



# KONDEOS

***Industrielle Demonstrationsanlage zur definierten Metalloxid-Konditionierung von Elektroofenschlacken zur Erzeugung ökologischer Baustoffe und vermarktungsfähiger Metallfraktionen***



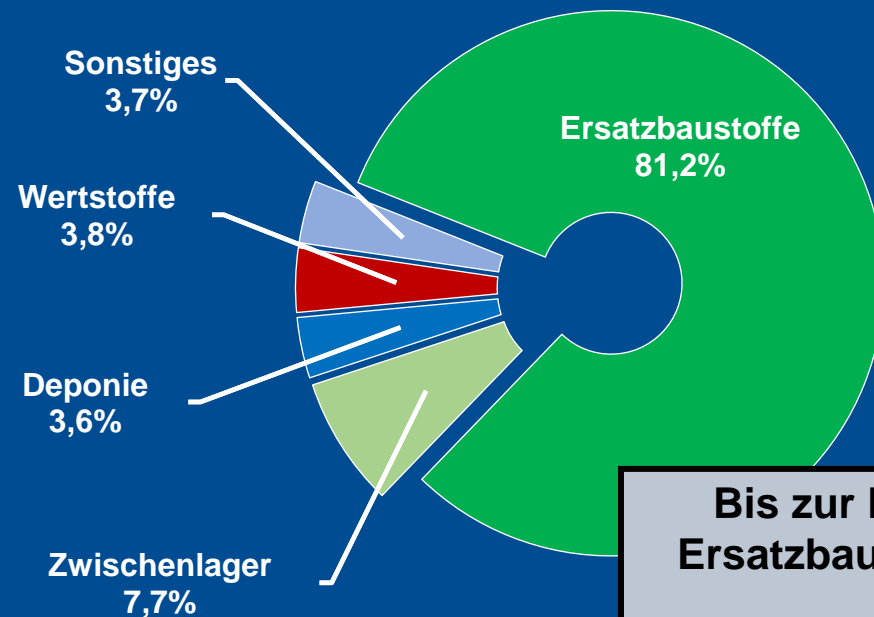
**Julian Kuschewski, M.Sc.** - Institut für Technologien der Metalle  
Universität Duisburg-Essen



**Dominik Ebert, M.Sc.** - Leiter Schmelzlabor  
FEhS – Institut für Baustoffforschung



## EAF-Schlacke 2022 in Deutschland: 1,27 Mio. t



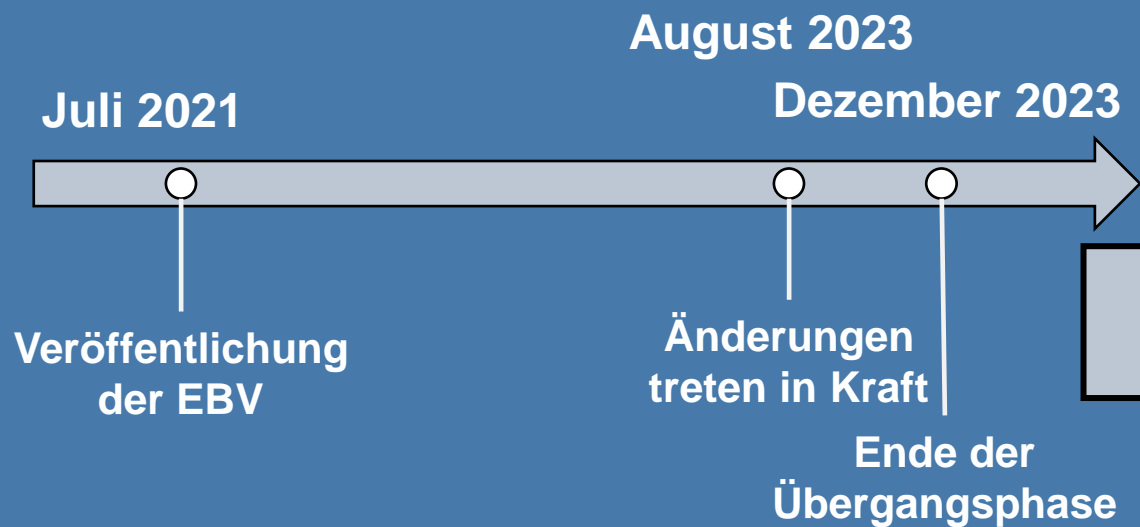
Bis zur Einführung der Ersatzbaustoffverordnung (EBV)



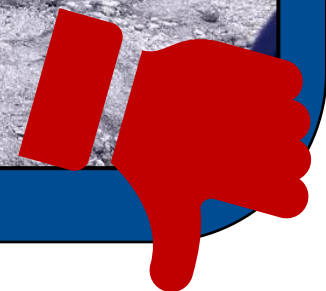
Quelle: FEhS - Institut für Baustoff-Forschung



## Veröffentlichung der geänderten Ersatzbaustoffverordnung



## Deponie





## Ziele des Projekts

- Das Ziel der Schlackenbehandlung besteht darin, die ökologischen Eigenschaften im Hinblick auf die EBV zu verbessern.
- Die Schlackenbehandlung ist nach Möglichkeit von dem eigentlichen Stahlherstellungsprozess zu entkoppeln, um Wechselwirkungen ausschließen zu können.
- Die Kübellogistik muss der entsprechenden Reaktionszeiten und der Taktung der Stahlerzeugung angepasst werden.

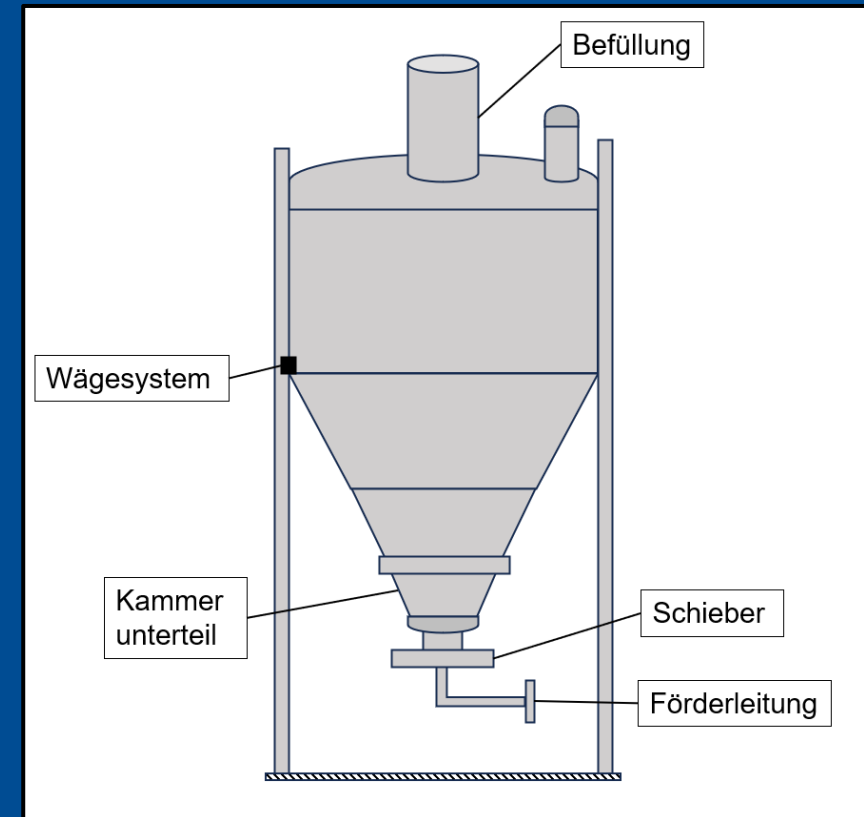


## Konsortium



Bei der Auslegung des Einblassystems müssen folgende Punkte beachtet werden:

- Es ist eine anwendungsentsprechende und konstante Förderrate zu ermöglichen.
- Die Anlaufzeit bzw. die Ansprechverzögerung der Einblasanlage ist zu minimieren.
- Ein muss ein Wägesystem verbaut werden, das eine Ermittlung der Förderrate ermöglicht.



- Die Einblaslanze wird über den Schlackenkübel gefahren und das Konditionierungsmittel beim Austritt der Schlacke parallel in den Schlackenkübel geblasen.
- Die Einblasrate konnte durch Variation verschiedener Parameter (Drosselgröße, Kammerdruck, Fördergasmenge und Auflockerungszustand) um 61 % erhöht werden.
- Die Schwankungen der Fördermenge konnten durch die Optimierungen von 43 kg/min auf 18 kg/min verringert werden.



- Die Schlacke wird zuerst durch einen Magnetbagger grob in eine oxidische und magnetische Fraktion aufgeteilt.
- Es folgt ein Mehrstufiger Brechprozess.
- Mittels eines Überbandmagneten wird die Schlacke in eine oxidische und magnetische Fraktion separiert.



Ersatzbaustoff



Separationseisen

## Mineralische Phase



- Mineralogische Zusammensetzung



- Chemische Zusammensetzung
- Schüttelmethode (Auslaugung)

## Magnetische Phase



- Lichtmikroskopie
- Rasterelektronenmikroskopie
- Funkenemissionsspektrometrie



- Umschmelzversuche



## Bewertung der mineralischen Nebenprodukte - Übersicht

- 150 Chargen à ca. 20t
- Behandlung teilweise reduzierend, teilweise neutral
- Bewertung anhand von Molybdän in Auslaugungen im Schüttelverfahren:
  - Wasser/Feststoffverhältnis 2:1 an der Kornfraktion 8-11mm
  - W/F 2:1 an der Kornfraktion 0-22mm und 45% <4mm
- Probenahme vor und nach Erstarrung:
  - Vor Erstarrung: durch Eintauchen einer Baggerschaufel (schnelle Abkühlung)
  - nach Erstarrung: aus Schlackebeet (langsame Abkühlung)

## Bewertung der mineralischen Nebenprodukte – reduzierende Behandlung

- Reduktionsmischung aus Sand, Kohlenstoff und FeSi
- Reduktionsbehandlung erzeugt metallische Granalien in der Schlacke -> Metallrückgewinnung
- Auslaugverhalten der Schlacke deutlich verbessert

Molybdän	SWS-1	SWS-2	> SWS-2
<b>Reduktions-Mischung 1</b>	65%	35%	0%
<b>Keine Behandlung</b>	8%	42%	50%

- Nachteile:
  - Carbon Footprint Reduktionsmittel
  - Starkes Schäumen im Kübel
  - Hohe Kosten



## Bewertung der mineralischen Nebenprodukte – reduzierende Behandlung

- Behandlung mit Quarzsand  
(einzelne Versuche mit Gießereialtsand)
- Material muss vereinzelt werden, um nicht-aufgelöste Nester zu vermeiden
- Optimierung Einblasanlage notwendig
- Auslaugverhalten ebenfalls verbessert

Molybdän	SWS-1	SWS-2	> SWS-2
Reduktions-Mischung 1	65%	35%	0%
Quarzsand	29%	69%	2%
Ohne Behandlung	8%	42%	50%

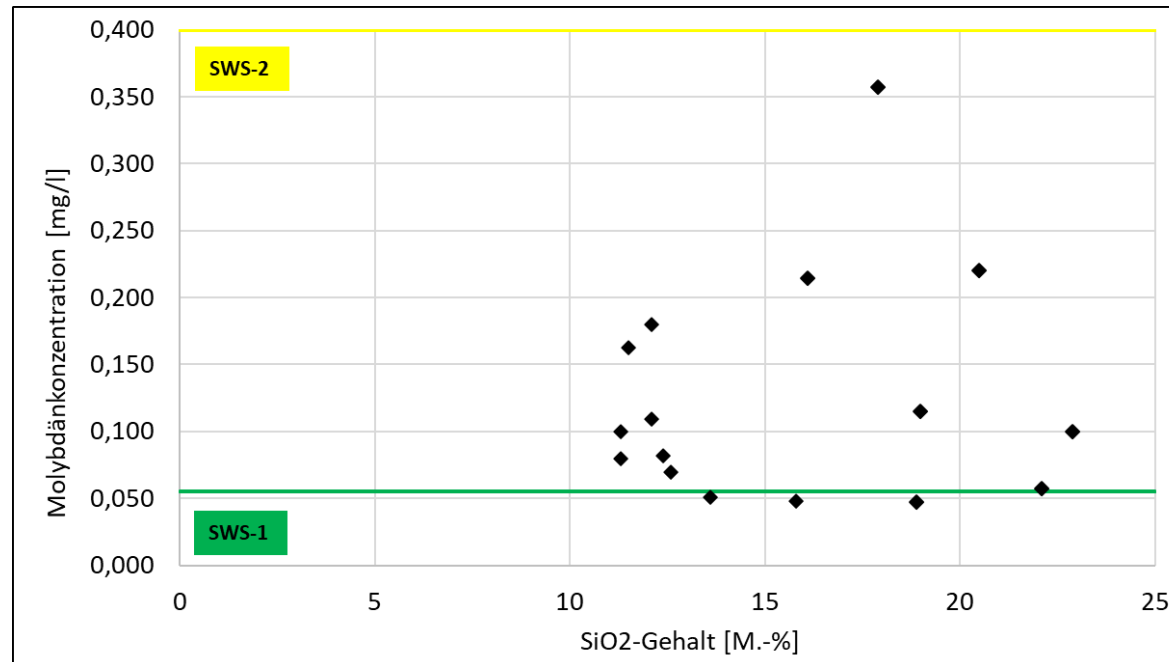
- Wirksamkeit Quarzsand unterhalb der Reduktion, aber ausreichend für SWS-2



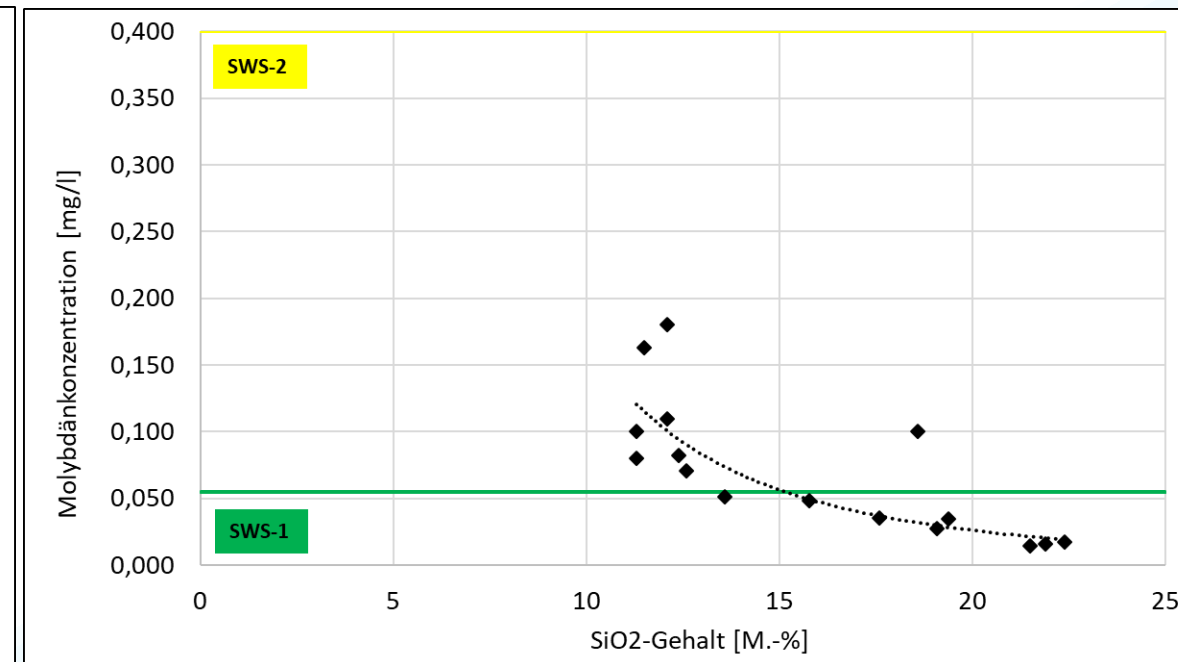
## Bewertung der Reaktionsprodukte – mineralische Phase

- Konditionierung mit Sand senkt Mo-Elution
- Zusammenhang mit SiO<sub>2</sub>-Gehalt der Schlacke jedoch schlecht
- Sandbehandlung kombiniert mit schneller Abkühlung hat signifikanten Einfluss

Langsame Abkühlung im Schlackebeet

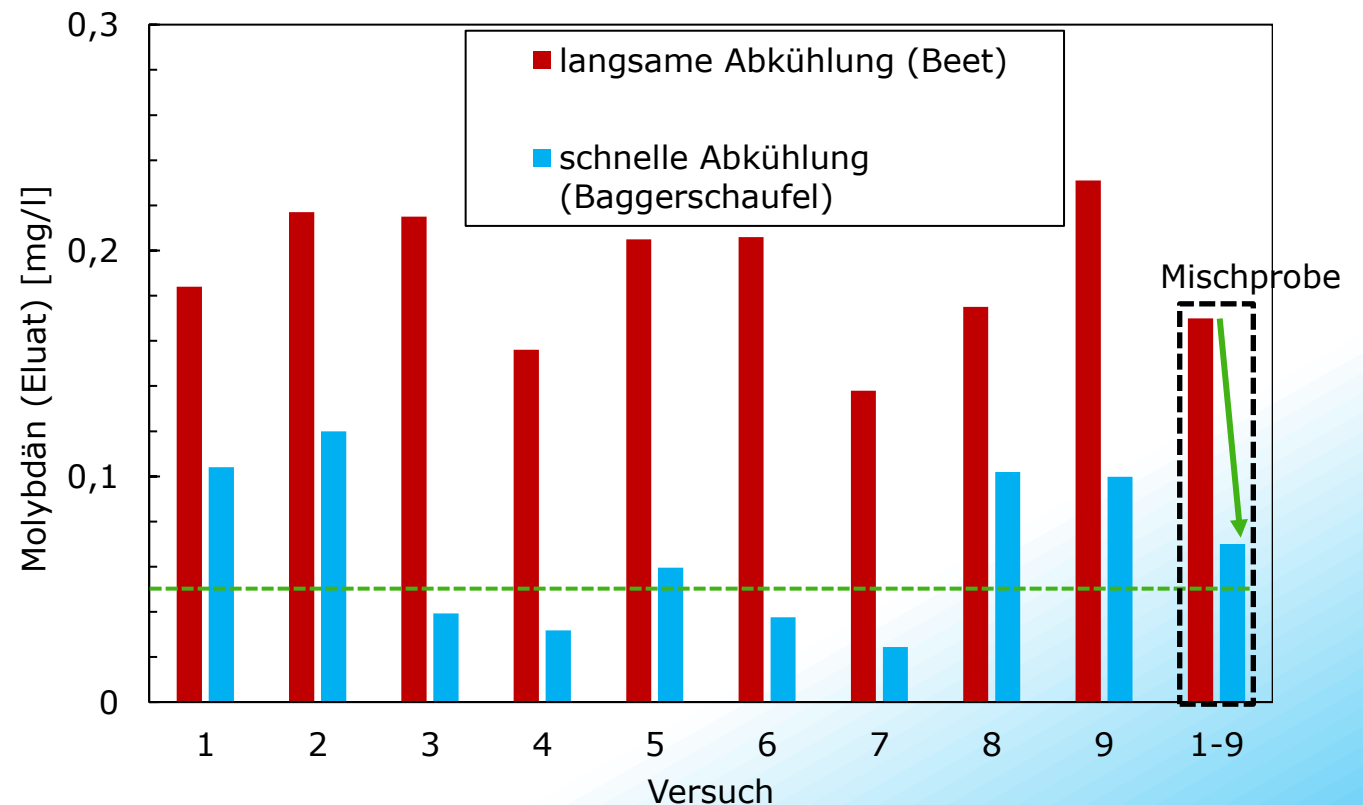


Schnelle Abkühlung (Baggerschaufel)



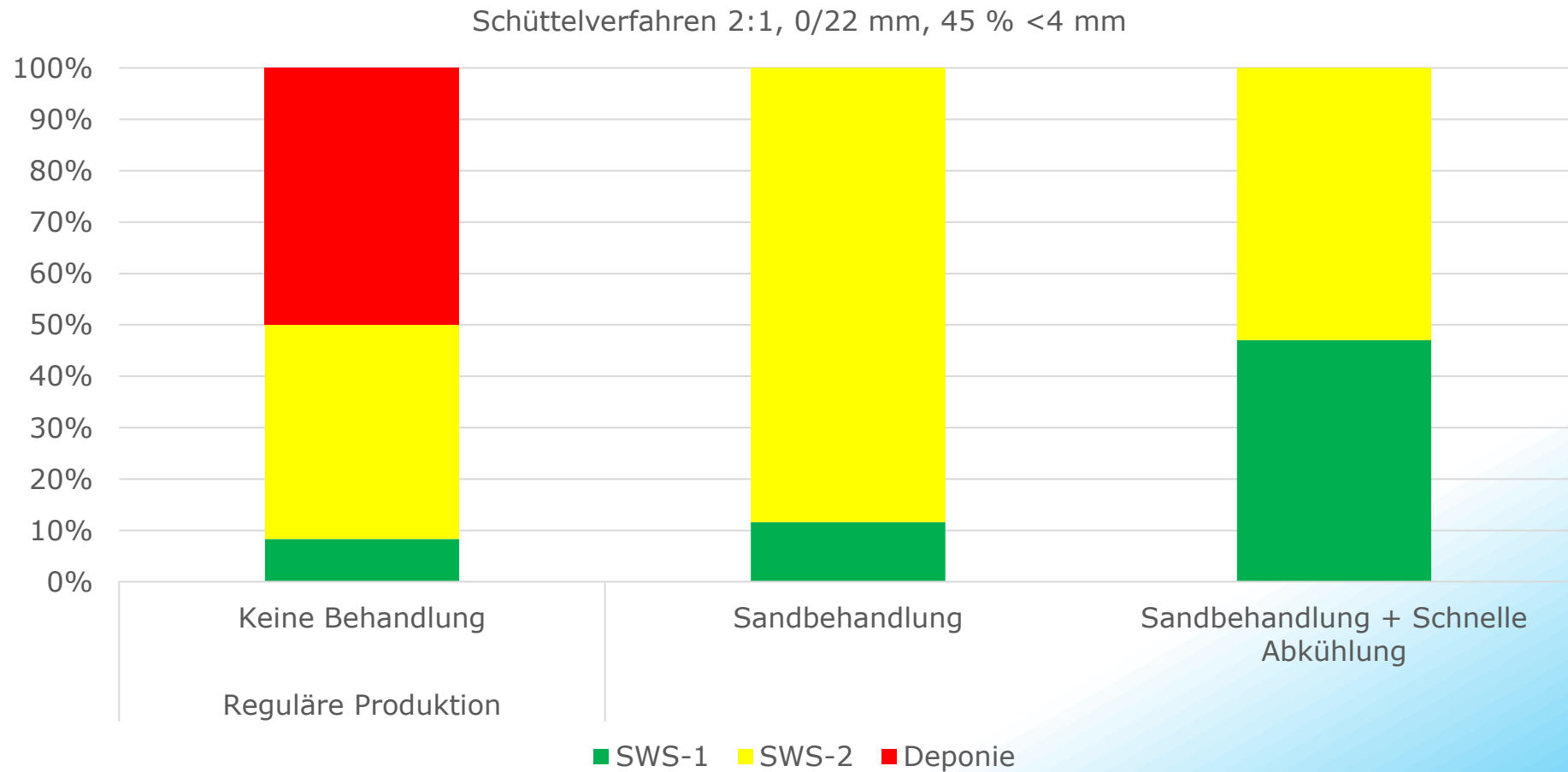
## Bewertung der Reaktionsprodukte – mineralische Phase

- Vergleich Abkühlrate mit und ohne Sandbehandlung
- Einfluss Mo-Gehalt Schrott
- Ohne Sandbehandlung wenig Einfluss auf Mo-Elution
- Sandbehandlung mit schneller Abkühlung hat signifikanten Einfluss



Vergleich langsame Abkühlung / schnelle Abkühlung	Hoch Mo-Schrottmenü mit Sandbehandlung	Reguläres Schrottmenü mit Sandbehandlung	Reguläres Schrottmenü ohne Sandbehandlung
<b>Mo-Auslaugung</b>	-69 %	-58 %	-19 %

## Bewertung der Reaktionsprodukte – mineralische Phase



## Bewertung der Reaktionsprodukte – mineralische Phase

Tendenzielle Verbesserung der bautechnischen Eigenschaften der Schlacke

		Min	Max	Arithm. Mittel
<b>Schlagv. Schotter (SD10)</b>	<i>M.-%</i>	18,6	29,7	25,1
<b>Volumenzunahme (168 h)</b>	<i>Vol.-%</i>	0,1	1,2	0,8
<b>Rohdichte</b>	<i>Mg/m<sup>3</sup></i>	3,29	3,75	3,53

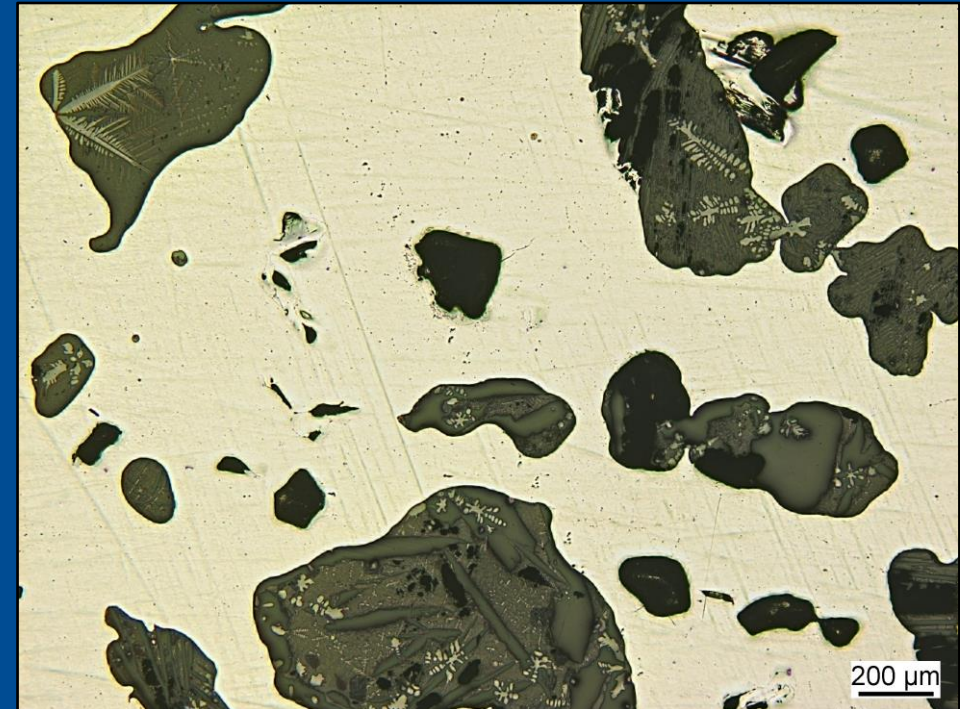


## Bewertung der Reaktionsprodukte – mineralische Phase

- teilweise Reduktion der EAF-Schlacke im Kübel möglich, aber zu aufwändig und teuer
- Konditionierung mit Sand ausreichend, günstiger und besser beherrschbar
- Schnelle Abkühlung in Kombination mit Sandbehandlung zeigt weiteres Verbesserungspotenzial, erfordert jedoch eine Weiterentwicklung des Schlackenbeets
- Technische Eigenschaften als Baustoff bleiben erhalten oder werden leicht verbessert



- Durch Umschmelzversuche konnte der mengenmäßige Metallgehalt des Separationseisen ermittelt werden. Die Masse des entstandenen Regulus entsprach einem Metallgehalt von 68 %.
- Weiter sind in der metallischen Matrix die Mangan- und Chromgehalte erhöht, die aber einem weiteren Einsatz zur Erzeugung von Roheisen mittels eines Hochofens nicht entgegenstehen.



Lichtmikroskopische Aufnahme des Separationseisens



## Zusammenfassung

- **Durch die Konditionierung kann die Schlacke weiter als Ersatzbaustoff nach der EBV verwendet werden.**
- **Die entwickelte Anlagentechnik kann bei der Georgsmarienhütte bei jeder Charge eingesetzt werden.**
- **Der zeitliche Ablauf der Stahlherstellung und die Stahlqualität werden nicht beeinflusst.**
- **Die verbesserten Umwelteigenschaften ermöglichen eine effizientere Nutzung der Schlacke und schonen so die Deponiekapazitäten.**
- **Ein Anschlussprojekt wurde bereits genehmigt, welches sich auf die Minimierung des Sandeinsatzes fokussiert.**
- **Weiterer Forschungsbedarf besteht hinsichtlich der Umsetzbarkeit einer schnellen Abkühlung der Schlacke im Produktionsmaßstab, eventuell in Verbindung mit einer Wärmerückgewinnung.**



**Julian Kuschewski, M.Sc.**  
Institut für Technologien der Metalle  
Universität Duisburg-Essen  
E-Mail: [julian.kuschewski@uni-due.de](mailto:julian.kuschewski@uni-due.de)  
Tel.: 0203-379 3451



**Dominik Ebert, M.Sc.**  
Leiter Schmelzlabor  
FEhS – Institut für Baustoff-Forschung e.V.  
E-Mail: [d.ebert@fehs.de](mailto:d.ebert@fehs.de)  
Tel.: 02065-99 4517

