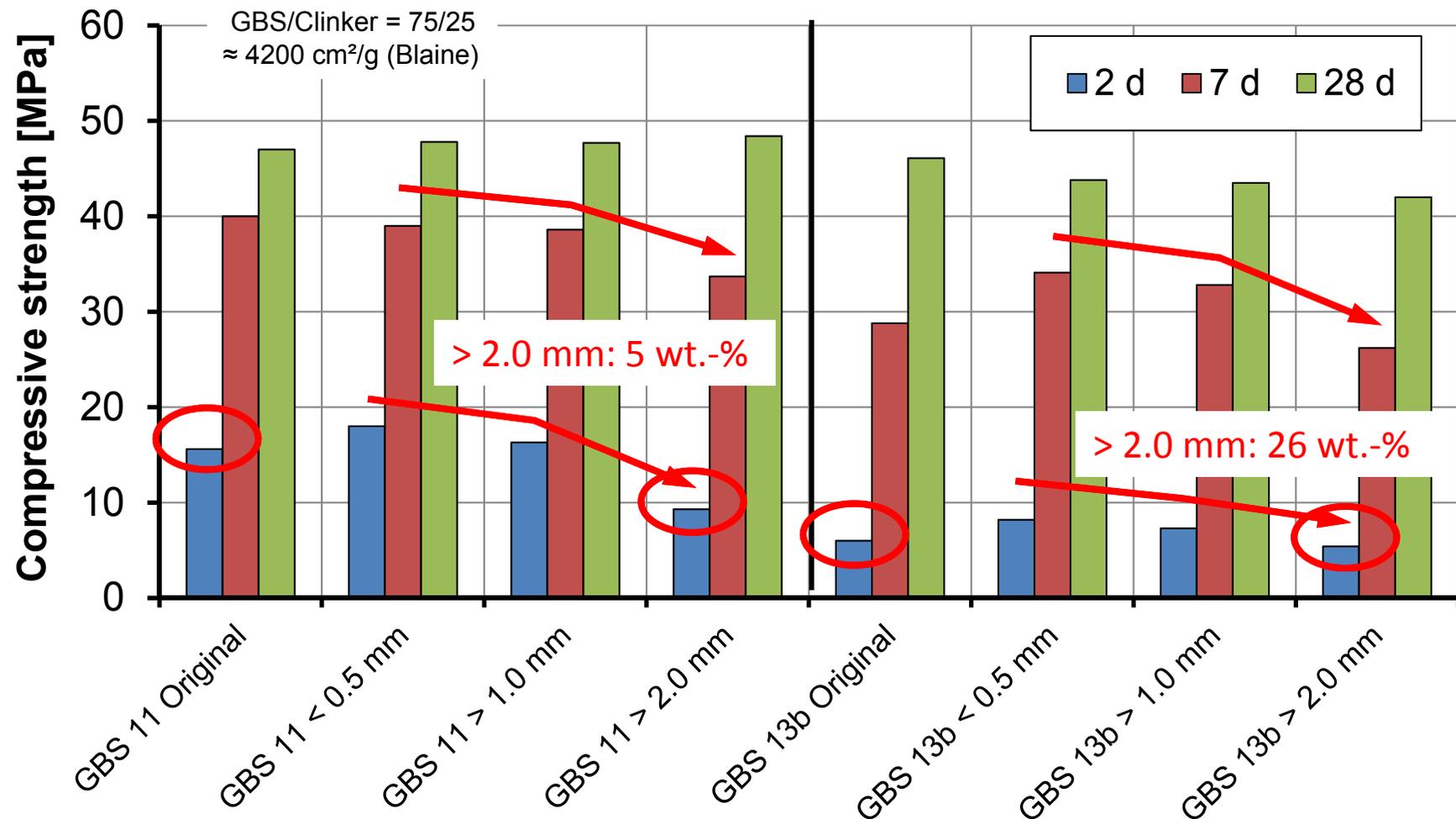
HS 11	< 0.5 mm	> 1.0 mm	> 2.0 mm	Original	
d'	16	17	17	15	µm
n	1.046	1.058	1.068	0.999	-
Blaine	4290	4160	4220	4190	cm ² /g

HS 13b	< 0.5 mm	> 1.0 mm	> 2.0 mm	Original	
d'	16	16	17	15	µm
n	1.121	1.053	1.063	1.003	-
Blaine	4350	4320	4290	4200	cm ² /g

Unterschiede zwischen kleineren und größeren Partikeln? Hydratationswärme



Unterschiede zwischen kleineren und größeren Partikeln? Mörteldruckfestigkeit

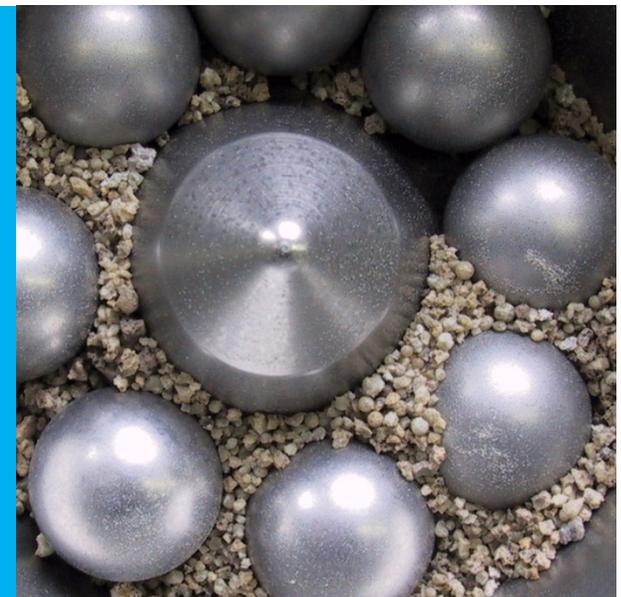


Derzeitige Zusammenfassung

- Industrielle HS haben unterschiedliche thermische Vorgeschichten und Enthalpieinhalte (→ T_f)
- Zum 1. Mal konnte quantitativ gezeigt werden, dass diese zu unterschiedlicher Reaktivität führen (wenn andere Parameter konstant bleiben)
- Der Reaktivitätsbeitrag ist signifikant und erklärt, warum die simplen Ansätze, beruhend nur auf Chemie und Glasgehalt, nicht funktionieren
- Kleinere und größere HS-Partikel haben eine unterschiedliche Kühlhistorie und Enthalpieinhalte
- Kleinere HS-Partikel scheinen eine höherer Reaktivität aufzuweisen, insbesondere nach 2 und 7
- Jedoch scheint der generelle Einfluss des (mittleren) T_f -Levels größer zu sein als der Partikelgrößeneffekt
- Die Ergebnisse sind auch von Bedeutung für die Arbeiten zur Trockengranulation (vgl. Aufgabe 1.80)
- Industrielle Granulationsanlagen sollten demnach nicht nur robust große Schlackenmengen bei möglichst hoher Temperatur handhaben und dabei maximale Glasgehalte erzeugen, sondern auch feinere Partikel mit möglichst hoher Abkühlrate

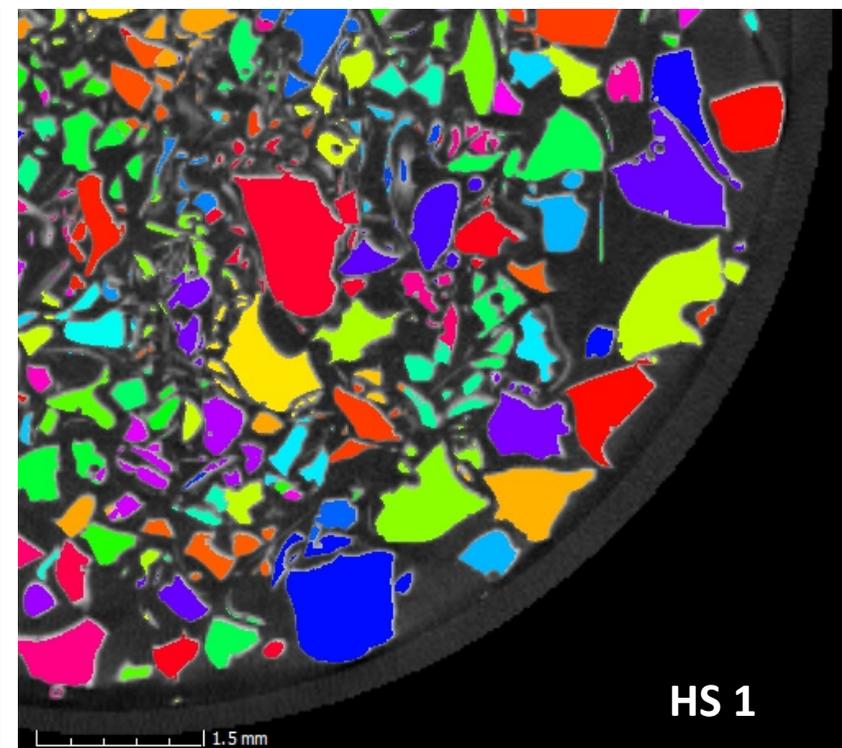
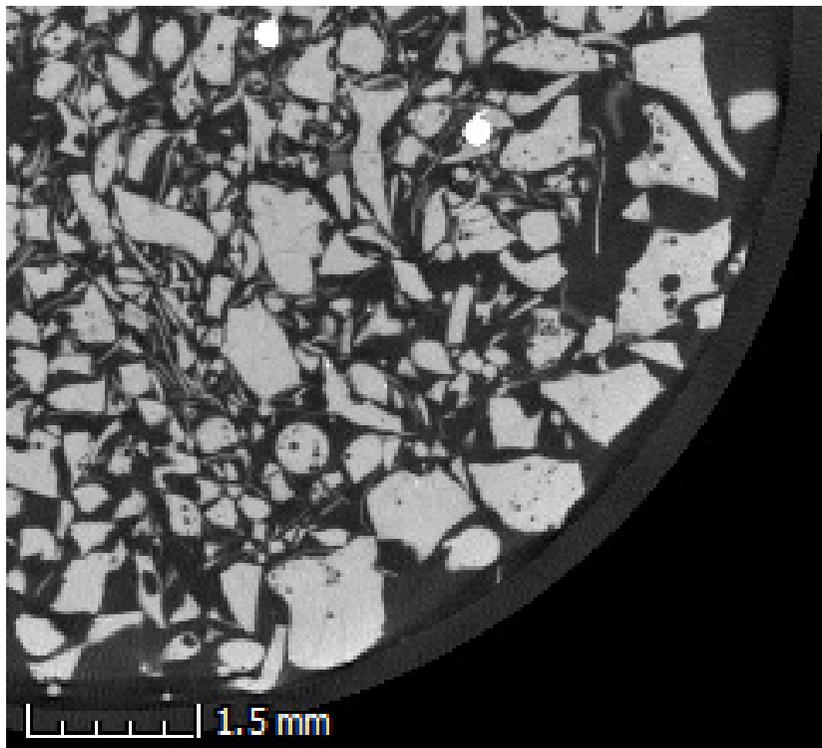
1.62 Mahlbarkeit von Hüttensand

- **AiF-FV 20187 (01.11.18-31.10.20)**
"Experimentelle und numerische Untersuchungen zur Abhängigkeit der Mahlbarkeit von Hüttensand von dessen Eigenschaften"
- **Partner: Fraunhofer-Institut für
Werkstoffmechanik**



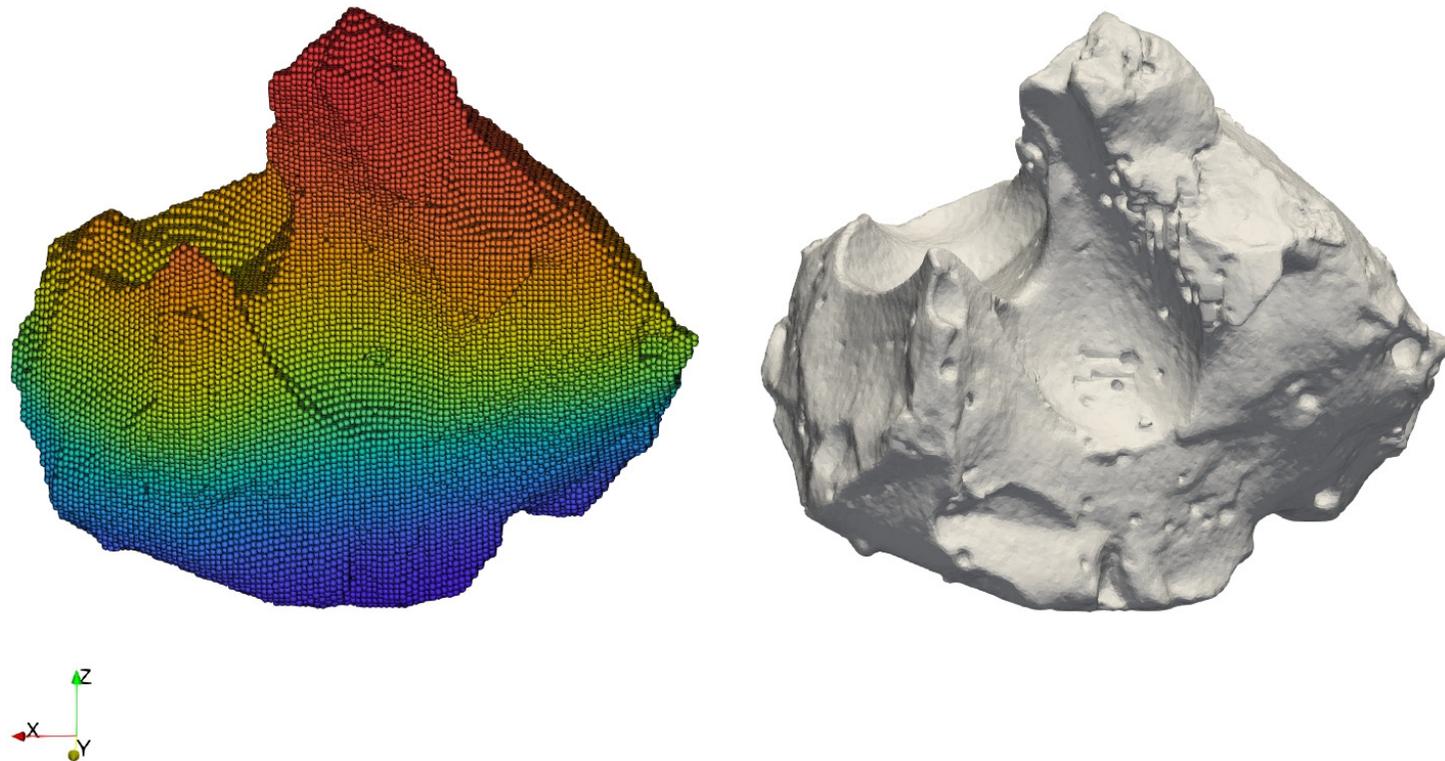
3D-CT: Datensammlung mittels Küvettenmessungen

Basis für Simulationen

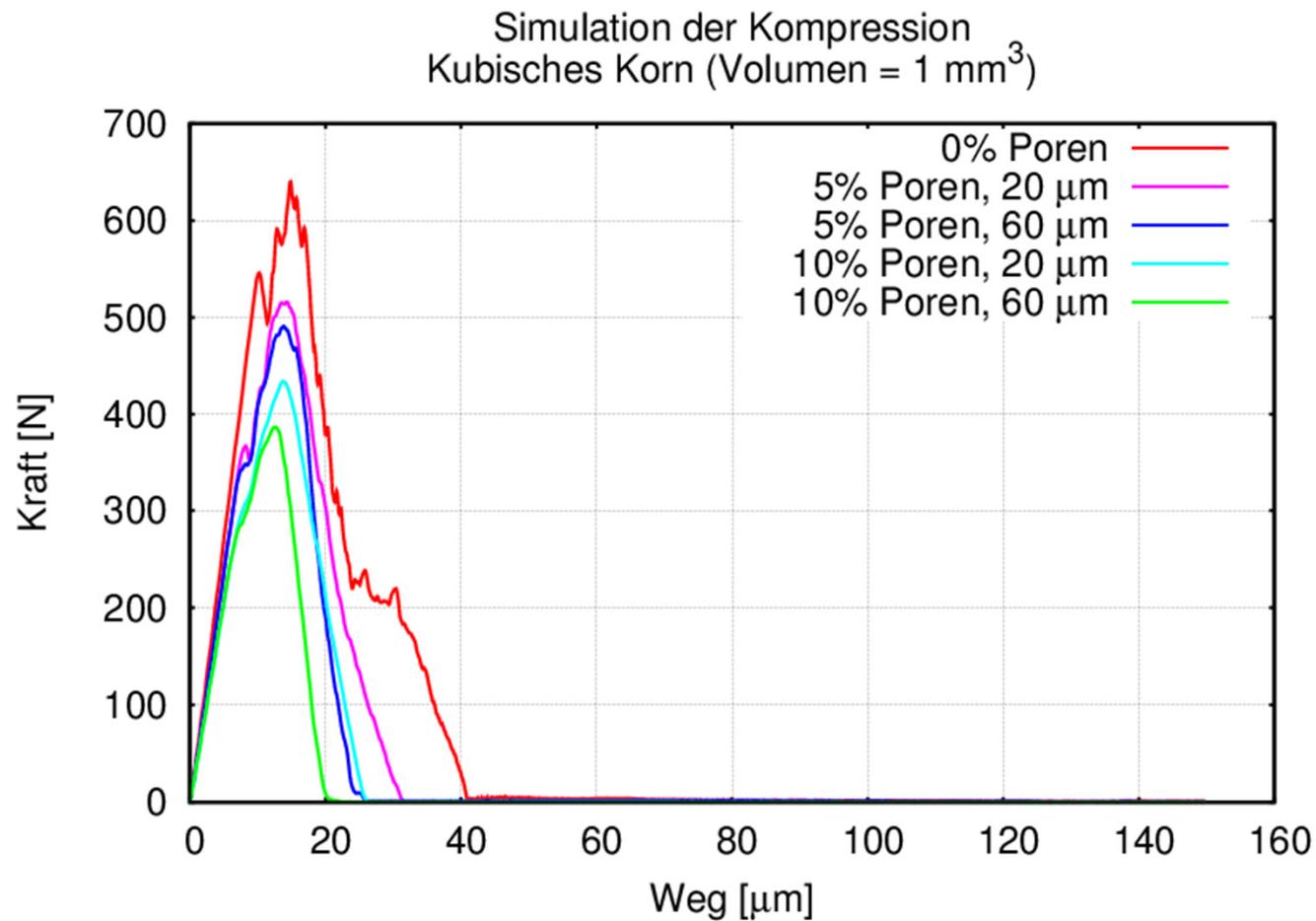


Simulation von Hüttensandkörnern auf Basis von STL-Dateien

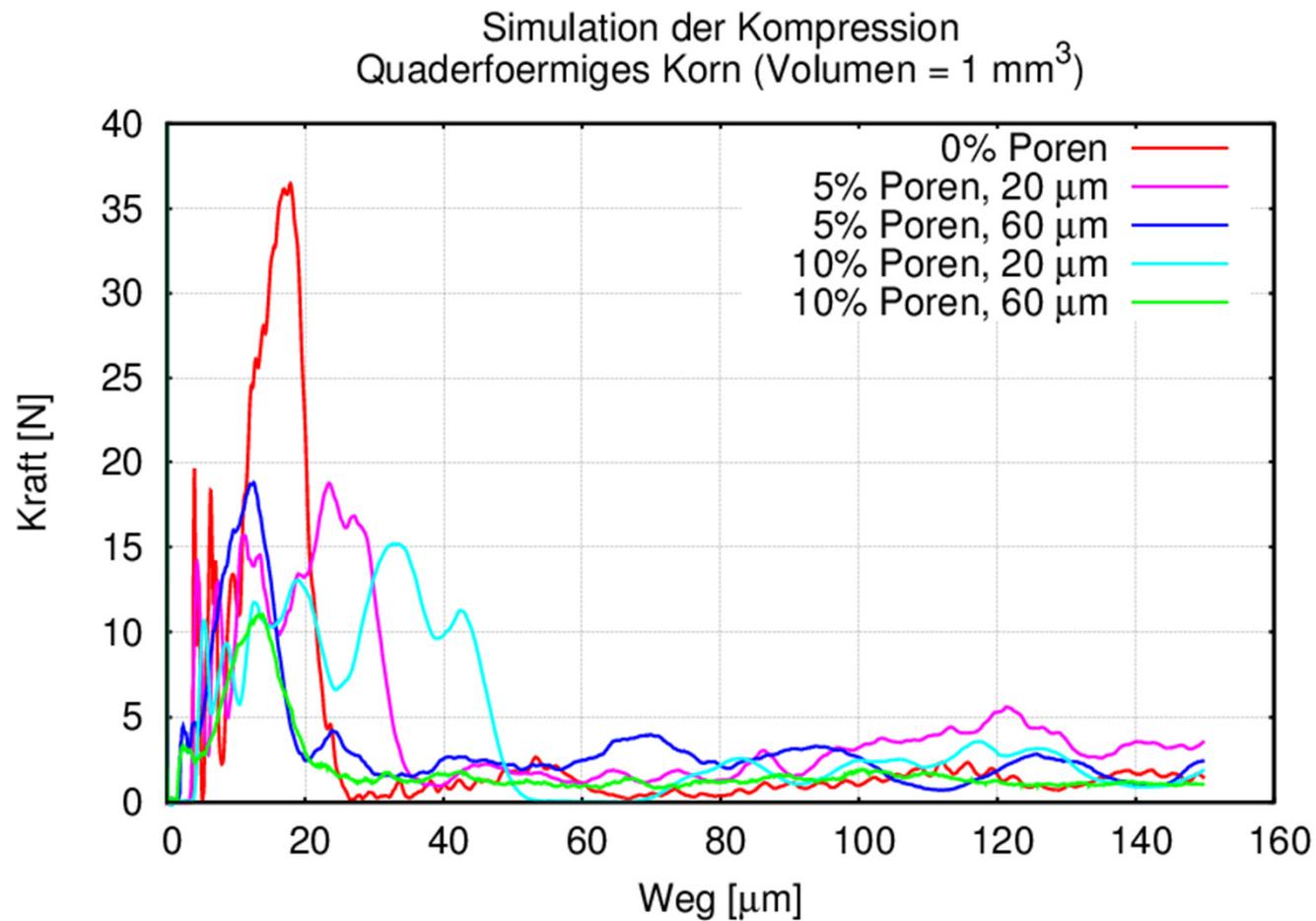
STL: Standard Triangulation Language



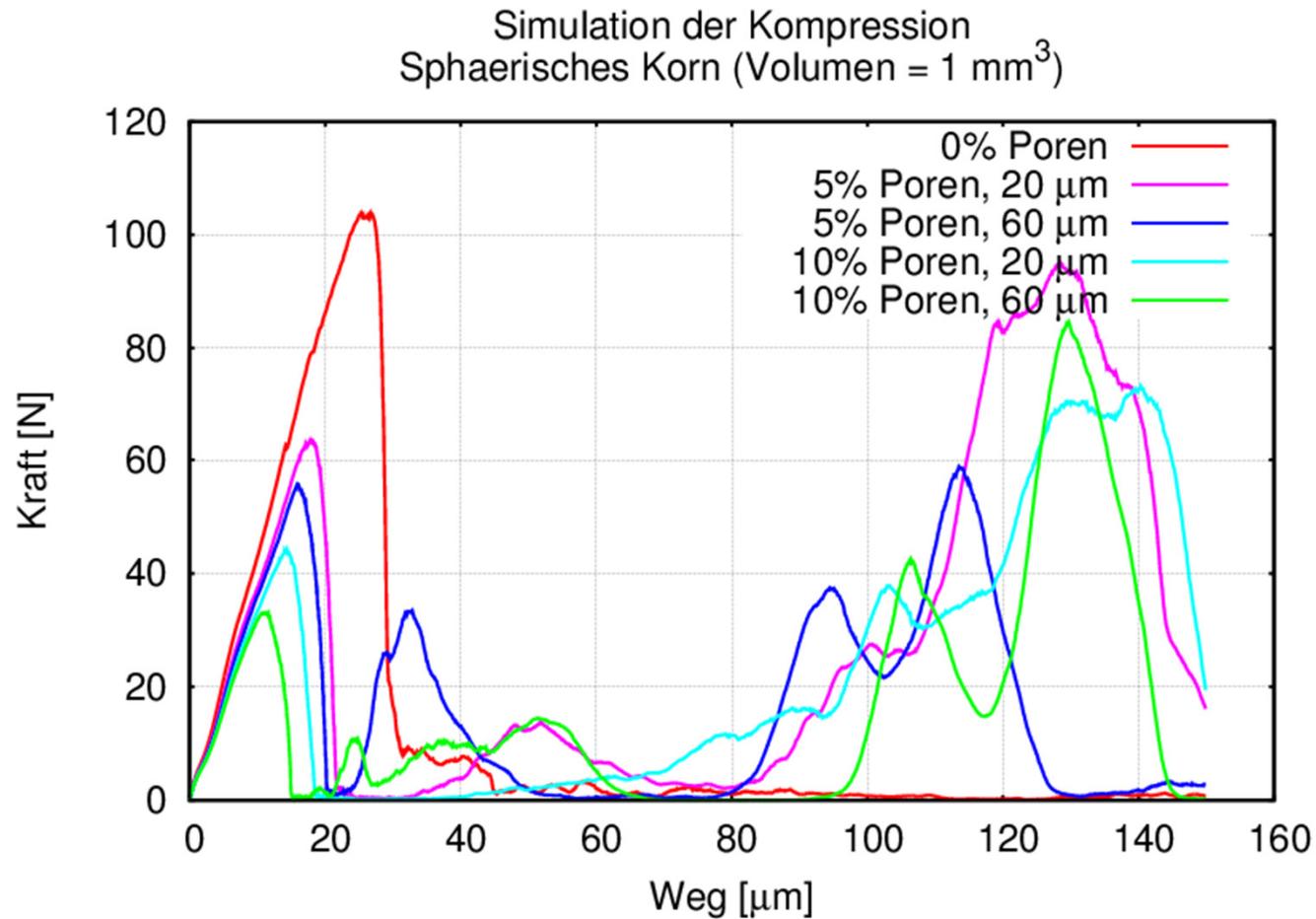
Rechnerischer Zusammenhang Porosität/Porengröße und Zerkleinerungsenergie



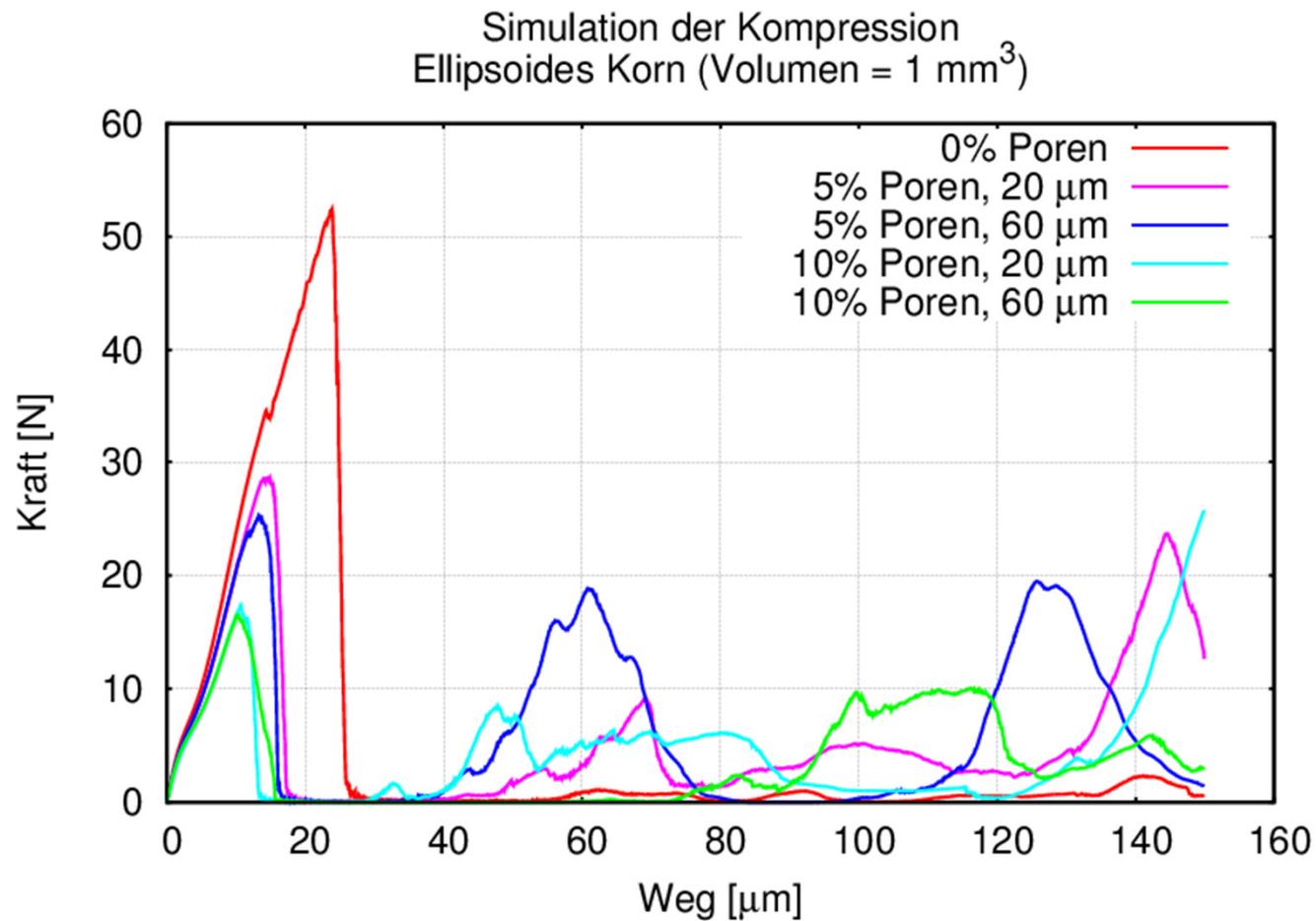
Rechnerischer Zusammenhang Porosität/Porengröße und Zerkleinerungsenergie



Rechnerischer Zusammenhang Porosität/Porengröße und Zerkleinerungsenergie



Rechnerischer Zusammenhang Porosität/Porengröße und Zerkleinerungsenergie



Derzeitige Zusammenfassung

- sehr unterschiedliche Kraftniveaus beim primären Druckversagen
(Quader: 35 N, Kubus 600 N)
- sehr unterschiedlicher Kraftverlauf über die Weglänge
(Kugel: starker Anstieg, Kubus: kein Anstieg)
- generell gilt: Porosität mindert benötigte Bruchkraft
- generell gilt: Bei konstanter Gesamtporosität senken größere Poren die benötigte Bruchkraft im Vergleich zu kleineren Poren

1.80 (4.25) Granulationstechnik

Rotating Cup-Demonstrator in Linz

- **FFG-FV (01.03.16-28.02.19)**
**"Forschungsvorhaben zur Wärmerück-
gewinnung mittels Trockenschlacke-
granulation - FORWÄRTS 2.0"**
- **Partner: Voestalpine, Primetals, MU Leoben**



Bild: Primetals 2018

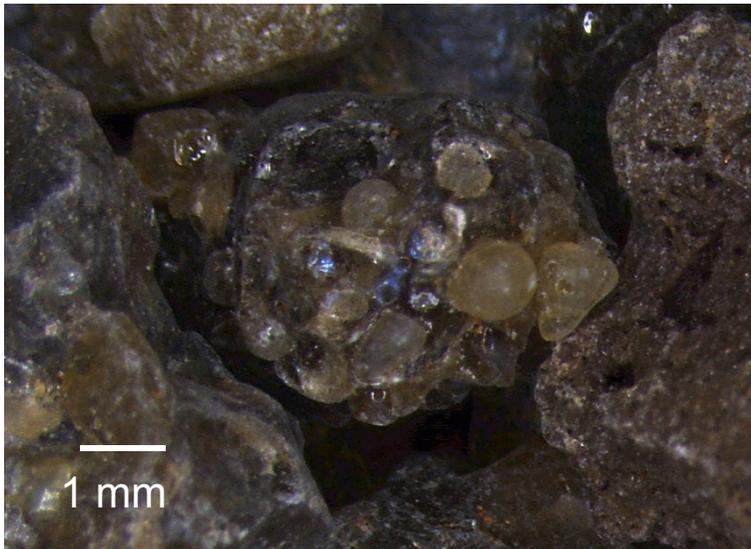
DSG-Pellets

Nur Mischproben mit Hüttensand + Agglomeraten etc. verfügbar



DSG-Pellets

Anteil > 4 mm (14 M.-%) der Mischprobe LZ 6757 abgesiebt



Agglomerate

Kristalline HOS



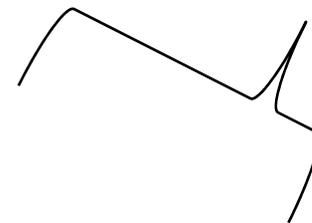
DSG-Pellets

Anteil < 4 mm (86 M.-%) der Mischprobe LZ 6757 manuell separiert

nur 37% der Gesamtprobe



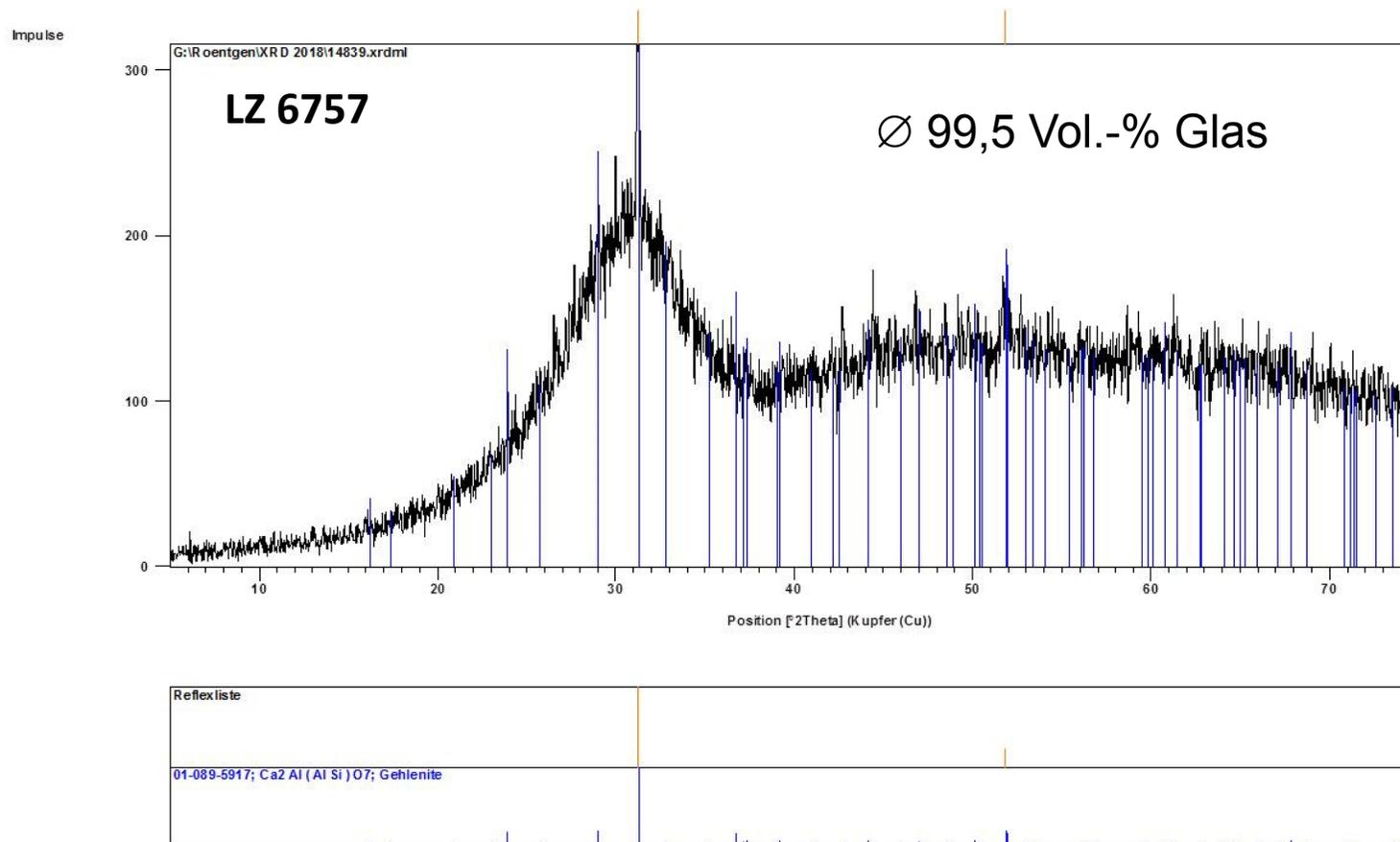
< 1,0 mm
(26 M.-%)



> 2,0 mm
(23 M.-%)

Glasegehalt der DSG-Pellets

Auch Mischprobe LZ 6757 zeigt hohen Glasegehalt



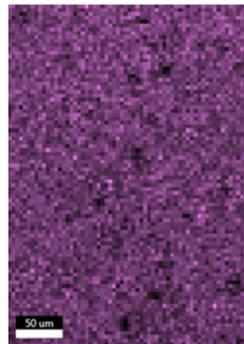
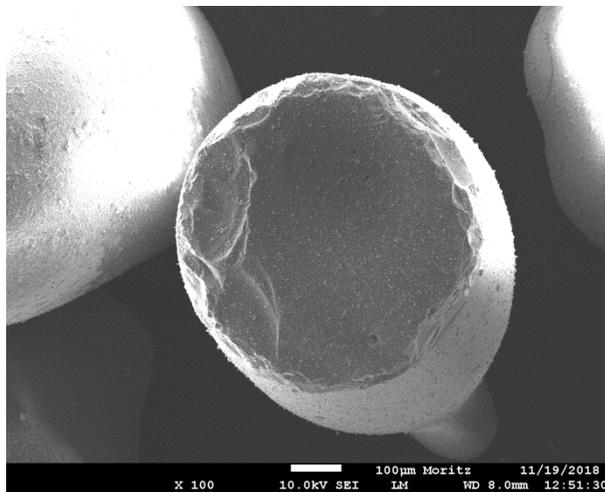
Chemische Zusammensetzung der DSG-Pellets

Abstichbedingte Unterschiede Mischprobe/DSG-Pellets

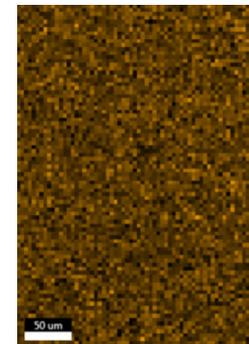
[M.-%]	LZ 6757 Mischpr.	DSG-Pellets > 2 mm	HS 1 HO A	HS 2 HO A
SiO ₂	37,6	38,5	39,2	38,0
Al ₂ O ₃	11,1	11,0	11,2	12,4
CaO	35,0	35,2	33,9	33,7
MgO	10,5	11,0	10,4	11,3
FeO	0,41	0,35	0,28	0,32
MnO	1,34	1,29	1,29	1,48
TiO ₂	0,52	0,51	0,57	0,61
Na ₂ O	0,38	0,34	0,45	0,44
K ₂ O	1,16	1,15	1,51	1,98
S ²⁻	0,97	0,89	0,71	0,63
C/S	0,93	0,91	0,87	0,89
(C+M)/S	1,21	1,18	1,13	1,18
F-Wert	1,33	1,30	1,25	1,32

Chemische Zusammensetzung der DSG-Pellets

LZ 6757 (< 1 mm): REM/EDX-Untersuchungen



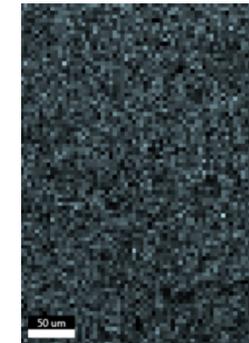
Si



Ca



Mg



Al

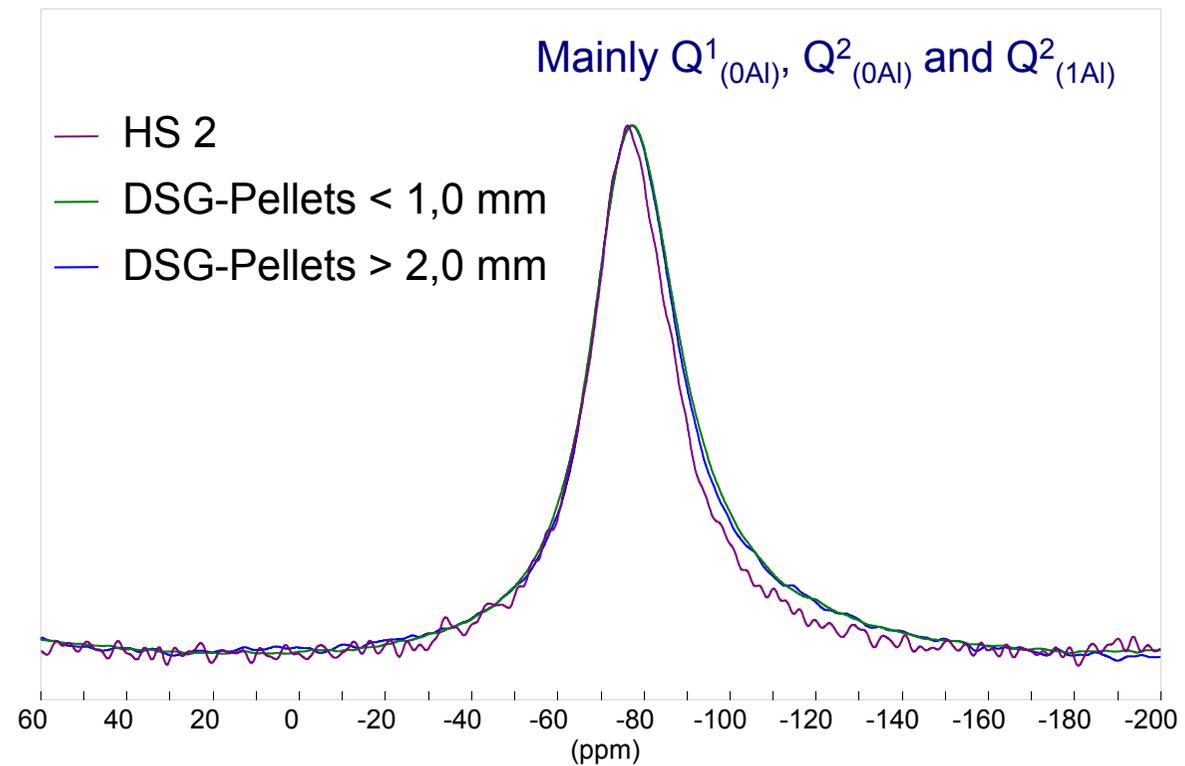
→ homogene chemische Zusammensetzung

Glasstruktur DSG-Pellets LZ 6757

^{29}Si -MAS-NMR-Analysen



^{29}Si MAS

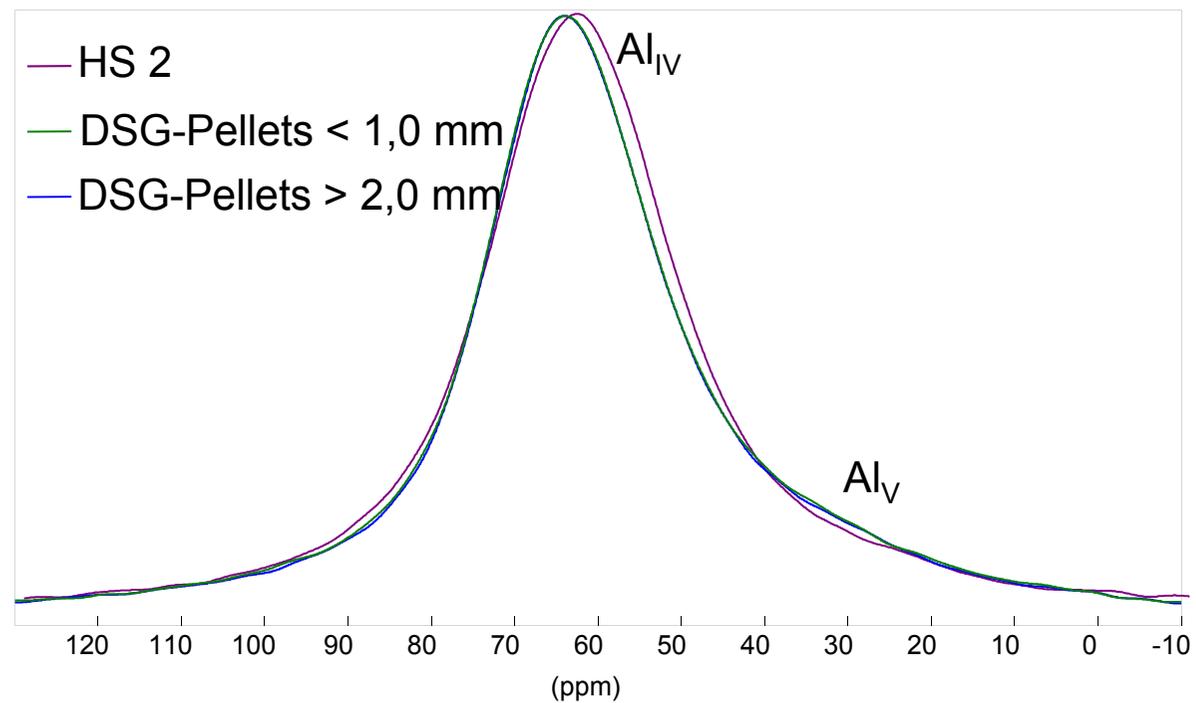


Glasstruktur DSG-Pellets LZ 6757

^{27}Al -MAS-NMR-Analysen



^{27}Al MAS



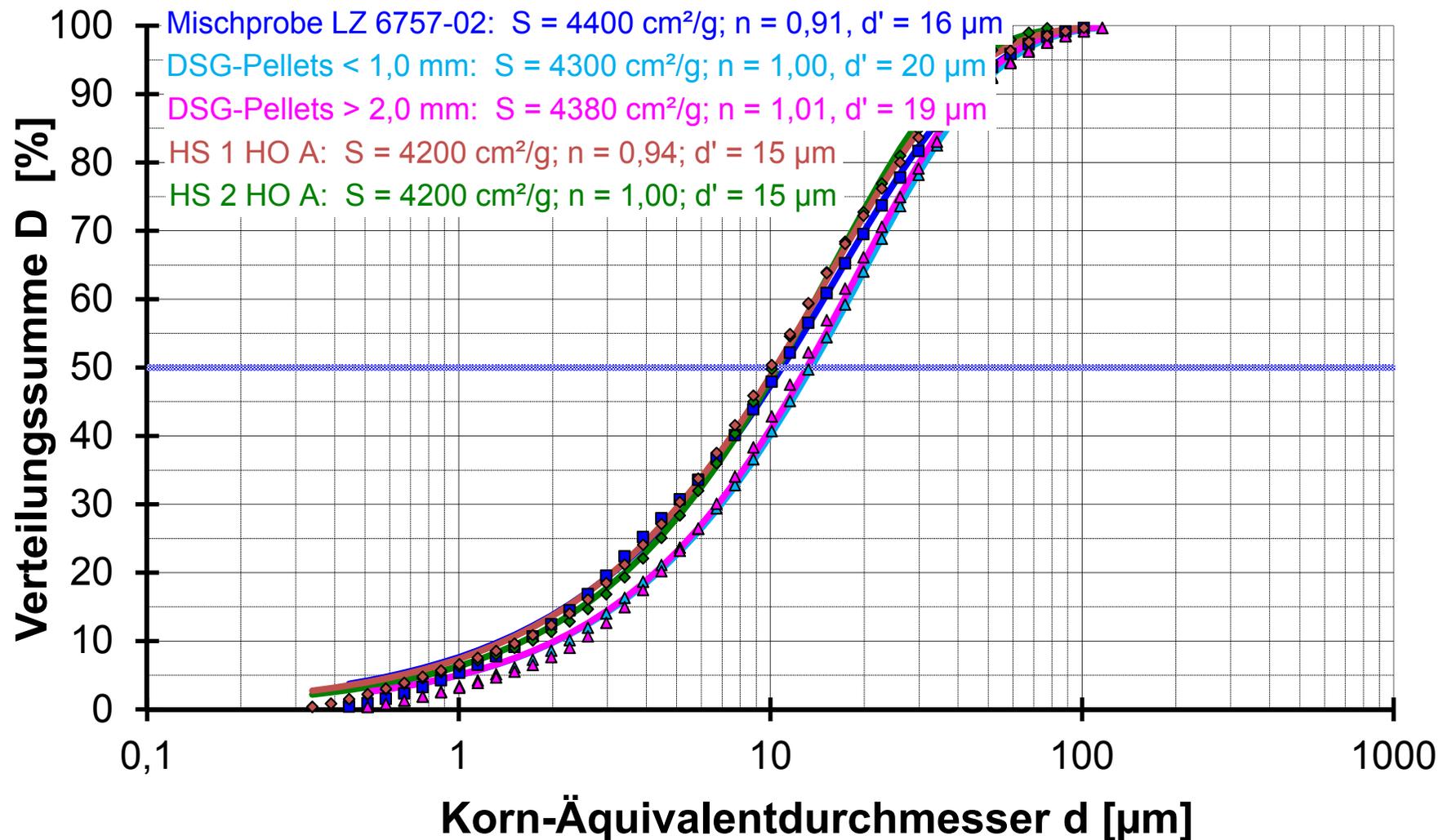
Glasstruktur DSG-Pellets LZ 6757

MAS-NMR-Analysen

- Keine Unterschiede in der Si- und Al-Koordination zwischen Hüttensand 2 und den DSG-Pellets
- Keine Unterschiede zwischen größeren und kleineren DSG-Pellets
- Ganz überwiegend Al_{IV}

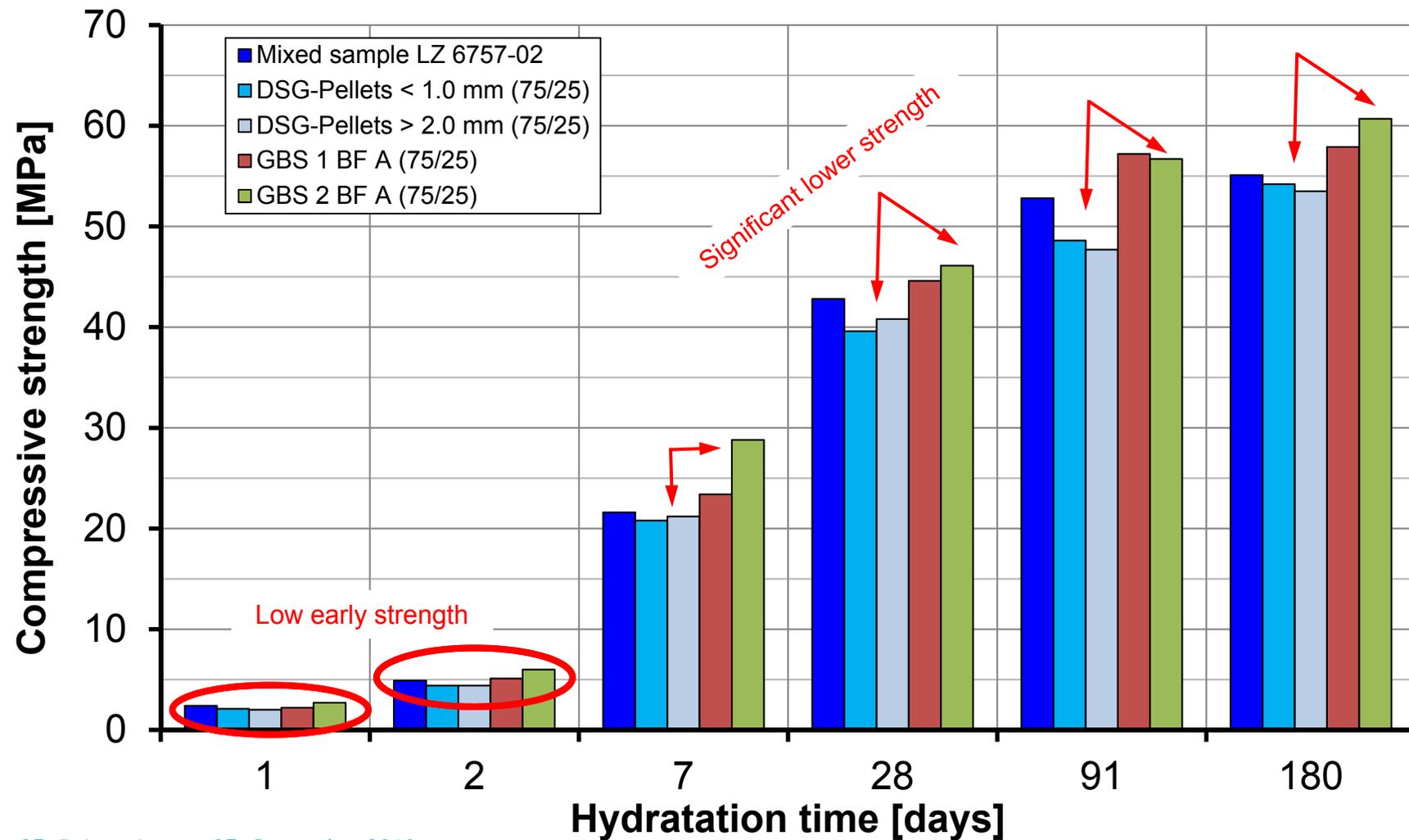
Zementtechnische Eigenschaften

Mahlung LZ 6757



Zementtechnische Eigenschaften

Mörtelversuche LZ 6757



1.80 Forschungsvorhaben zur Wärmerückgewinnung mittels Trockenschlackegranulation - FORWÄRTS 2.0

Fazit (Abschlussmeeting 13.03.2019)

DSG-Pellets

- Hoher Anteil agglomerierter Partikel
- Hohe Glasgehalte möglich, auch bei agglomerierten Anteilen, d.h. die Basis für das latent-hydraulische Verhalten ist gegeben
- Reaktivität der "reinen" DSG-Pellets (Mörtelfestigkeiten, Hydratationswärmentwicklung) ist erkennbar niedriger als bei vergleichbarem Hüttensand (Gegenteilige Publikationen - Bauhausuniversität Weimar, Loesche, Primetals-basieren auf der Untersuchung der hüttensanddominierten Mischproben)
- Deutlichster Effekt bei hüttensandreichen Zementen
- NMR-Analysen zeigen keine Unterschiede in der Koordination zwischen Hüttensand und DSG-Pellets
- Handlings- und Mahlbarkeitsfragen offen (kugelförmige und porenarme Partikel)

Ausblick

- 15. ICCC in Prag
- Übersicht FEhS-Projekte



15. International Congress on the Chemistry of Cement Prag, 16.-20.09.2019

- 664 Teilnehmer aus aller Welt (86 aus VR China)
- 263 Präsentationen, 6171 Slides (3 FEhS-Vorschläge bei 779 "accepted abstracts" → 2 reguläre Vorträge + 1 "Best Poster"-Vortrag)
- Nur etwa 10 Beiträge, sich spezifisch mit EhS beschäftigten
- Keiner bot überraschende Neuigkeiten → Arbeit des FEhS-Instituts ist auf aktuellem Stand (oder weiter ...)



