

Mineralische Reststoffe und Nebenprodukte als Bestandteile reaktiver Bindemittelkomponenten

Leoben, 10.11.2022

Florian Steindl, Klaus Doschek-Held,
Joachim Juhart, Dominik Wohlmuth
und Florian Mittermayr



Beton und Zement im 21. Jahrhundert

- Portlandzement:
7% der CO₂-
Emissionen



- Verknappung von
Zementzusatzstoffen
(Hüttensand, Flugasche)



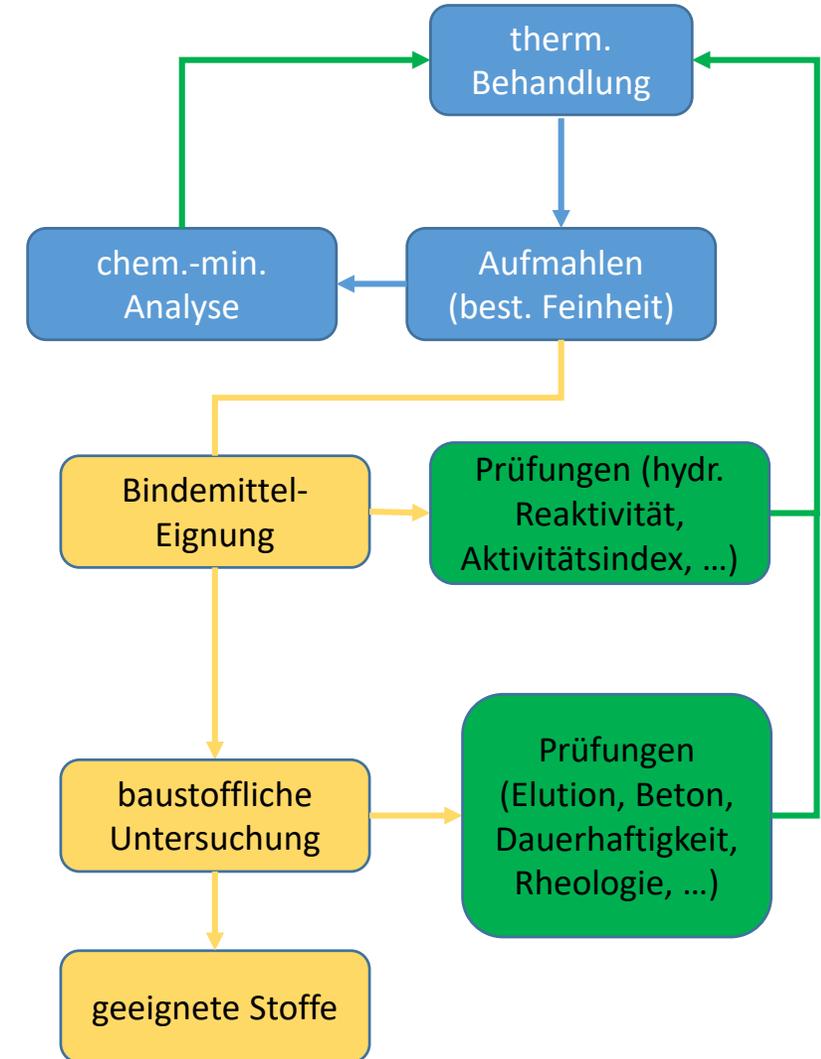
nd 2.0
ag“



- Vermehrtes
Zementabfallstoffe →
(Mineralfasern,
Kompositzement bzw.
Stahlschlacken)
Bindemittel

Das US-B-Projekt - Ziele

- Thermische Verwertung von (Hütten)reststoffen
- Upcycling zu reaktiven Bindemittelkomponenten
- Mineralogische und Bauchemische Prüfungen
- „Hüttensand 2.0“ als Bindemittelkomponente

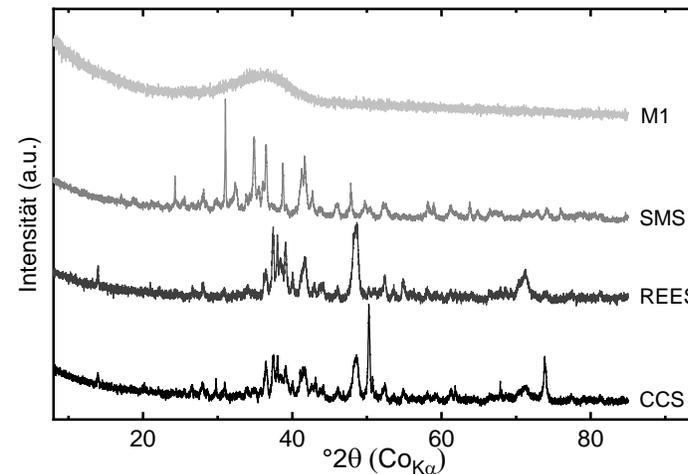
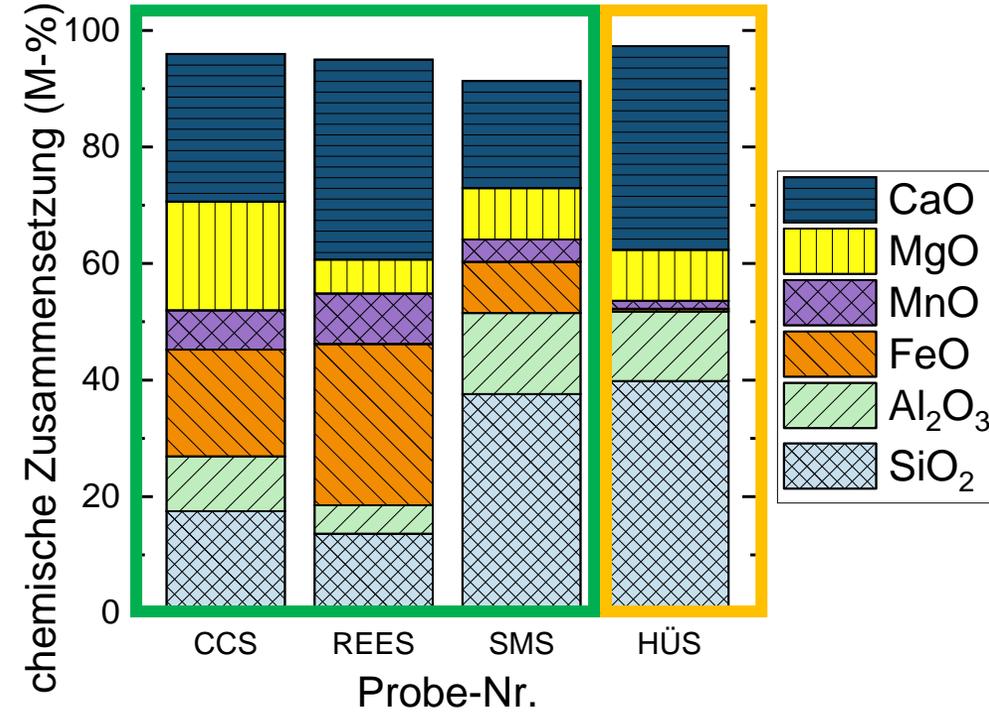


4 Ausgangsstoffe

- Stahlschlacken, Steinwolleabfälle
- unpassende Chemie, chemisch weit entfernt von „normalem“ Hüttensand



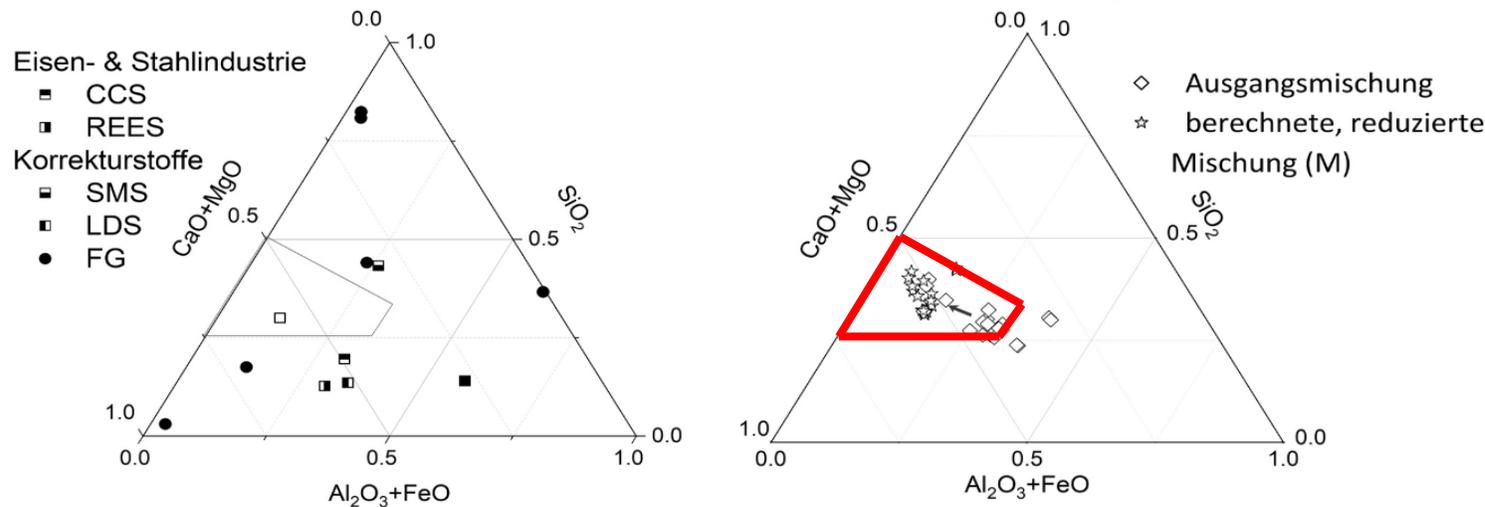
- geringe Glasgehalte <25 M% → geringe Reaktivität, als Bindemittel ungeeignet



Ca-Silikate,
Ca-Ferrate usw.

Thermische Aufbereitung

- Mischungsberechnung
Reststoffe + Korrekturstoffe



- Thermische Behandlung,
Nassgranulierung,
Metallabscheidung,
Mahlen auf gleiche Feinheit

Stoffanalysen – Überblick

- Chemisch-mineralogisch

- Bindemittleignung (Reaktivität)

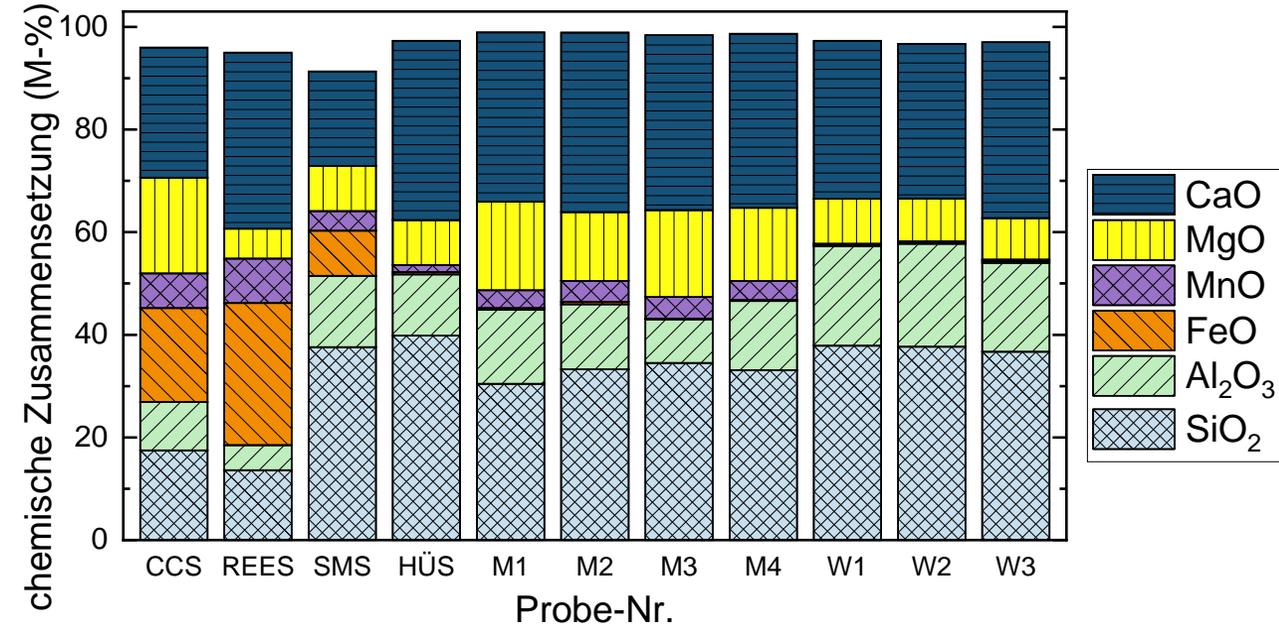
- Baustoff:

- Beständigkeit
- Auslaugung gefährlicher Stoffe

Eigenschaft	Kriterium	Anmerkung
gemäß EN 15167, ÖN B 3309-1/2 und Literaturrecherche		
CaO+MgO+SiO ₂	M-% > 2/3	üblich 75 bis >90
CaO/SiO ₂	1-1,5	zu hoch → Freikalk bzw. nicht glasig
(CaO+MgO)/SiO ₂	>1,0	bis 1,6
F-Wert nach Keil ⁵⁾	≥1,5	auch aktuelle HÜS <1,5
Glasgehalt	M-% > 2/3	besser >90% (angestrebt)
MgO	≤18 M-%	Obergrenze für Aufbereitung, <12 M-%?
MnO, FeO	mögl. niedrig	Metallrückgewinnung
Erstarrungsbeginn	≤200 %	mögl. niedrig
Aktivitätsindex nach 28 Tagen	≥90%	mögl. hoch
R ³ Hydratationswärme Schlacke	>250 J/g	R ³ -Reaktivitätstest

Chemie/Mineralogie aufbereiteter Reststoffe

- Störstoffabtrennung
 - FeO-Abtrennung: >98%
 - MnO-Abtrennung: >40%
- Hauptkomponenten
 - Chemie angepasst
 - CaO/SiO_2 **0.8-1.1**, $(\text{CaO}+\text{MgO})/\text{SiO}_2$ **1.0-1.7**, $\text{CaO}+\text{MgO}+\text{SiO}_2 > 75 \text{ M-\%}$
 - MgO und Al_2O_3 : Kompromiss zwischen Ober- und Untergrenzen und Ausgangsstoffe
 - Glasgehalt **>99 M-%**
 - **Bewertungsschema eingehalten!**

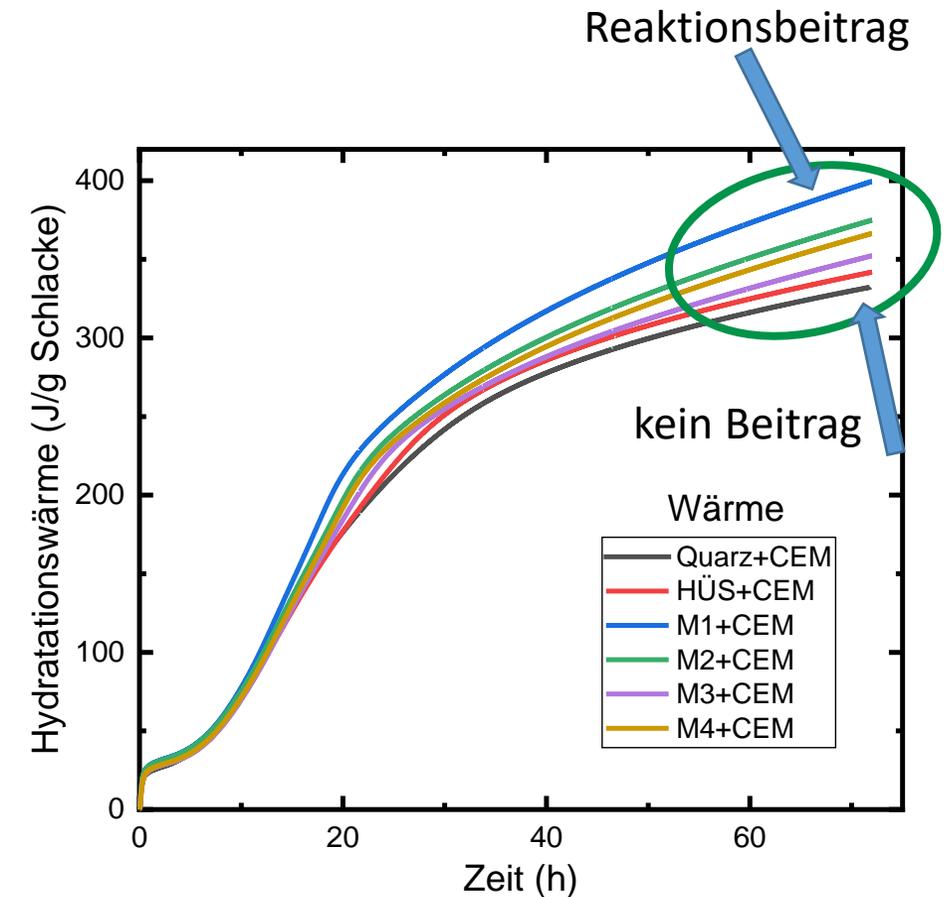


Erstarrungsverhalten

- Untersuchung der Erstarrungsreaktion in Kombination mit reinem Zement
- Quarz, Hüttensand: geringer Beitrag zur frühen Zementreaktion (bis 72h)
- aufbereitete Reststoffe: deutlich höherer Beitrag!

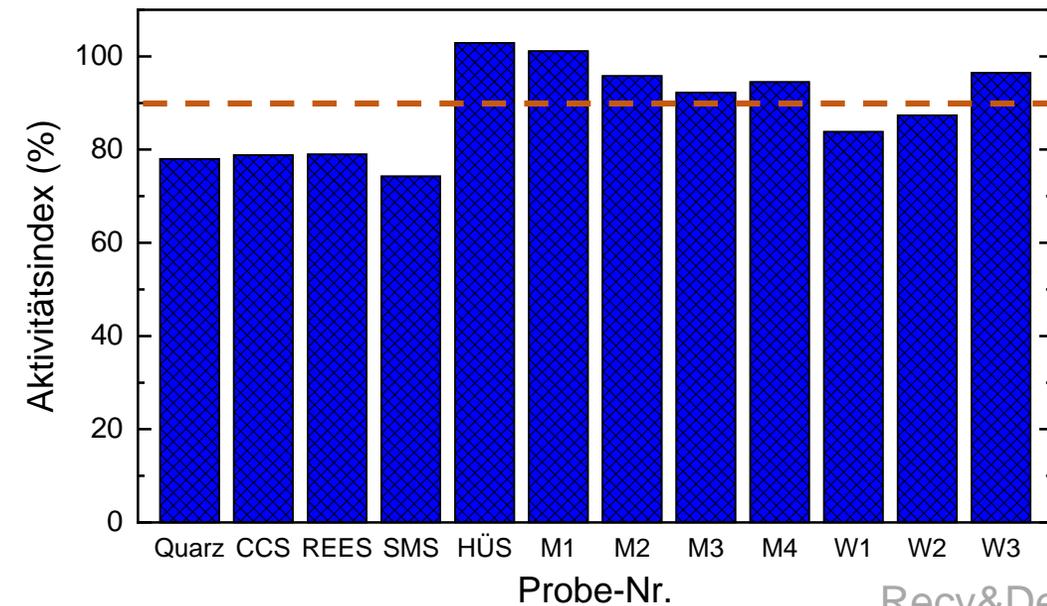


isothermes Kalorimeter:
Messung der freigesetzten
Reaktionswärme



Aktivitätsindex

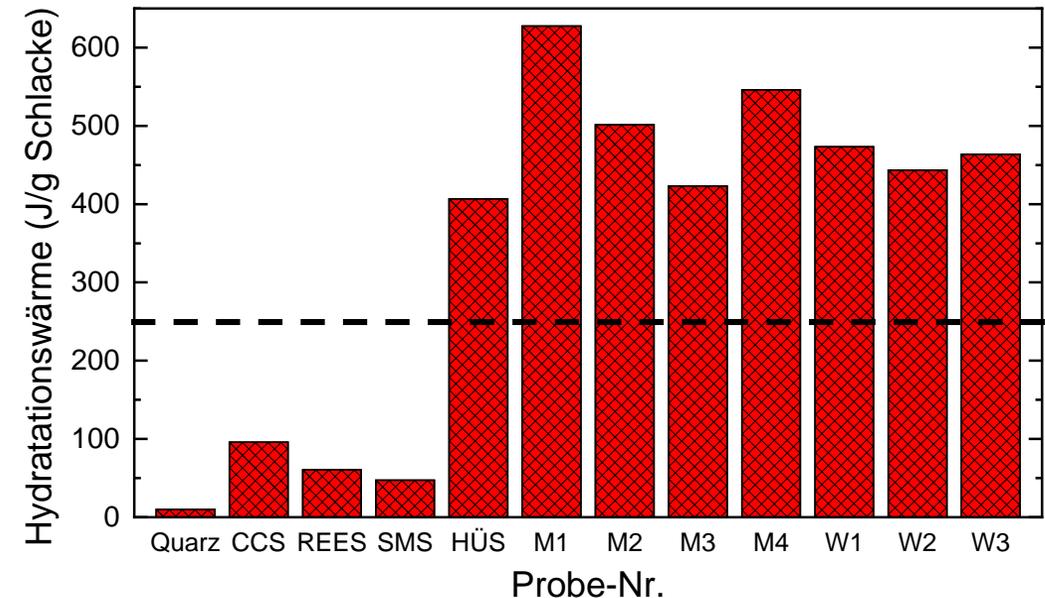
- nach ÖNORM B 3309-1
- Mischung von 75% reinem Zement und 25% Schlacke
→ Vergleich der Festigkeit nach 28 Tagen mit 100% Zement
- Ergebnisse: zufriedenstellende Aktivität (>90%) bei Großteil der aufbereiteten Proben



Reaktivität

- Reaktivität bestimmt mit R³-Prüfung (Rilem-Komitee 267)
- Kalorimetrische Messung der freigesetzten Hydratationswärme bei Reaktion im Zementsystem
- Ergebnisse: hohe freigesetzte Hydratationswärme (> 250 J/g Schlacke) der aufbereiteten Stoffe

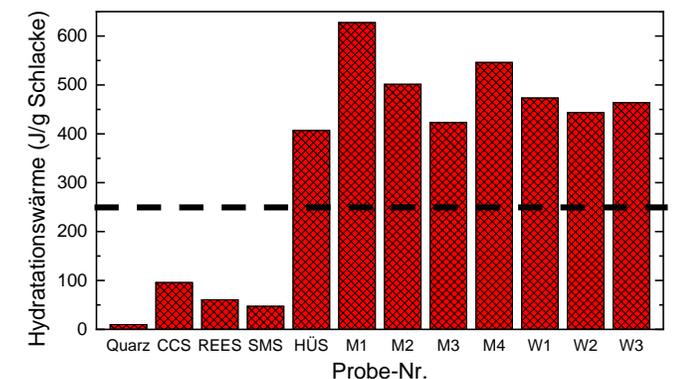
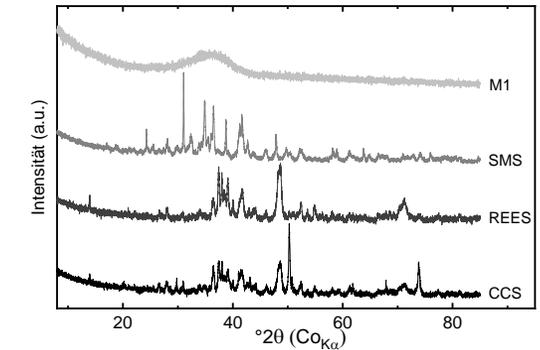
Vorteile der R³-Prüfung
rapid (7 Tage Prüfzeit)
relevant (Maß für Reaktivität)
reliable (Wiederholgenauigkeit)



Stoffanalysen – Aufbereitung

- untersuchte Hüttenreststoffe wenig reaktiv
- erfolgreiches Upcycling von Hüttenreststoffen
Reaktivität und Chemie ähnlich zu kommerziellem Hützensand
- Fraktionierung in rückgewonnenes Wertmetall und hydraulisch reaktive “Up-Slag” als “Hützensand 2.0”

→ Anpassung der chemischen Zusammensetzung?
→ gezielte Optimierung der Hützensand-
Performance

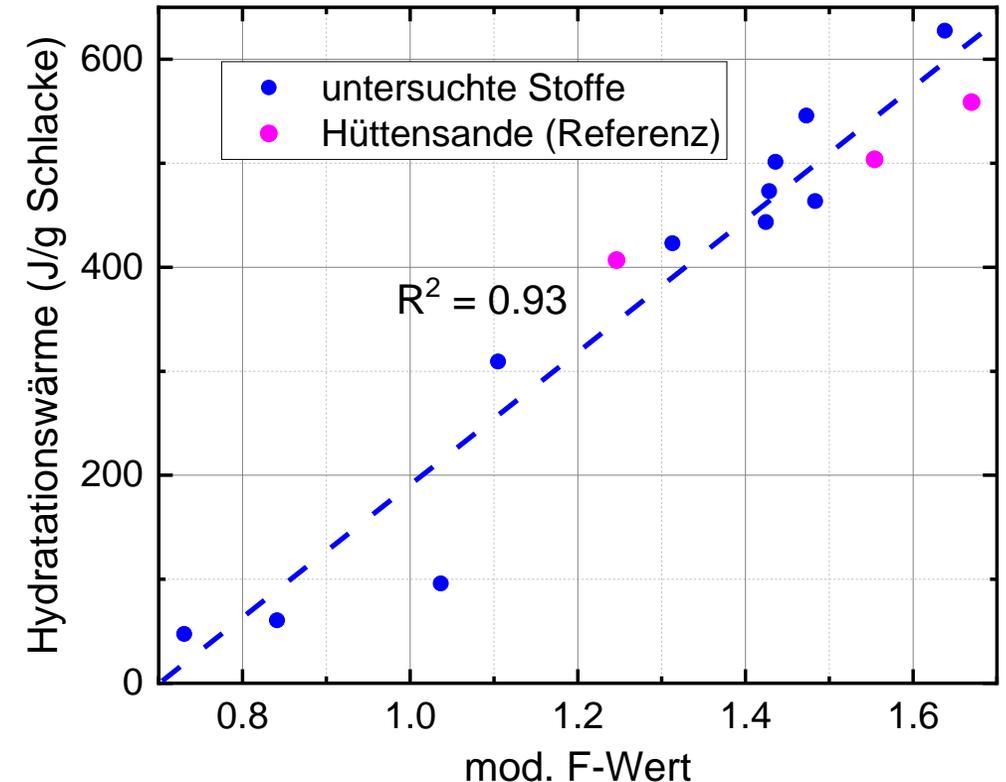
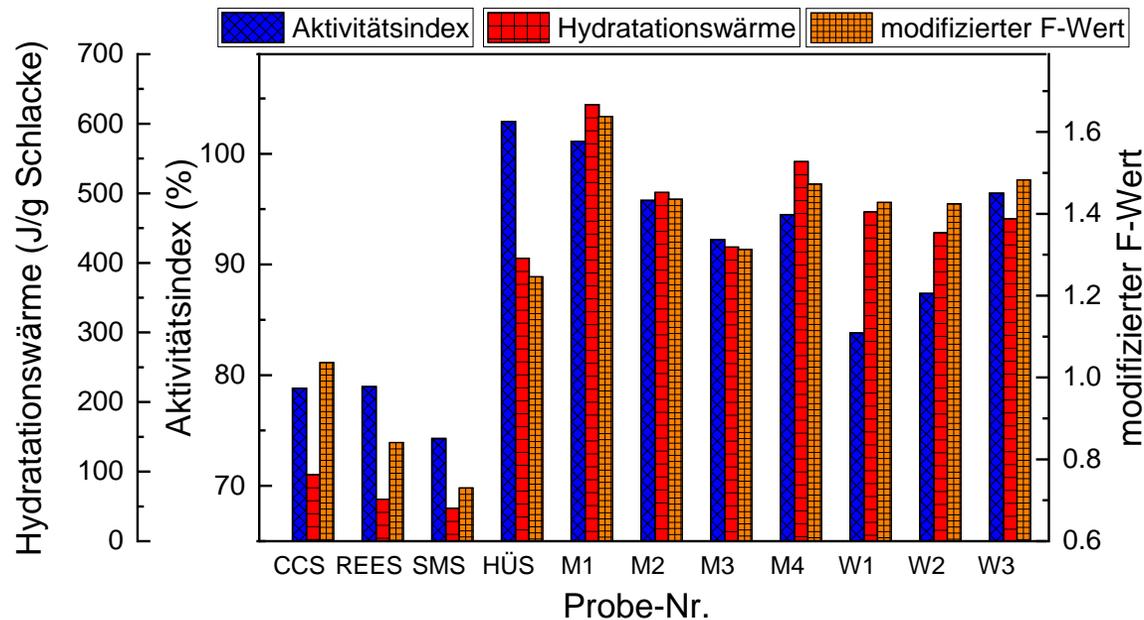


Ergebnisvergleich

- Korrelation Hydratationsenergie – Aktivitätsindex - Chemie

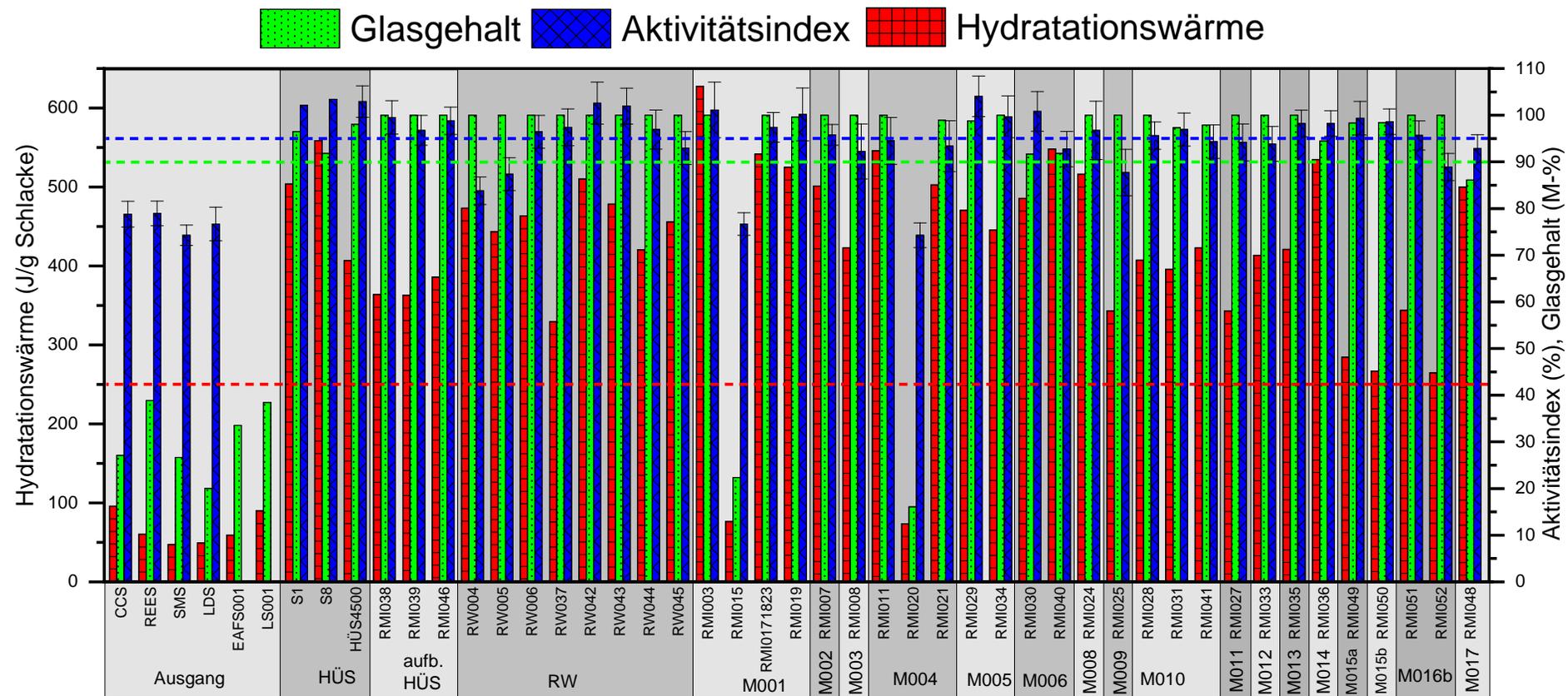
modifizierter F-Wert (nach Keil)

$$F = \frac{CaO + 0,5 * MgO + Al_2O_3}{SiO_2 + MnO + FeO}$$



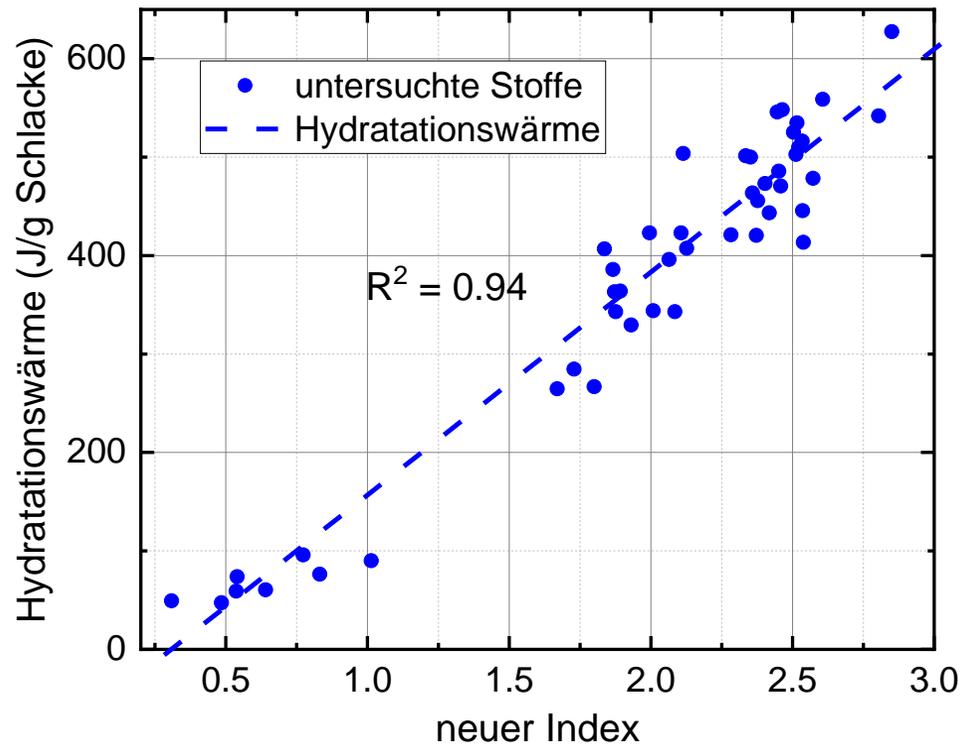
Ausblick und Erweiterung

- Korrelation Hydratationsenergie – Aktivitätsindex - Chemie



Ausblick und Erweiterung

- Korrelation Hydratationsenergie – Aktivitätsindex - Chemie

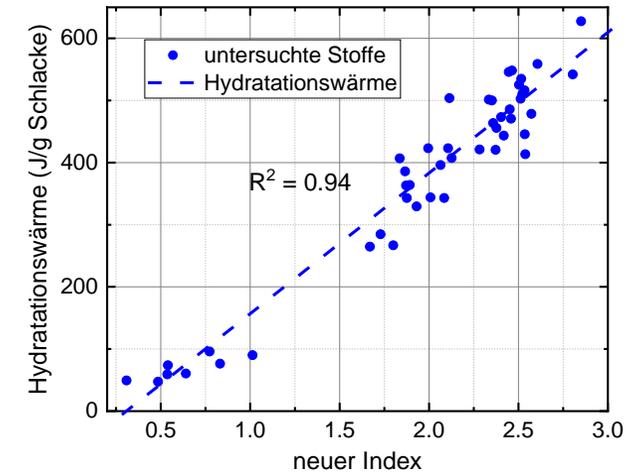


Vorschlag neuer Reaktivitätsindex R_s :
(alles in M-%)

$$R_s = \frac{0,87 * CaO + 1,62 * MgO + 2,61 * Al_2O_3}{SiO_2 + 0,62 * FeO + 0,71 * MnO} * \text{Glasgehalt}^{0,83}$$

Reaktivitätsbewertung von Reststoffen

- durch ausreichend große Grundgesamtheit
→ Rückschlüsse von Chemie und Mineralogie auf Reaktivität möglich
- Abschätzen der Eignung von Reststoffen als Bindemittelkomponenten möglich
- gezielte Optimierung von „Hüttensand“-Leistungsfähigkeit durch gezielte Anpassung der chemischen Zusammensetzung
- Ausweitung auf andere Reststoffkombinationen in Greifweite!



Danksagung



→ Wirtschaft, Tourismus,
Wissenschaft und Forschung

ZUKUNFTSFONDS
STEIERMARK



Auslaugverhalten (Extra)

- Elution nach EN 12457-4:
 - 24h Elution von gebrochenem erhärtetem Mörtel
 - analysierte Elemente unauffällig und unter RBV-Grenzwerten

- Elution nach EN 15863:
 - Elution von Mörtel-Bohrkernen mit regelmäßigem Lösungswechsel
 - typische Spurenelemente (z.B. Cr, V, Zn) unproblematisch

Analyt	Einheit	RMI_014	RMI_022	RMI_24	RMI_25	RMI_26	75125_HoS
pH	-	12.6	12.6	12.7	12.6	12.6	12.6
LF	mS/cm	7.8	7.3	7.7	6.9	7.9	7.3
Ba	mg/kg TM	11.9	11.6	9.8	9.2	11.3	12.8
Co		0.3	0.3	0.4	0.6	0.4	0.3
Cr		< 0.01	0.3	< 0.01	0.3	< 0.01	0.3
Cu		0.3	< 0.01	< 0.01	0.4	0.2	< 0.01
Fe		7.0	1.3	3.5	2.1	2.3	2.9
Li		1.1	1.2	1.1	0.9	1.2	1.5
Ni		< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05
P		< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1
Pb		< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05
Sr		56	60	49	52	53	54
Zn		6.3	5.1	6.4	6.3	6.2	6.2

