



01.05.2021 - 31.08.2025

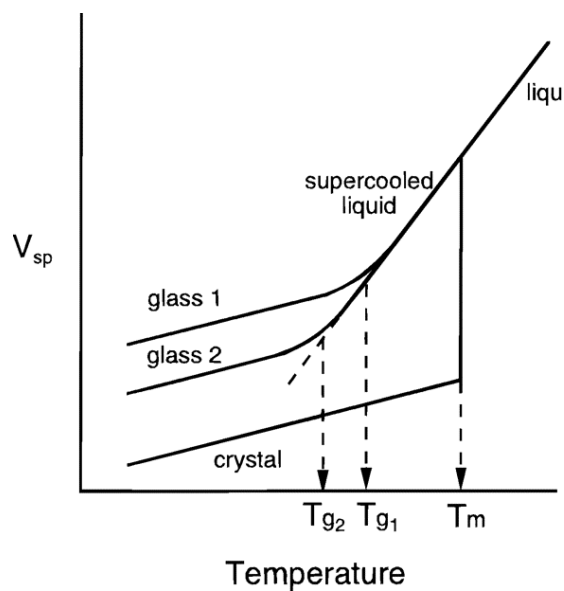
Schaffung einer alternativen Verwendung einer auf DRI-Basis  
erzeugten Elektroofenschlacke für die Zementindustrie zur  
Verringerung der CO<sub>2</sub>-Emissionen

Gefördert durch:

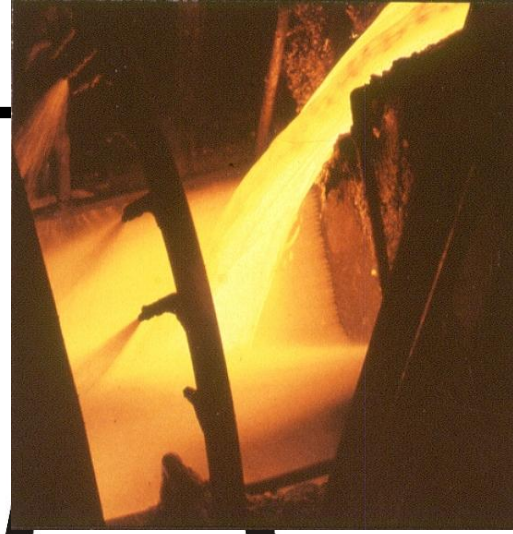


David Algermissen, Dr. Andreas Ehrenberg, Dominik Ebert, Dr. Volkert Feldrappe (*FEhs – Institut für Baustoff-Forschung e.V., Duisburg*)  
Ankur Gaikwad, Dr. Daniel Maga (*Fraunhofer-Institut UMSICHT, Oberhausen*)  
Gökhan Karagülmez, Professor Dr. Rüdiger Deike, Julian Kuschewski (*Universität Duisburg-Essen – Institut für Technologien der Metalle, Duisburg*)  
Dr. Jannes König (*Heidelberg Materials AG, Heidelberg*)  
Dr. Daniel Schubert, Dr. Julian Suer (*thyssenkrupp Steel Europe AG, Duisburg*)

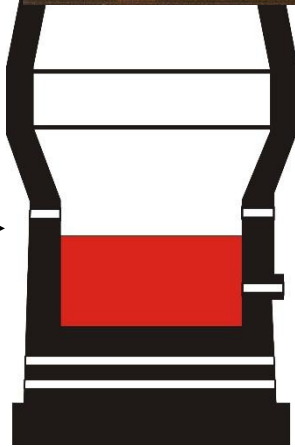
# Projektmotivation



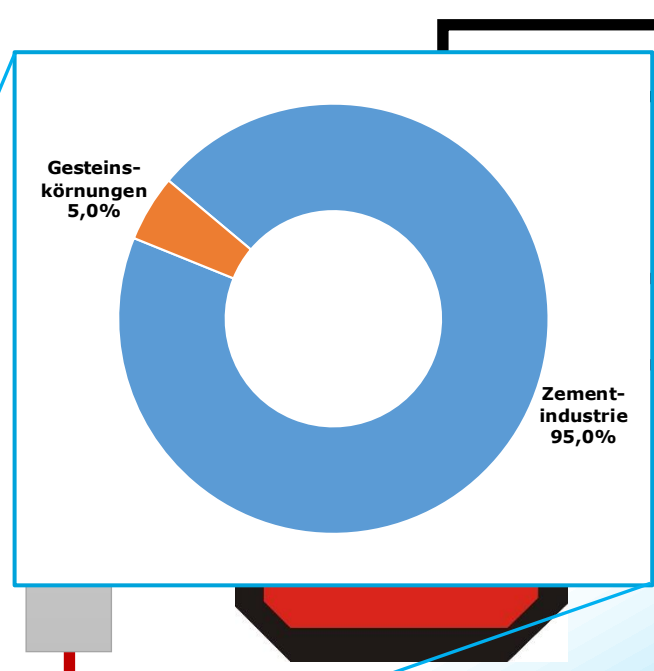
Ref.: M.D. Edinger et al.: Supercooled Liquids and Glasses. J. Phys. Chem. 1996, 100, 31, 13200-13212



Sauerstoff



Hochofenschlacke  
Roheisen



Schrott



Abgas

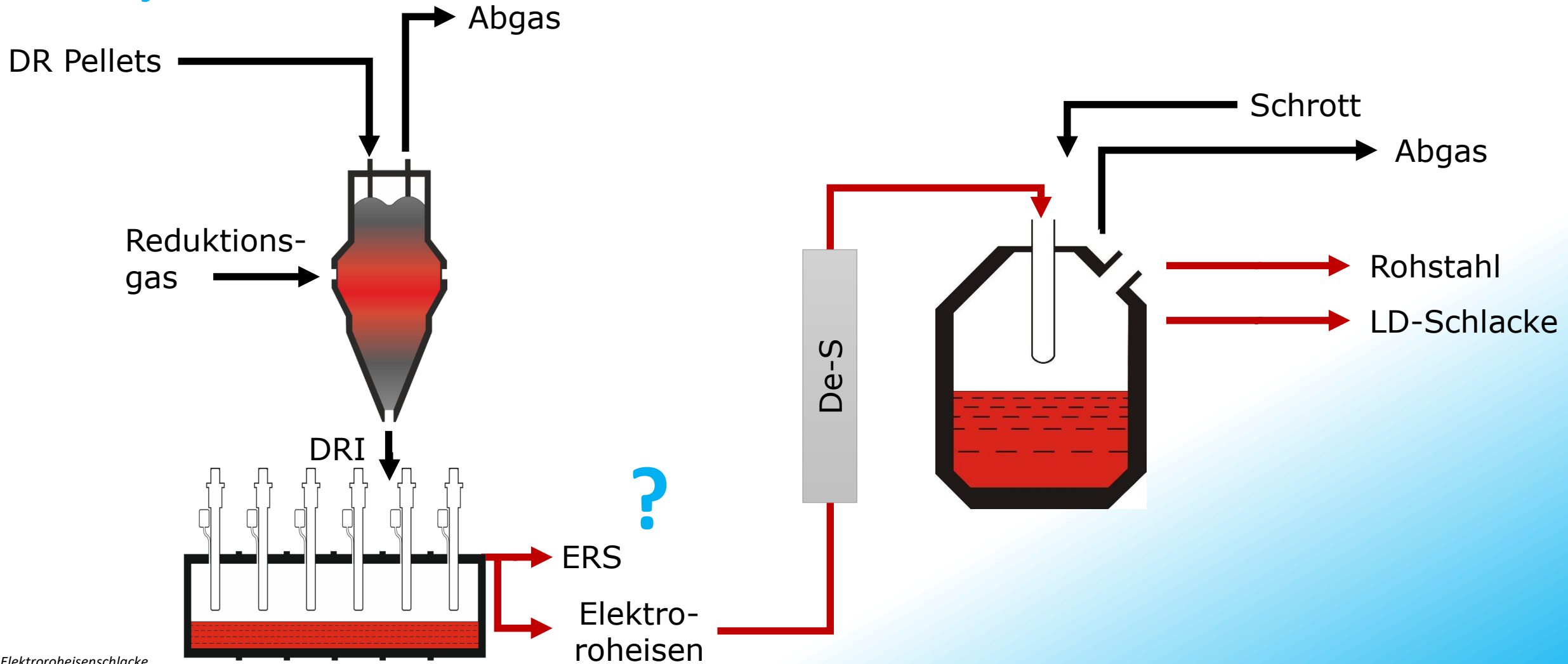


Rohstahl



LD-Schlacke

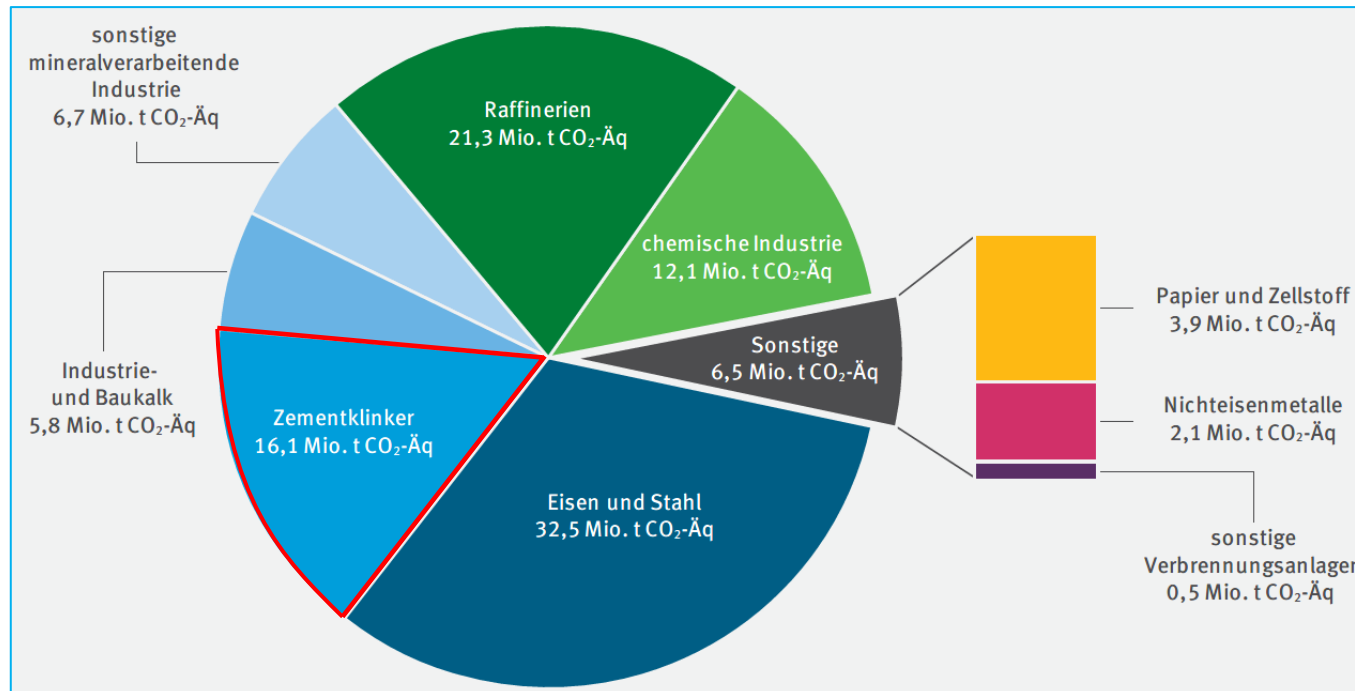
### Projektmotivation



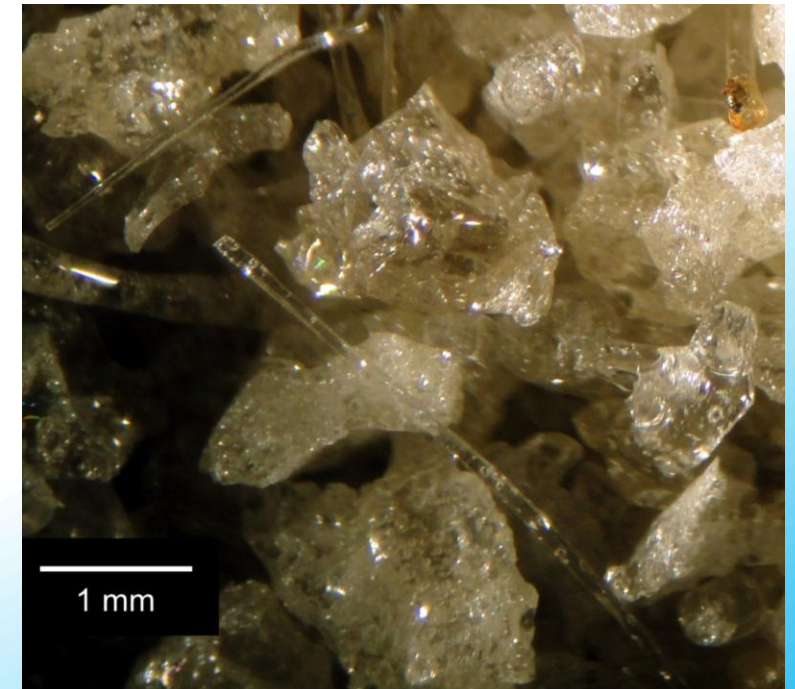
ERS: Elektro-roheisenschlacke

## Der Vorteil von Hüttensand

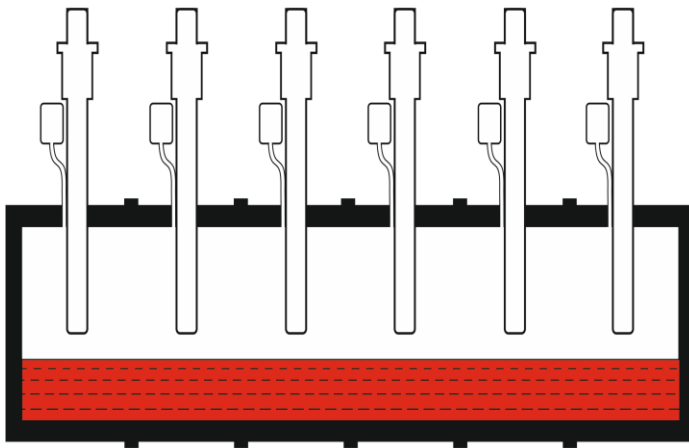
- Zementindustrie ist für 5-8 % der anthropogenen CO<sub>2</sub>-Emissionen verantwortlich
- Emittieren von ca. 800 kg CO<sub>2</sub> je Tonne Portlandzementklinker (davon 60 % unvermeidbar rohstoffbedingt)
- Verwendung von Hüttensand senkt CO<sub>2</sub>-Fußabdruck um rd. 4,6 Mio. t/a (also über 20 % der zementbedingten Emissionen) sowie den Bedarf natürlicher Rohstoffe um rd. 12 Mio. t/a



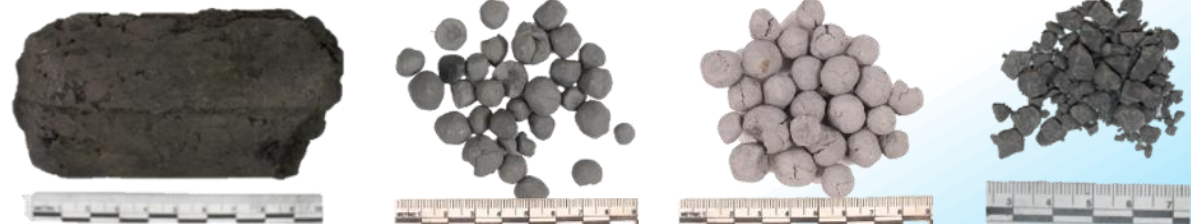
Quelle: UBA (2024): Deutsche Emissionshandelsstelle, Treibhausgasemissionen 2023



## Überblick



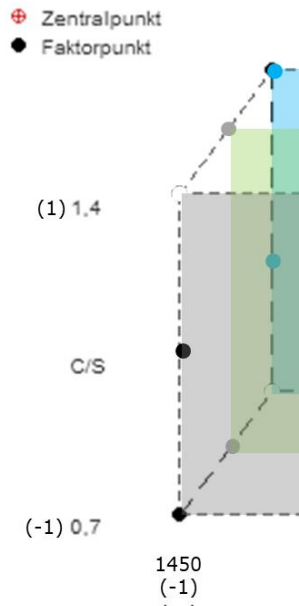
- Weltweit keine Erfahrung in diesem Maßstab zur Herstellung von Eisen und Stahl
- Hauptsächlich als Einschmelzaggregat (kaum metallurgische Schlackenarbeit im Vergleich zum EAF)
- Schlacke hängt von der Gangart des DRI ab (DRI von geringerer Qualität ist ebenfalls einsetzbar)



- Zusatz von Schlackenbildnern zur Einstellung der Viskosität und der Zusammensetzung der Schlacke hinsichtlich ihrer Einsatzmöglichkeiten als Nebenprodukt

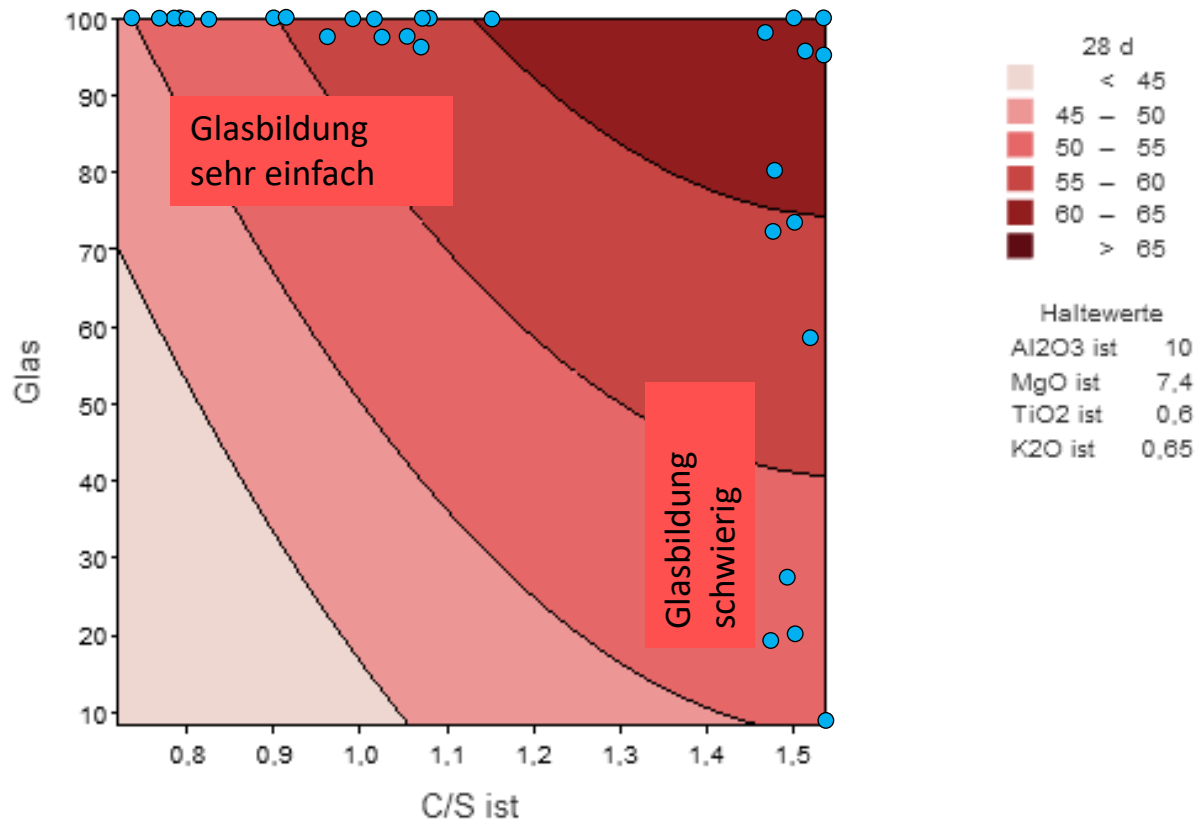
# Schlackenmetallurgie: Laborversuche

## Wünsche der Stahl- und Zementindustrie

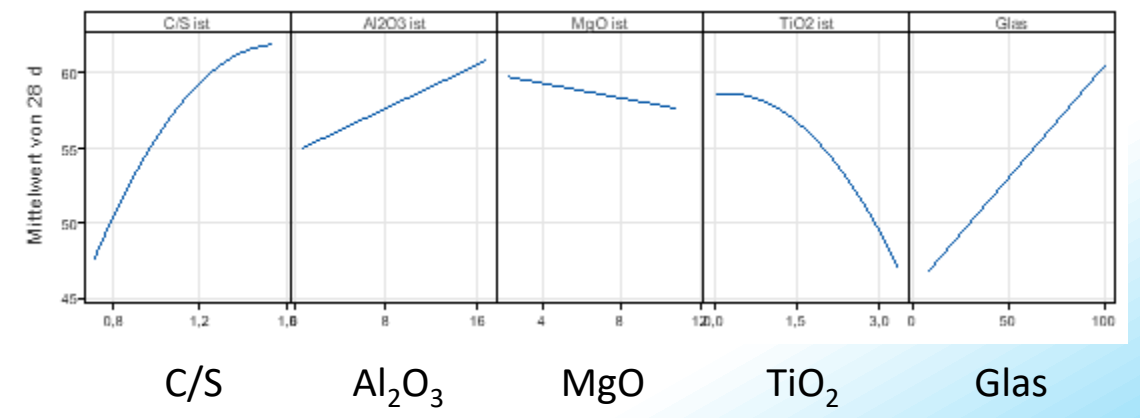


nsbreite / ngrenze	
.550)	1650
	1,40
10,5)	15,0
	10,0

# Zementtechnische Eigenschaften der ERS: Laborversuche Statistische Auswertung aller Versuche



Haupteffekte für 28 d-Festigkeit ( $r^2 = 81\%$ ):



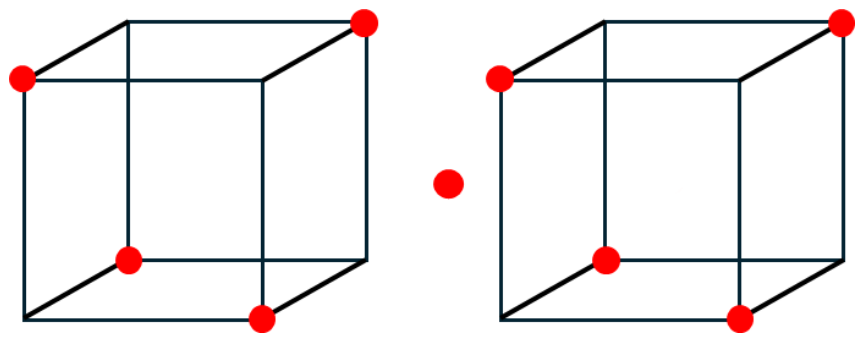
Beachte:  
Bei diesen Kombinationen sind nur 50 % der Effekte schlackenbedingt!  
→ Deutlicherer Einfluss bei CEM III/B

## Schlackenmetallurgie: Laborversuche

### Einfluss der Nebenbestandteile

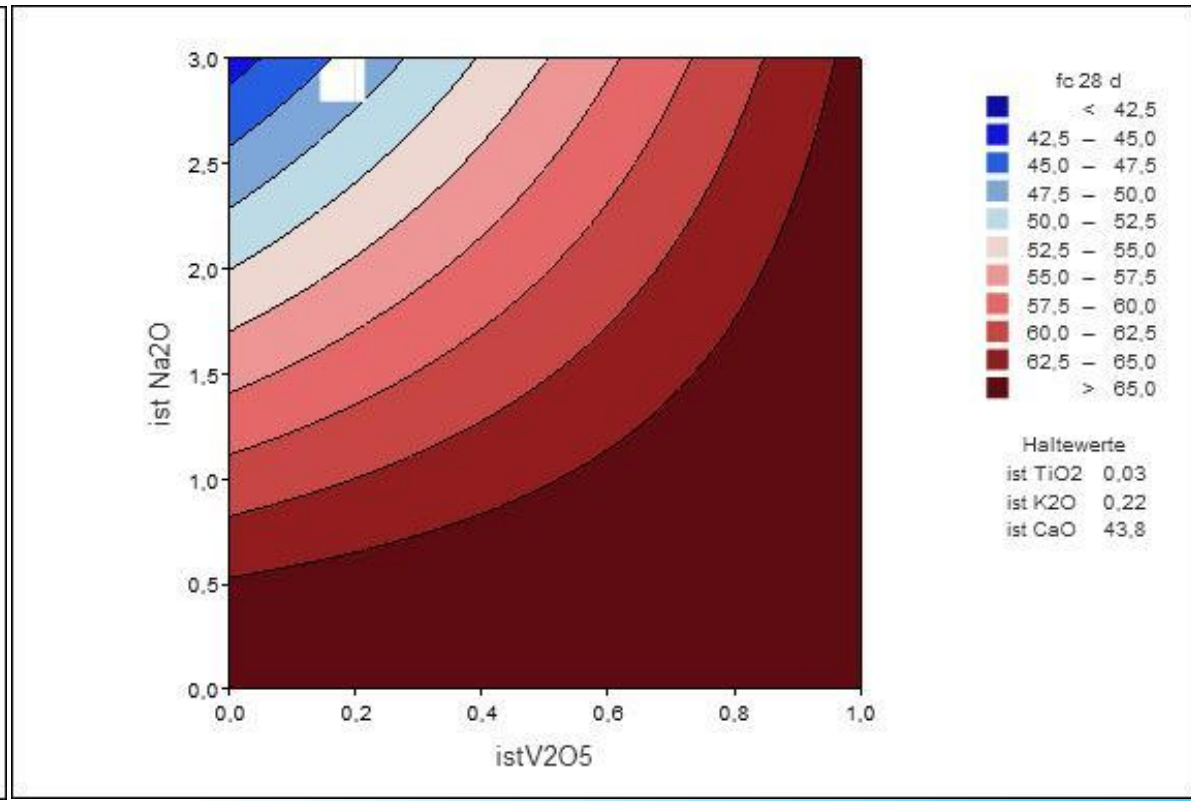
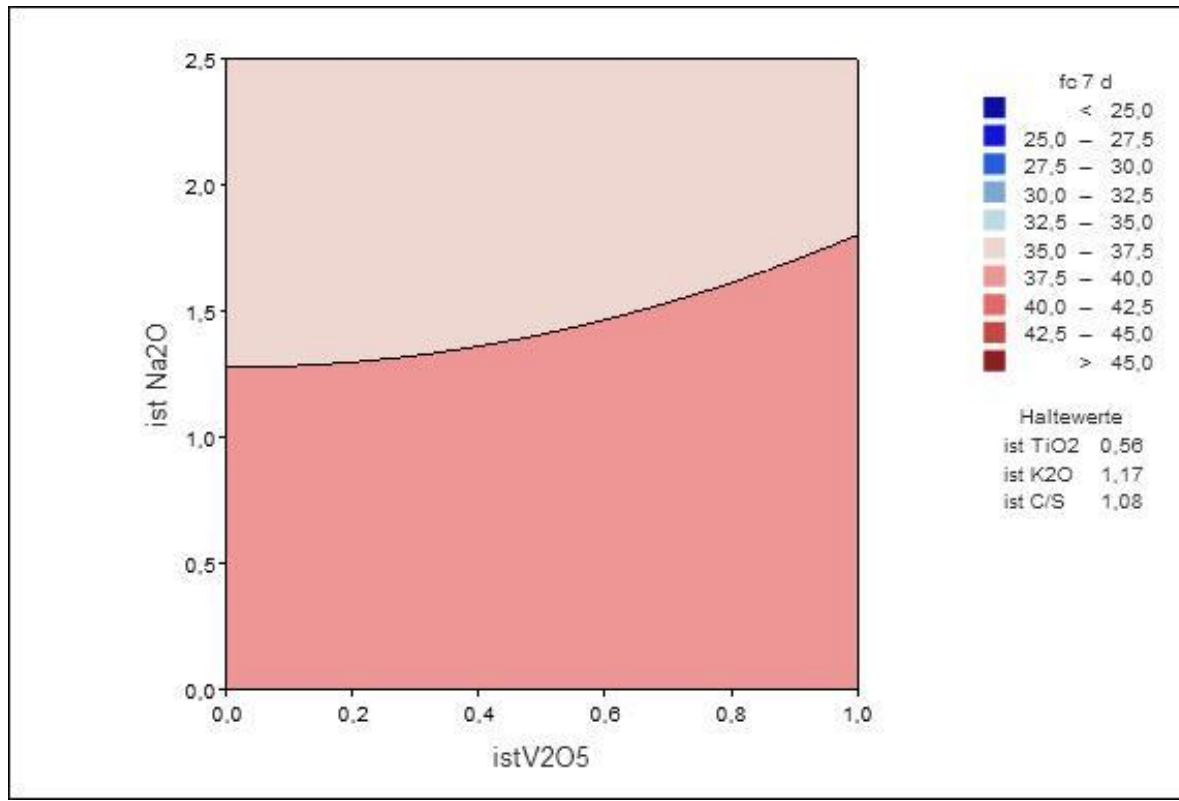
Basisschlacke	
C/S	1,05
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	10,5 %
MgO	6,0 %
Temperatur	1550°C

Einflussgröße	Einheit	Variationsbreite / Systemgrenze
TiO <sub>2</sub>	M.-%	0,50 - 3,50
V <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	M.-%	0,00 - 1,00
Na <sub>2</sub> O	M.-%	0,15 - 2,00
K <sub>2</sub> O	M.-%	0,15 - 3,50

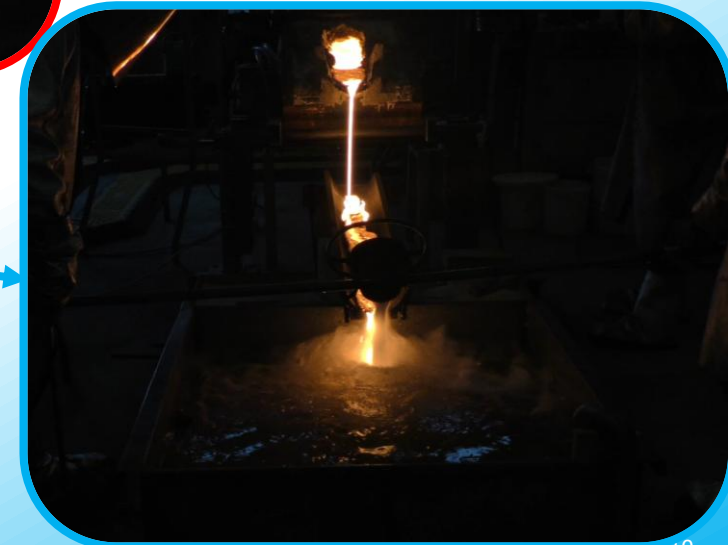
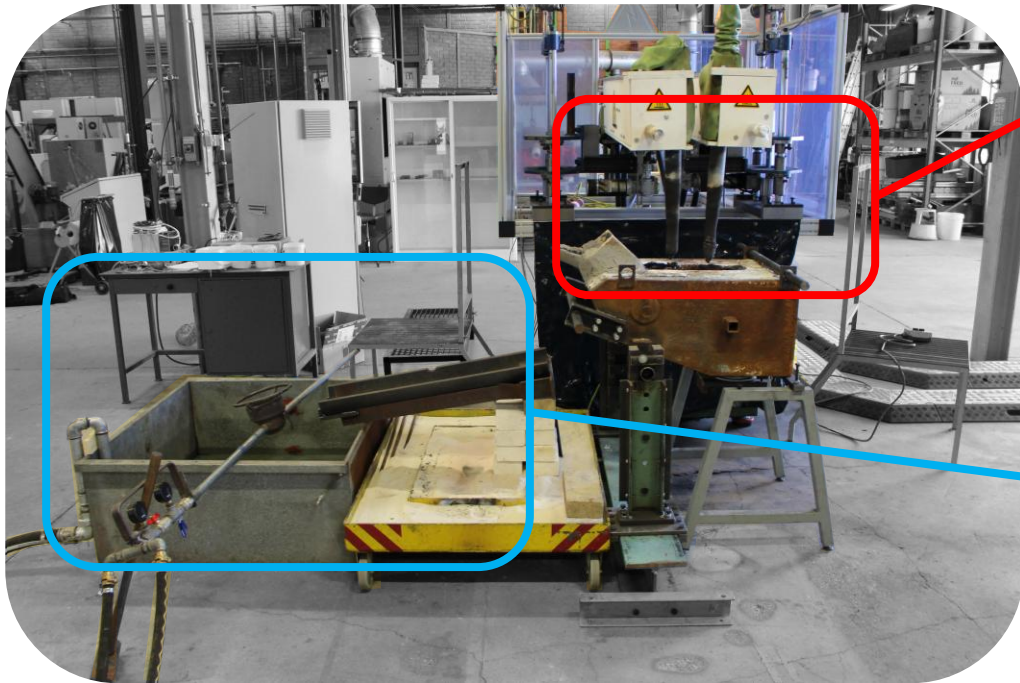


Na<sub>2</sub>O<sub>eq</sub>: 0,25 – 4,30 jeweils mit hohen bzw. niedrigen Na<sub>2</sub>O bzw. K<sub>2</sub>O

## Zementtechnische Eigenschaften der ERS: Laborversuche zu den Störstoffen



## Schlackenmetallurgie: Technikumsversuche



## Labor / Technikum / Pilot



## Upscaling!

Zwei Versuchskampagnen in 2023 und 2024 in einem SAF mit mehreren Tonnen

Erzeugung großer Mengen Elektrohoheisenschlacke für

- Zement- und betontechnische Untersuchungen
- REACH-Zertifizierung

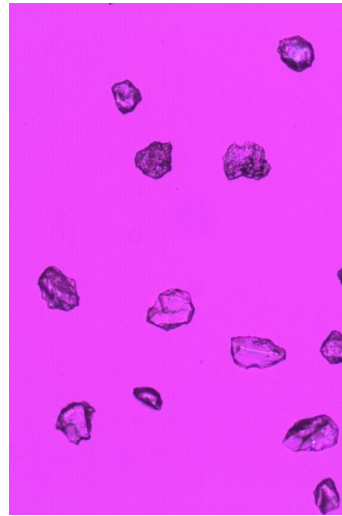


## Upscaling!

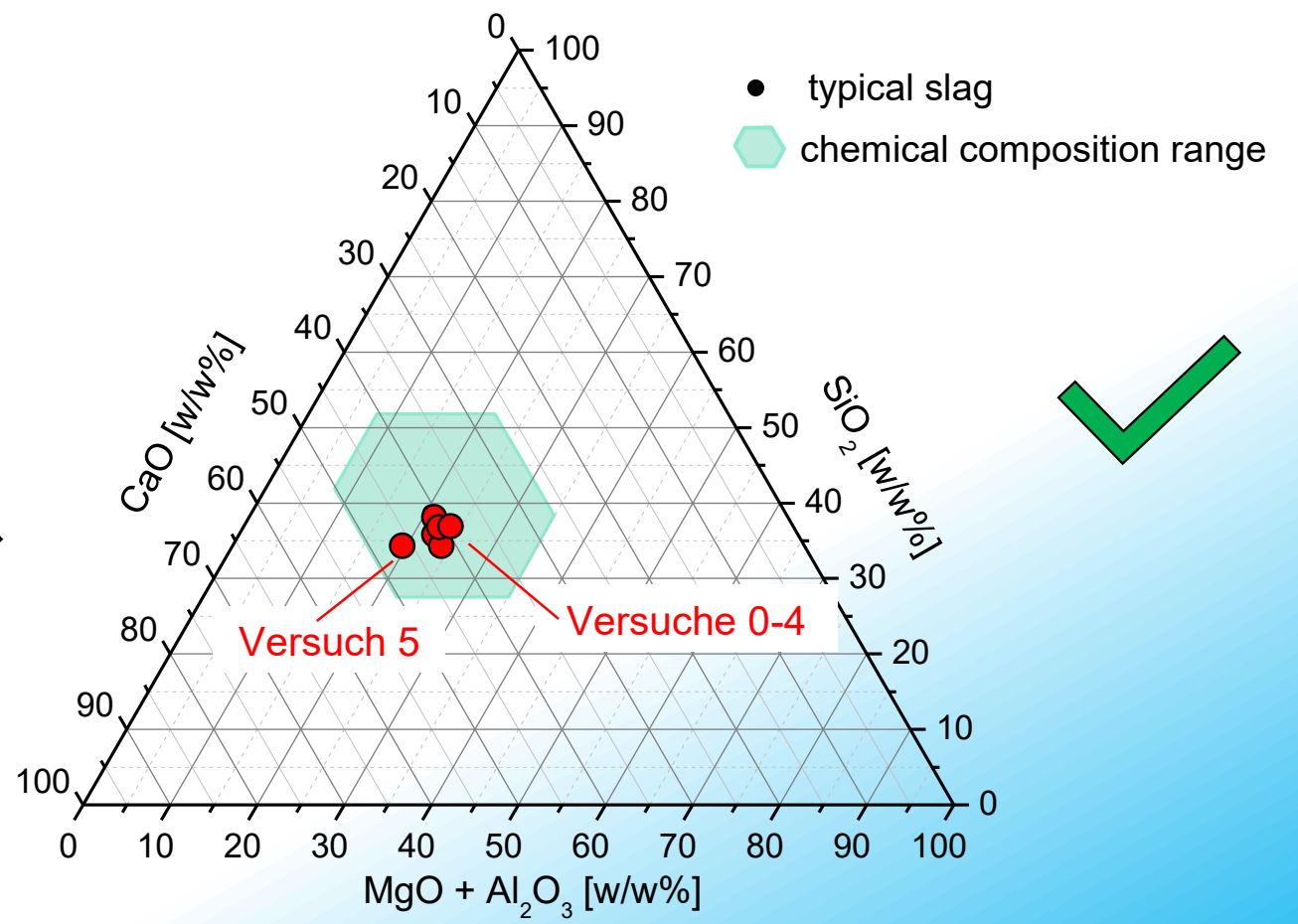
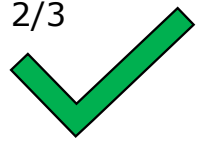


## Hohe Glasgehalte und REACH-konforme chemische Zusammensetzung

	Mikroskop	qRBA
V0	99,9	99,8
V1	100,0	98,9
V2	99,8	99,1
V3	100,0	99,3
V4	99,9	99,3
	Vol.-%	M.-%



Anforderung nach DIN EN 197-x und der  
 Betonzusatzstoffnorm DIN EN 15167-1 liegt bei 2/3



## Grenzwerte nach ABuG

	Parameter	Dimension	Stahlwerks- schlacke (SWS)
Eluatkonzentration	Arsen (As)	µg/l	
	Blei (Pb)	µg/l	
	Cadmium (Cd)	µg/l	
	Chrom, gesamt (Cr)	µg/l	100 ✓
	Kupfer (Cu)	µg/l	
	Nickel (Ni)	µg/l	
	Quecksilber (Hg)	µg/l	
	Vanadium	µg/l	250 ✓
	Zink (Zn)	µg/l	
	Chlorid (Cl <sup>-</sup> )	mg/l	
	Sulfat (SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> )	mg/l	
	Fluorid	mg/l	5 ✓
	Phenolindex	µg/l	
	DOC	µg/l	
	pH-Wert	-	10-13 ✓
	Leitfähigkeit	µS/cm	1500 ✓

Feststoffgehalt	Arsen	mg/kg	150 ✓
	Blei	mg/kg	700 ✓
	Cadmium	mg/kg	10 ✓
	Chrom, gesamt	mg/kg	600 ✓
	Kupfer	mg/kg	400 ✓
	Nickel	mg/kg	500 ✓
	Thallium	mg/kg	7 ✓
	Quecksilber	mg/kg	5 ✓
	Zink	mg/kg	1500 ✓
	Cyanide, gesamt	mg/kg	10 ✓
	EOX	mg/kg	10 ✓
	BTX	mg/kg	1 ✓
	LHKW	mg/kg	1 ✓
	Benzo(a)pyren	mg/kg	3 ✓
	Kohlenwasserstoffe	mg/kg	1000 ✓
	PAK <sub>16</sub>	mg/kg	20 ✓
PCB <sub>6</sub>	mg/kg	0,5 ✓	
TOC	(Masse)%	5 ✓	

V0	V1	V2	V3	V4	V5
1,49	1,53	2,75	2,84	1,76	2,03
3,12	1,06	1,04	1,76	0,15	<0,01
<0,10	0,22	0,42	0,58	0,30	0,38
775*	89,1	469	75,7	17,2	61,9
14,2	5,15	1,01	4,01	<1,00	1,00
4,28	5,89	6,28	5,37	2,63	8,40
<0,01	0,13	0,04	0,02	0,02	<0,01
0,40	0,40	0,24	0,27	0,24	0,61
20,1	57,3	7,52	7,54	2,54	<0,01

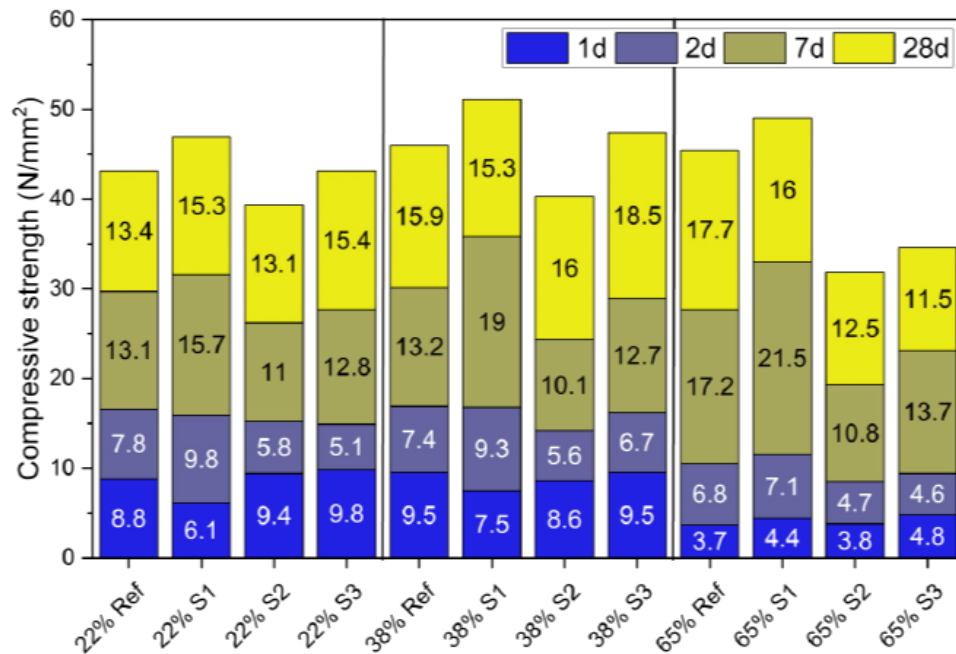
Vollaufschluss (DIN EN ISO 17294-2) + ICP-MS

\*eingesetzte Roheisenmasseln enthielten Cr

Cr(VI) < NWG [0,5 ppm] ✓

## Betonversuche (aus Großversuchen)

- Schwermetallgehalte und Auslaugbarkeit lagen unterhalb der Grenzwerte des DIBt
- Betontechnisch verhält sich das Material analog zu hochwertigem Hüttensand
  - Schlacke 1: auch bei hohen Substitutionsraten von >60 M.-%
  - Schlacke 2: gute Verarbeitbarkeit und Festigkeit, jedoch schlechteren Widerstand gegen Frost-Tau-Wechsel bei hohen Substitutionsraten; bis 38 % aber gut einsetzbar

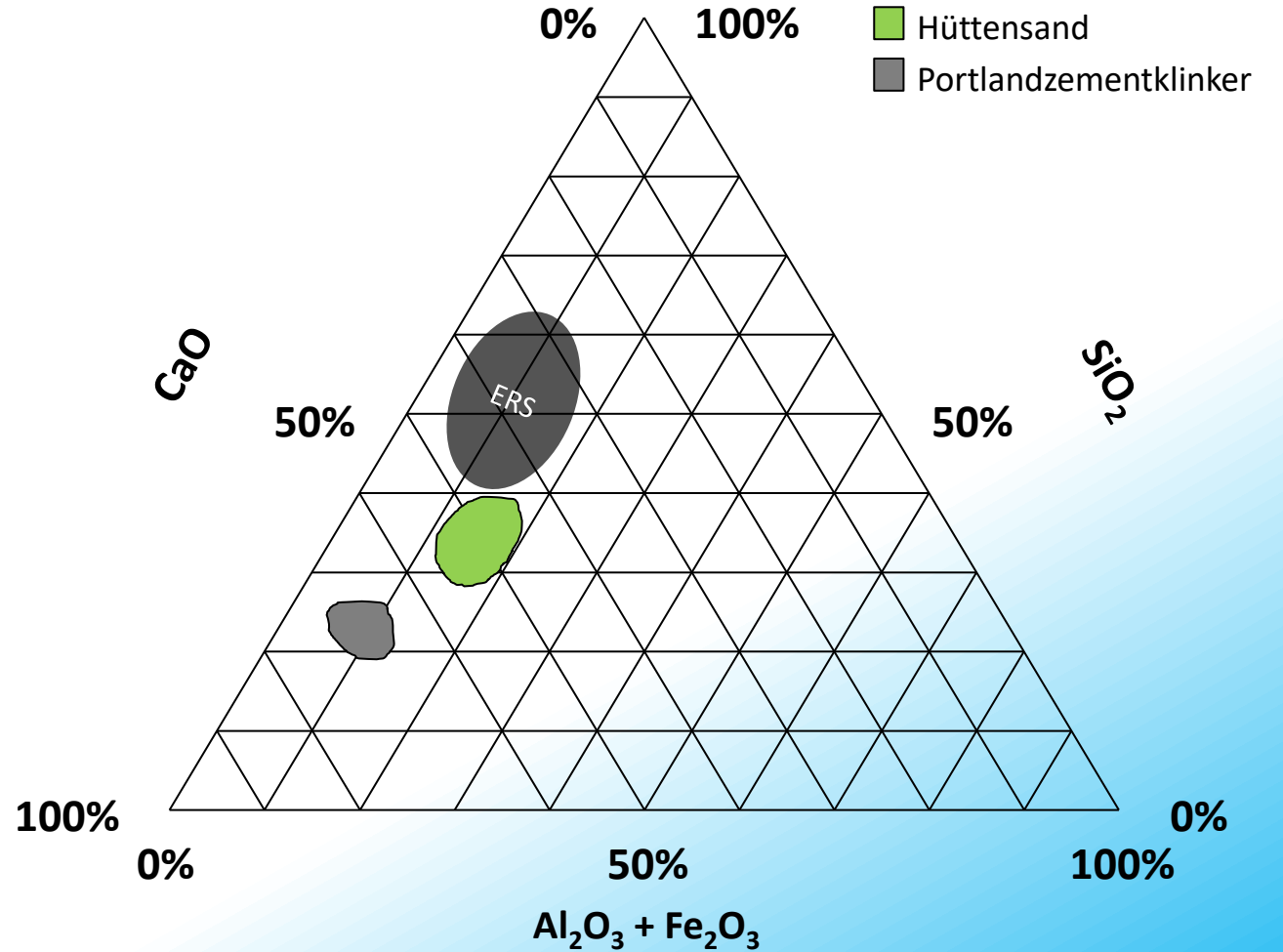


⇒ Heidelberg Materials bewertet das Material als technisch sehr gut einsetzbar!

# Ökobilanzierung – Aufwendungen für die ERS

	HS-Optimierung		Konditionierstoffe (Datenbank) zur Anpassung der Zusammensetzung (kg/kg <sub>Schlacke</sub> )	
	Ohne* [M.-%]	Mit [M.-%]		
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	6%	11%	0.05	Alumina
MgO	2%	7%	0.05	Dolokalk
CaO	38%	43%	0.05	Dolokalk
SiO <sub>2</sub>	54%	39%	-0.15	Quartz- sand

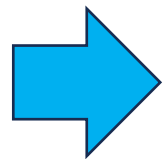
\*Zero-Burden-Ansatz bis B<sub>2</sub>=0,7



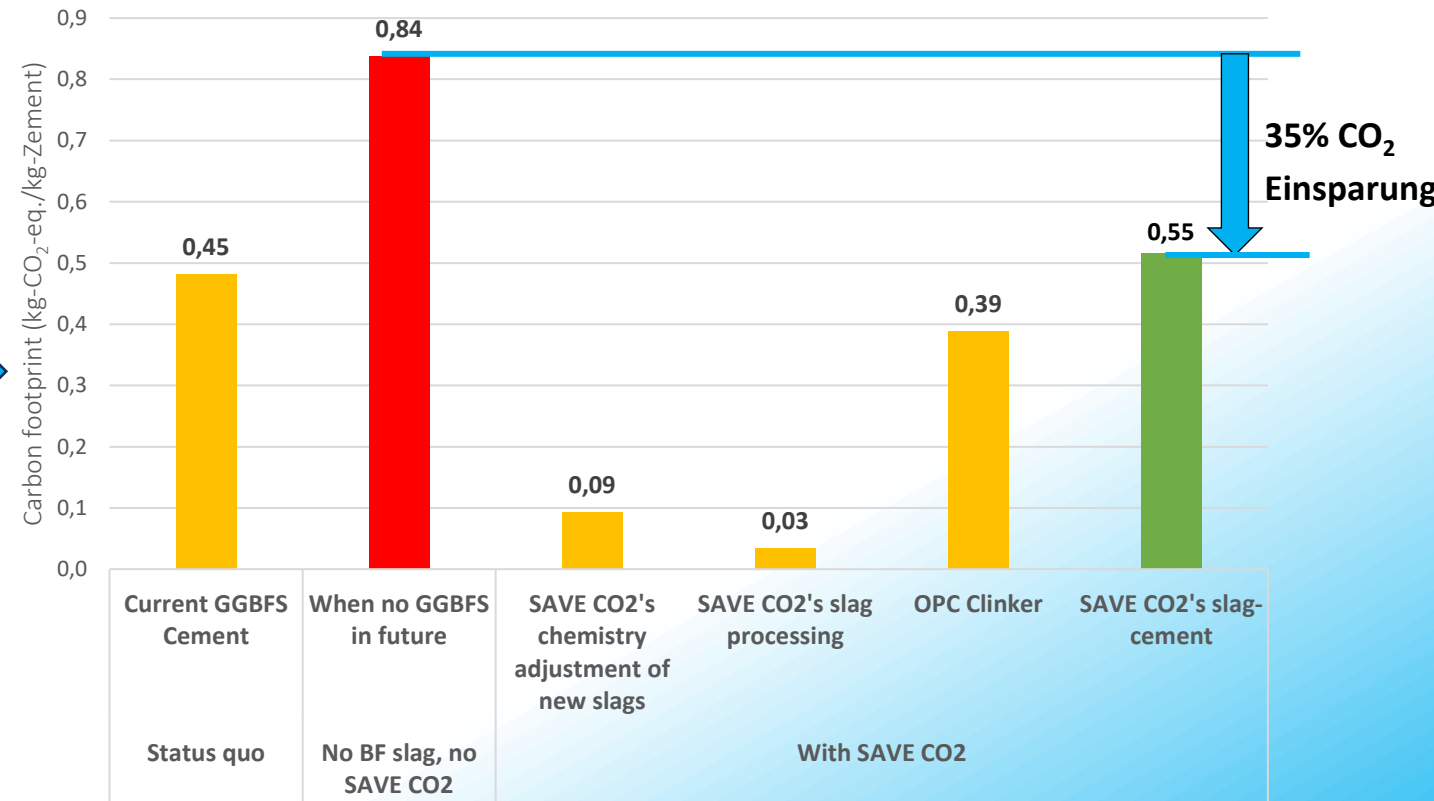
# Ökobilanzierung

	HS-Optimierung		Konditionierstoffe (Datenbank) zur Anpassung der Zusammensetzung (kg/kg <sub>Schlacke</sub> )	
	Ohne* [M.-%]	Mit [M.-%]		
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	6%	11%	0.05	Alumina
MgO	2%	7%	0.05	Dolokalk
CaO	38%	43%	0.05	Dolokalk
SiO <sub>2</sub>	54%	39%	-0.15	Quartzsand

\*Zero-Burden-Ansatz bis B<sub>2</sub>=0,7



Vorteile von SAVE CO<sub>2</sub> (54% Klinkersubstitution)



⇒ Einsparpotenzial in Deutschland 18,7 Mio. t CO<sub>2</sub> jährlich

## Derzeitiger Stand und Ausblick

- „REACH Registrierung“ bei der ECHA über PPORD (Product and Process Oriented Research & Development)
- Laufende Arbeiten an einer Revision der DIN 4301 Eisenhüttenschlacken u.a. zur Ergänzung der ERS
- Antragstellung auf eine bauaufsichtliche Zulassung des DIBt soll folgen
- Ergebnisse aus SAVE CO<sub>2</sub> können bei Antragstellung mitgeliefert werden
- Möglich ist auch ein Zulassungsverfahren auf europäischer Ebene zur Erlangung des „CE“-Zeichens
- Aufnahme der ERS in die europäische Zementnormung ebenfalls sinnvoll

Es wird als technisch vertretbar angesehen, ohne weiteres Upscaling eine Betriebsanlage zu errichten.

Einschmelzer soll laut tkSE 2027 in Betrieb gehen.  
Von da an wird die Elektroeroheisenschlacke erzeugt!  
(mit Granulationsanlage)



Montage 1. Stütze des DR-Turms  
Februar 2026



Gefördert durch:



Bundesministerium  
für Forschung, Technologie  
und Raumfahrt



DLR Projektträger



Finanziert von der  
Europäischen Union

NextGenerationEU

David Algermissen

Abteilungsleiter  
Sekundärrohstoffe / Schlackenmetallurgie

Tel.: +49 2065 9945-12

eMail: [d.algermissen@fehs.de](mailto:d.algermissen@fehs.de)

Web: [www.fehs.de](http://www.fehs.de)

