

## Neuartige Eisenhüttenschlacken bei emissionsfreier Stahlerzeugung

### Wertschöpfungschancen und Nachhaltigkeitspotentiale

Factsheet der DWV-Fachkommission HySteel in Zusammenarbeit mit dem  
FEHS – Institut für Baustoff-Forschung e.V.



© Deutscher Wasserstoff- und Brennstoffzellen-Verband (DWV) e.V.

#### Autoren:

Herr David Algermissen  
FEHS – Institut für Baustoff-Forschung e.V.

Frau Dr. Maria Gaudig  
ITEL – Deutsches Lithiuminstitut GmbH

Herr Dr. Andreas Neumann  
ITEL – Deutsches Lithiuminstitut GmbH

Herr Clemens Orlishausen  
Deutscher Wasserstoff- und Brennstoffzellen-Verband (DWV) e.V.

Herr Dr. Frank Schaub  
ArcelorMittal S.A.

#### Abkürzungen:

DR	Direktreduktion	HOS	Hochofenschlacke
DRI	Direct Reduced Iron (Eisenschwamm)	LD	Linz-Donawitz-Verfahren
EAF	Electric Arc Furnace (Elektrolichtbogenofen)	LDS	Linz-Donawitz-Schlacke
EOS	Elektroofenschlacke	OSBF	Open Slag Bath Furnace
HO	Hochofen	SAF	Submerged Arc Furnace

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages

## **Status quo**

Bei der heutigen Stahlproduktion entstehen Schlacken als Nebenprodukte, die in verschiedenen Industrien genutzt werden können. Schlacken werden zum Beispiel als Hüttensand in der Zementherstellung, im Straßenbau oder der Düngemittelproduktion eingesetzt. Durch die schrittweise erfolgende Umstellung der Stahlproduktion auf die Nutzung von Wasserstoff über die Direktreduktions-(DR)-Routen zur Erreichung der Klimaziele bis 2045 wird sich die Zusammensetzung und damit die Nutzbarkeit für die Abnehmer verändern. Um eine Wertschöpfung mit diesen geänderten Schlacken zu gewährleisten, Ressourcen zu schonen, CO<sub>2</sub> einzusparen und die Kreislaufwirtschaft weiterhin aufrechtzuerhalten, müssen die etablierten Anwendungsfelder für diese Materialien überprüft und angepasst werden oder möglicherweise neue Anwendungsmöglichkeiten erschlossen werden. Gegebenenfalls müssen die zukünftigen Schlacken gezielt nachbehandelt werden, um beispielsweise als Zementbestandteil weiter nutzbar zu bleiben.

## **Herausforderungen für die Anwendung neuartiger Schlacken**

In einer zukünftigen klimaneutralen Stahlproduktion wird die Hochofen-Route und dementsprechend auch die Hochofenschlacke (HO-Schlacke) nicht mehr existieren. Auf dem Weg dorthin müssen Anwendungsfälle für Schlacken aus den DR-Routen erforscht werden, um die Nutzungspotentiale auszuschöpfen und die Anforderungen an eine nachhaltige Kreislaufwirtschaft weiterhin zu gewährleisten (siehe Abbildung).

Etwa 87% des in der Stahlindustrie erzeugten Hüttensandes werden aktuell zur Zementproduktion genutzt<sup>1</sup>. Die Nutzung des Hüttensandes reduziert dabei die CO<sub>2</sub>-Emissionen der Zementherstellung enorm (um etwa 800 kg<sub>CO2</sub>/t<sub>Primärrohstoff</sub><sup>2</sup>), die ansonsten bei der energieintensiven Aufbereitung von Zementklinker durch natürliche Ressourcen entstehen würden. Für die 7,41 Mio. Tonnen Hüttensand, die 2021 von der Zementindustrie genutzt wurden, entspricht dies einer CO<sub>2</sub>-Reduktion von etwa 6 Mio. Tonnen pro Jahr. Der Wegfall des Hüttensandes würde somit (i) die Klimabilanz der energieintensiven Zementindustrie noch stärker negativ beeinflussen und (ii) ggf. zu einem verstärkten Abbau von natürlichen Klinker-Ressourcen (Ton und Kalk) führen. Zudem bestünde die Gefahr einer Abwanderung bzw. Verlagerung der Zementproduktion in das weniger streng regulierte Ausland (Carbon Leakage).

Schlussfolgernd ist die Technologieentwicklung zur Nutzung zukünftiger Schlacken von außerordentlicher Bedeutung zur Erreichung der Klimaziele, insbesondere jener der Zementindustrie, und zur Ressourcenschonung sowie zur Vermeidung einer Deponierung von Millionen Tonnen Nebenprodukten. Die Nutzung der zukünftigen Schlacken in etablierten oder neuen Anwendungsfeldern wird zudem zu einer Stärkung der heimischen Wertschöpfung führen und gut bezahlte Industriearbeitsplätze sichern.

## **Handlungsempfehlungen**

1. Es sind entsprechende Änderungen in der Vorschrift „Anforderungen an bauliche Anlagen bezüglich der Auswirkungen auf Boden und Gewässer (ABuG)<sup>3</sup>“ nötig, um auch SAF- und Stahlwerksschlacken in Zement und Beton einsetzen zu können, da diese Schlacketypen noch nicht den entsprechenden Eingang in die Vorschrift gefunden haben.
2. Forschungsprojekte (Industrie- und/oder Hochschulforschung) müssen intensiviert und gefördert werden (Beispiele bereits bestehender nationaler Projekte: DRI-EOS, SAVE CO<sub>2</sub>), um einen Ersatzstoff für die Verwendung von Hüttensand bei der Zementherstellung zu entwickeln, der ebenfalls eine CO<sub>2</sub>-Reduktion bei der Zementherstellung gewährleistet.
3. Der heimische Technologievorsprung bei der gezielten Nachbehandlung von Schlacken (eine neu zu etablierende „sekundäre Schlackenmetallurgie“) sollte genutzt werden, um die Anwendungsfälle für klimaneutral erzeugte Schlacken zu etablieren.
4. Die Schaffung eines (internationalen) harmonisierten Marktes für DRI-EAF/SAF-Schlacken (Regulierung durch z.B. EU- und Normvorgaben) sollte vorangetrieben werden.

---

<sup>1</sup> Thomas Merkel: Daten zur Produktion und Nutzung von Eisenhüttenschlacken im Jahr 2021, Report des FEhS-Instituts 2022

<sup>2</sup> Holcim Deutschland: Umweltbericht Zement 2020

<sup>3</sup> DIBt: Muster-Verwaltungsvorschrift Technische Baubestimmungen (MVV TB) 08/2017, Anhang 10

"Anforderungen an bauliche Anlagen bezüglich der Auswirkungen auf Boden und Gewässer (ABuG)"

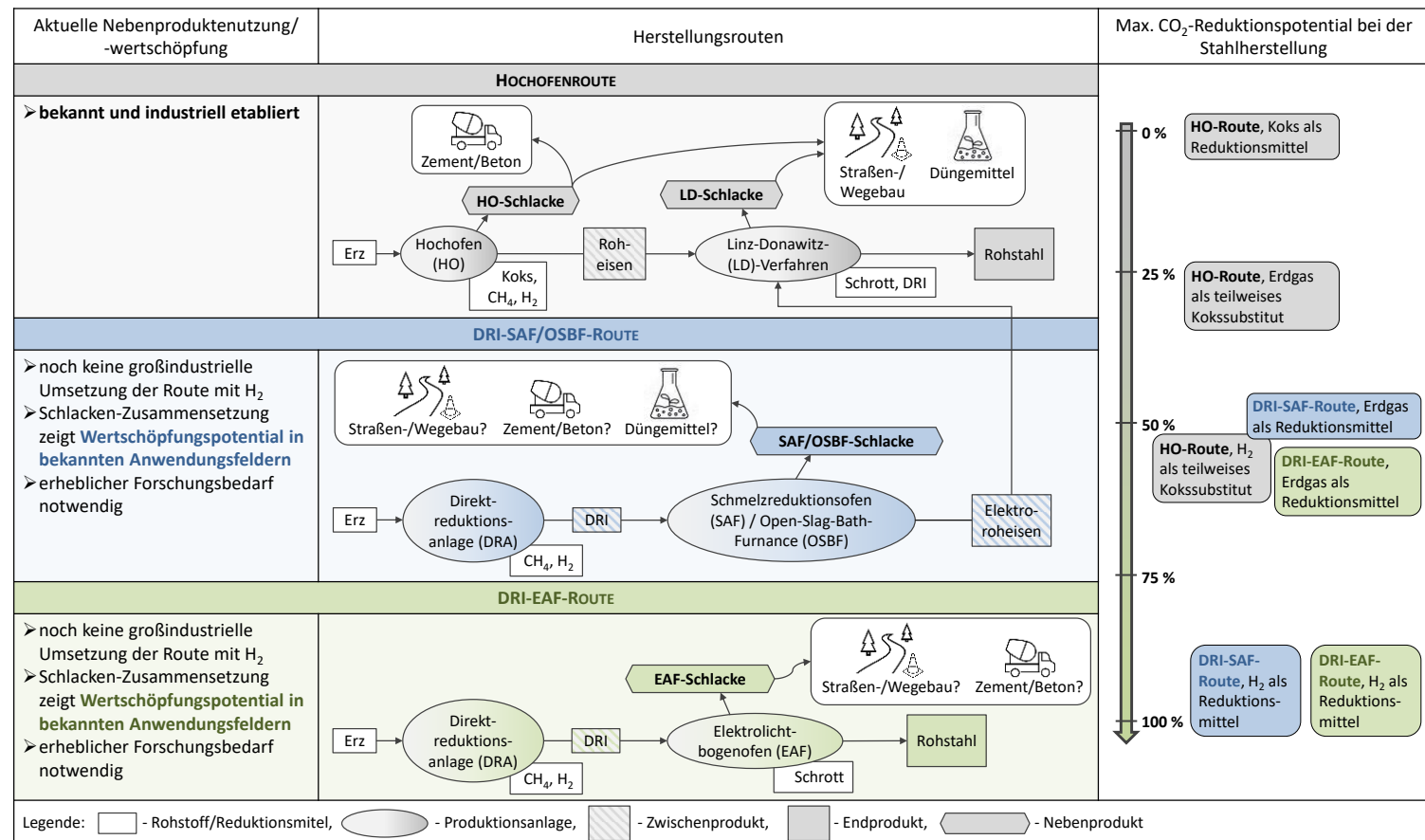
## Herstellungspfade & Nebenproduktewertschöpfung

Die Abbildung illustriert vereinfacht die unterschiedlichen Stahlherstellungsrouten und ihre aktuelle Nebenproduktenutzung. Für die Schlacken aus der heute dominierenden Hochofenroute mit Koks als Reduktionsmittel haben sich verschiedene Anwendungsbereiche und effiziente Wertschöpfungsketten über Jahrzehnte etabliert. Bei der Transformation der Stahlindustrie auf wasserstoffbasierte Technologien wird sich die Zusammensetzung der dabei entstehenden Schlacken (SAF/OSBF- und DRI-EAF-Schlacken) grundsätzlich ändern; ihr Einsatz für die etablierten Anwendungen muss dementsprechend überprüft werden.

Da zurzeit noch keine großskalige industrielle Umsetzung der beiden neuen DR-Routen vorhanden ist, existieren wenige Daten zur Schlackenzusammensetzung; erheblicher Forschungsbedarf ist daher zur Weiternutzung und ggf. zur Nachbehandlung notwendig.

Neben den aktuell unterschiedlichen Nebenproduktenutzungen zeigt die Abbildung zudem die theoretisch maximal möglichen CO<sub>2</sub>-Reduktionspotentiale der verschiedenen Stahlherstellungstechnologien. Sowohl die DRI-EAF- als auch die DRI-SAF/OSBF-Route haben das Potential, nahezu 100 % klimaneutralen Stahl beim Einsatz von grünem Wasserstoff zu produzieren.

Abbildung: Stahlherstellungsrouten und jeweilige aktuelle Nebenproduktewertschöpfung sowie maximales CO<sub>2</sub>-Reduktionspotential bei der Verwendung unterschiedlicher Reduktionsmittel



## Übersicht der Schlacken aus der Eisen- und Stahlherstellung

Schlacken sind nichtmetallische Schmelzen, die bei der Eisen- und Stahlerzeugung als Begleitphase entstehen. Je nach Prozess und ggf. Nachbehandlungen unterscheiden sich die Schlacken in ihrer mineralogischen Zusammensetzung, welche die Eigenschaften und dementsprechend die Anwendungsmöglichkeiten bestimmen. Aus den hergestellten Roheisen- und Stahlmengen resultieren aktuell etwa 662 Mio. Tonnen Schlacken pro Jahr weltweit. Das FEHS schätzt bis 2070 ein Schlackenaufkommen von über 900 Mio. Tonnen pro Jahr (ohne Transformation).

Tabelle: Übersicht der prozessabhängigen qualitativen Eigenschaften von Schlacken aus Eisen- und Stahlproduktion, Anwendungsmöglichkeiten, Anteile und CO<sub>2</sub>-Emissionen der entsprechenden Stahlproduktionsprozesse:

	<b>Hochfenschlacke (HOS)</b>	<b>Linz-Donawitz-Schlacke (LDS)</b>	<b>Elektroofenschlacke (EOS)</b>	<b>DRI-EAF-Schlacke</b>	<b>SAF/OSBF-Schlacke</b>
<b>Prozessstufe</b>	Roheisenherstellung im Hochofen	Rohstahlherstellung im Konverter	Rohstahlherstellung im Elektroofen mit Schrott	Rohstahlherstellung im Elektroofen mit DRI	Roheisenherstellung im SAF/OSBF
<b>Möglichkeiten der Anwendung</b>					
Zement/Beton	✓✓	○	○	?	○
Straßenbau	✓	✓	✓✓	○	?
Offener Wegebau	✓	✓✓	○	?	?
Düngemittel	✓	✓	✗	✗	?
<b>Raumstabilität</b>	✓	✗	✓	✓	✓
<b>Anteil 2018 DE [Mt/a] - gesamt: 13,18 Mt/a<sup>4</sup></b>	7,79	3,23	1,62	0	0
<b>Anteil 2045 geschätzt<sup>5</sup></b>	/	20%	45%	35%	
<b>CO<sub>2</sub>-Emissionen 2021 [kg<sub>CO2</sub>/t<sub>Rohstahl</sub>]<sup>6</sup></b>	1700		277 (Strommix); 32 (Grünstrom)	830-1000 (H <sub>2</sub> Strommix); 32 (H <sub>2</sub> Grünstrom); 759 (CH <sub>4</sub> )	Aktuell keine Anlagen vorhanden
<b>CO<sub>2</sub>-Emissionen 2045 [kg<sub>CO2</sub>/t<sub>Rohstahl</sub>]<sup>7</sup></b>	1700		Nahezu 0	Nahezu 0 (H <sub>2</sub> -DR)	Nahezu 0

Legende: ✓✓ - Hauptanwendung    ✓ - geeignet    ○ - Forschungsbedarf    ✗ - nicht geeignet    ? - keine Einschätzung möglich

<sup>4</sup> [https://www.recovery-worldwide.com/de/artikel/recycling-von-schlacke\\_3528045.html#:~:text=Deutschland%20geh%C3%B6rt%20beim%20Schlacke%2DRecycling,25%2C3%20%25%20der%20Rohstahlerzeugung](https://www.recovery-worldwide.com/de/artikel/recycling-von-schlacke_3528045.html#:~:text=Deutschland%20geh%C3%B6rt%20beim%20Schlacke%2DRecycling,25%2C3%20%25%20der%20Rohstahlerzeugung)

<sup>5</sup> BBS Rohstoffstudie 2022 & Einschätzung FEHS

<sup>6</sup> LBST 2022

<sup>7</sup> LBST 2022