

Eisenhüttenschlacke

Wertvoller Rohstoff für ressourcenschonendes Wirtschaften



Stand
2026

04

ÖKONOMIE UND ÖKOLOGIE HAND IN HAND

*Zukunftsweisend: Eisenhütten-
schlacken sind umweltverträglich,
schonen natürliche Ressourcen und
vermeiden Abfall*

06

BEGEHRTER BAUSTOFF UND BEWÄHRTES DÜNGEMITTEL

*Sicher und zuverlässig:
Zahlreiche Branchen vertrauen
hochwertigen schlackenbasierten
Produkten*

08

HÖCHSTLEISTUNG AM BAU

*Uneingeschränktes Vertrauen:
Auch bei extremen Anforderungen
sind Zemente sowie Betone mit
Hüttensand und Hochofenstück-
schlacke erste Wahl*

10

SICHERE UND LANGLEBIGE STRASSEN

*Der Alleskönner: Herausragende
Eigenschaften der Gesteins-
körnungen aus Schlacken sorgen
für sichere und nachhaltige
Verkehrswege bei allen Witterungs-
bedingungen*

12

LEISTUNGSSTARKE UND UMWELT- FREUNDLICHE DÜNGEMITTEL

*Beste Wachstumsprognosen:
Aus Schlacke hergestellter
Konverterkalk überzeugt in
der Landwirtschaft durch seine
Wirksamkeit bei gleichzeitiger
Schonung der Natur*

14

VOM INDUSTRIELLEN NEBENPRODUKT ZUM ROHSTOFF DER ZUKUNFT

*Hochofen und Hightech: Aus dem
metallischen Schmelzfluss von rund
1.500 Grad Celsius entstehen durch
moderne Verfahren homogene
Mineralstoffe für hochwertige
Industriegüter*

15

DIE TRANSFORMATION DER STAHLINDUSTRIE UND „NEUE SCHLACKEN“

*Fit für die Zukunft: Forschungen
legen schon heute den Grund-
stein für den ressourcen- und
klimaschonenden Einsatz der
Nebenprodukte einer
dekarbonisierten Stahlindustrie*

19

FEHS – INSTITUT FÜR BAUSTOFF-FORSCHUNG E. V.

*Die Profis: Umfassende Expertisen,
jahrzehntelange Erfahrung
sowie intensive Kooperationen
mit Wissenschaft und Wirtschaft
verschaffen dem Institut einen
internationalen Ruf*

EISENHÜTTENSCHLACKEN: GUT FÜR DIE WIRTSCHAFT, GUT FÜR DIE UMWELT!

Wirtschaftliche Entwicklung, Wohlstand und Lebensqualität sind nicht ohne den Schutz der Umwelt denkbar. Allein die Folgen des Klimawandels machen sich in unserem Alltag deutlich bemerkbar und kosten schon heute Milliarden.

Aber auch der Verbrauch von Rohstoffen und Energie braucht unsere besondere Beachtung, denn (natürliche) Ressourcen sind nicht unbegrenzt verfügbar. Wir alle müssen sorgsam agieren, um uns und den folgenden Generationen eine lebenswerte Zukunft zu sichern. Es ist daher zu begrüßen, dass Nachhaltigkeit auch auf der politischen Agenda ganz weit oben steht: zum Beispiel im „Fahrplan Ressourceneffizienz“ in den „Roadmaps 2050“ zu Klima und Energie der Europäischen Union, im novellierten Kreislaufwirtschaftsgesetz oder im Circular Economy Action Plan, im Clean Industrial Deal sowie dem geplanten Kreislaufwirtschaftsgesetz der EU.

Die vorliegende Broschüre zeigt Ihnen, welchen Beitrag Eisenhüttenschlacken, kurz „Schlacken“ genannt, zum ökonomischen und ökologischen Wirtschaften leisten. Denn die Verwendung von Schlacken, die bei der Stahlherstellung entstehen, garantiert nicht nur wettbewerbsfähige Produkte. Der Mineralstoff schont auch natürliche Vorkommen, schützt die Natur und fördert die Kreislaufwirtschaft. Wir vom FEhS – Institut für Baustoff-Forschung e. V. arbeiten seit Jahrzehnten daran, dass diese positive Bilanz für Wirtschaft und Umwelt immer besser wird. In intensiver Zusammenarbeit mit Unternehmen, Behörden und der Wissenschaft verfeinern wir die Herstellungs- und Verarbeitungsverfahren, optimieren die Produkte, überprüfen die Praxistauglichkeit und arbeiten an neuen Anwendungsfeldern für Eisenhüttenschlacken, wie z. B. für Baumsubstrate und als Strahlmittel. Ferner forschen wir schon heute zu den neuen Schlacken von morgen in einer wasserstoffbasierten Stahlproduktion. Denn wir sind überzeugt: Schlacken sind ein Rohstoff der Zukunft!

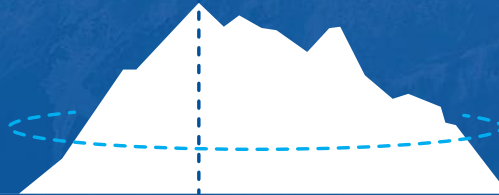
Weitere interessante Informationen über Schlacken bekommen Sie auf den Internetseiten www.fehs.de und www.rohstoff-schlacke.de. Wir freuen uns auf Ihren Besuch!



Thomas Reiche,
Geschäftsführer FEhS – Institut für Baustoff-Forschung e. V.

2.900 m Σ

600 m $\varnothing$



1949–2025

Würde man alle seit 1949 in Deutschland
verwendeten Schlacken – über 1,1 Milliarden
Tonnen – auf einen Haufen schütten,
wäre dieser mit **600 Meter Durchmesser**
und **2.900 Meter Höhe** so groß wie
die Zugspitze.

ÖKONOMIE UND ÖKOLOGIE HAND IN HAND

Eisenhüttenschlacken sind ein wertvoller Rohstoff, der bei der Produktion von Roheisen und Stahl entsteht. Je nach Herstellungsverfahren spricht man von Hochofenschlacke oder Stahlwerksschlacke. In modernen Verarbeitungsprozessen entstehen daraus Hüttensand, Gesteinskörnungen und Düngemittel, die seit vielen Jahrzehnten nicht nur von der Baubranche und der Landwirtschaft geschätzt werden – sondern auch von der Umwelt!

RESSOURCEN SCHONEN, KREISLAUFWIRTSCHAFT FÖRDERN

Schlackenbasierte Produkte wie Zement, Beton, Asphalt und Konverterkalk sind vielseitig verwendbar, qualitativ wertvoll und vor allem: umweltverträglich. Das bestätigen zahlreiche Behörden und Ministerien in Deutschland und der EU, wie zum Beispiel die Einschätzungen des Umweltbundesamtes sowie Verordnungen des Bundesumweltministeriums. Dass Eisenhüttenschlacken ungefährlich sind und ohne Risiko eingesetzt werden können, belegen zahlreiche aktuelle Studien.

Wer wettbewerbsfähig sein will und gleichzeitig auf Umweltschutz setzt, muss die Ressourceneffizienz steigern. Die Verwendung von Eisenhüttenschlacken leistet hierzu einen wichtigen Beitrag. Ihr Einsatz reduziert die Emission des klimaschädlichen CO₂. Ferner kann der Abbau großer Mengen der Primärrohstoffe Naturstein und Sand vermieden werden, was zudem Landschaften schützt.

Eisenhüttenschlacken leisten darüber hinaus auch einen beachtlichen Beitrag zur Kreislaufwirtschaft. Fast das gesamte Schlackenaufkommen wird zur Herstellung von hochwertigen Produkten

verwendet – nur 9 % landen auf der Deponie. Zudem kommen große Mengen Metallschrott bei der Herstellung von Rohstahl zum Einsatz, bei der Stahlwerksschlacken entstehen.



Durch den Einsatz von Hüttensand anstelle von Portlandzementklinker im Zement konnte seit 1949 die Emission von 201 Millionen Tonnen CO₂ in Deutschland vermieden werden.

ERZEUGUNG UND VERWENDUNG VON EISENHÜTTENSCHLACKEN 2025

11,2 Mio.
Tonnen Schlacke

(10,9 Mio. t Produktion
zzgl. 0,3 Mio. t Abbau
von Zwischenlagern)



3,0 Mio.

Tonnen
Gesteins-
körnung



0,5 Mio.
Tonnen an-
lageninterne
Kreislauf-
führung



0,5 Mio.
Tonnen
Kalk/Düngemittel



0,9 Mio.
Tonnen
Deponie

6,3 Mio.

Tonnen
Hüttensand



BEGEHRTER BAUSTOFF UND BEWÄHRTES DÜNGEMITTEL

Hochofenschlacke und Stahlwerksschlacke sind industriell hergestellte Mineralstoffe, die es in sich haben. Sie machen Bauwerke stabil, sorgen für sichere Straßen und lassen Pflanzen gedeihen. Denn Eisenhüttenschlacken verfügen über homogene, technologisch herausragende Eigenschaften. Dies bewirken die sehr hohen Temperaturen beim Entstehungsprozess, ähnlich wie bei magmatischen Gesteinen, und moderne Verfahren bei der Verarbeitung.

BEWÄHRTE QUALITÄT

Architektinnen und Architekten, Ingenieurinnen und Ingenieure sowie Bauherrinnen und Bauherren errichten seit über 100 Jahren mit schlackenhaltigen Baustoffen alles, was höchsten Anforderungen genügen muss: Brücken, Fernsehtürme, Talsperren, Fahrbahndecken, Sturmflutwehre, Bürokomplexe, Industrieanlagen oder Trinkwasserrohre. Aber nicht nur bei Neubauten, auch bei Instandsetzungen vertrauen die Expertinnen und Experten den technischen, wirtschaftlichen und ökologischen Vorzügen von Schlackenprodukten.

Kein nachhaltiger Erfolg ohne zuverlässigen Qualitätsnachweis: Werkseigene Produktionskontrollen (WPK) und Gütegemeinschaften, Behörden und amtlich anerkannte Prüfstellen, wissenschaftliche Untersuchungen und internationale Forschungen bestätigen die Eignung von Eisenhüttenschlacken als Rohstoff sowie die Praxistauglichkeit der daraus hergestellten Produkte. Davon zeugen auch die umfassenden internationalen Zulassungen für verschiedene Einsatzgebiete in diversen Branchen.

Wie hochwertig Baustoffe oder Baustoffgemische mit Eisenhüttenschlacken sind und wie vielfältig

sie zum Einsatz kommen, belegen zahlreiche realisierte Projekte unter anderem für die Chemische Industrie und die Schwerindustrie, die Energiewirtschaft, den Straßenbau oder bei kommunalen Ver- und Entsorgungseinrichtungen.

65

JAHRE

65 Jahre lang hat die Wissenschaft im Schwarzwald bei einem Dauerdüngungsversuch mit schlackenhaltigem Thomasphosphat die Wirkung auf Ertrag und Artenvielfalt von Dauergrünland demonstriert.



429 Mio. t

Allein durch die
Verwendung von Hüttensand
in Zement konnten seit 1949
429 Millionen Tonnen Naturstein
ersetzt werden – diese Menge
würde mehr als 3,5 Millionen der
weltweit größten Schiffs-
container füllen.

HÖCHSTLEISTUNG AM BAU

Funktionalität, Qualität, Wirtschaftlichkeit, Nachhaltigkeit und nicht zuletzt Sicherheit: Wer hochwertig bauen will, muss sich auf die Eigenschaften der Baustoffe verlassen können. Schlackenbasierte Zemente und Betone haben sich tausendfach bewährt – das gilt nicht nur für alltägliche Baumaßnahmen, sondern vor allem auch bei Gebäuden und Anlagen, an die höchste Ansprüche gestellt werden.

Der Erfolg der Schlackenprodukte ist kein Zufall. Es gibt kaum Baustoffe, die seit Jahrzehnten so intensiv untersucht, umfassend geprüft und immer wieder optimiert werden. Für besondere Einsatzgebiete mit speziellen Anforderungen kommen sogar individuell hergestellte Betonrezepturen zur Anwendung. Die Erfahrung der Expertinnen und Experten, die effektive Zusammenarbeit von Wirtschaft, Wissenschaft und Behörden sowie normierte Qualitätsanforderungen gewährleisten den hohen Standard der schlackenhaltigen Zemente und Betone.

Der Gesetzgeber schreibt nicht nur dezidierte technologische Eignungen von Baustoffen vor. Auch umweltrelevante Parameter müssen erfüllt werden, um Natur und Menschen dauerhaft vor gefährlichen Stoffen zu schützen. Daher genießen Schlackenprodukte bei Bauvorhaben europaweit das Vertrauen der Unternehmen. Beispiele sind Trinkwasseranlagen, Wasser- und Klärwerke, Flächen der Chemischen Industrie, Bauten mit höchster mechanischer Belastung sowie Silos.

Umweltschutz heißt auch: Ressourcen und Klima schonen. Neben dem Abbau großer Mengen Naturstein und Sand konnten von 1949 bis 2025

allein in Deutschland auch 201 Millionen Tonnen CO₂ durch den Einsatz von Hüttensand als Zementbestandteil vermieden werden.

34

*Während im Laufe des 20. Jahrhunderts weltweit zwölfmal mehr fossile Brennstoffe verbraucht wurden, nahm der Abbau von Primärrohstoffen und Bodenschätzen im gleichen Zeitraum sogar um das **Vierunddreißigfache** zu!*



633 Mio. t

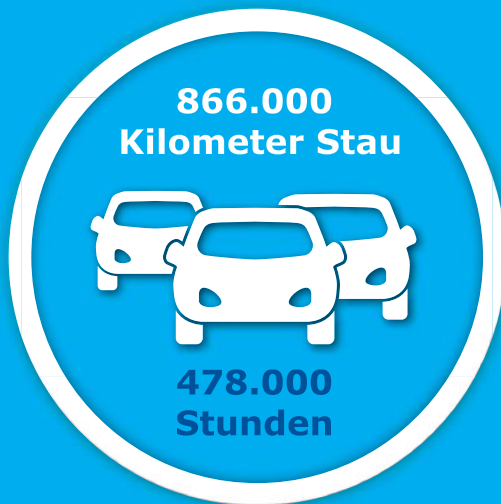
NATURSTEINE

Durch den Einsatz von
schlackenbasierten Baustoffen im
Verkehrswegebau
konnten seit 1949
633 Millionen Tonnen
Natursteine ersetzt werden!

SICHERE UND LANGLEBIGE STRASSEN

Straßen sollen lange halten, dem LKW-Verkehr trotzen, ein sicheres Fahren bei Regen gewährleisten und möglichst wenig Fahrgeräusche erzeugen. Straßenbaustoffe wie Asphalte, die Stahlwerksschlacken enthalten, erfüllen diese Anforderungen. Denn Gesteinskörnungen aus Schlacken verwittern kaum, halten dem Frost stand, bleiben sehr lange stabil und verfügen über eine enorme Tragfähigkeit. Sie haben eine lange Lebensdauer und sind unempfindlich gegen Hitze, was Spurrinnenbildung im Sommer minimiert.

Das Resultat: weniger Baustellen (und damit auch weniger Staus), weniger Schadstoffe und weniger Unfälle. Darüber hinaus genügen Baustoffe aus Schlacken auch den strengen Umwelanforderungen im Verkehrswegebau, etwa beim Gewässerschutz.



*Laut ADAC wurden 2025 in Deutschland **496.000 Staus** mit einer Gesamtlänge von 866.000 Kilometern verzeichnet, die den Verkehrsteilnehmenden insgesamt **478.000 Stunden** raubten. Eine der Hauptursachen: die anhaltend rege Bautätigkeit.*

Ein weiterer Vorteil von Schlackenprodukten: Sie lassen sich ganzjährig bei jeder Witterung problemlos verarbeiten. Das spart Zeit und Geld, Baustellen können früher aufgelöst werden.

Auch beim Bau von Wasserstraßen und Schleusen vertraut die Branche Betonen mit Schlacke. 50.000 m³ davon kamen zum Beispiel beim Bau der Kaiserschleuse in Bremerhaven, dem „Panamakanal des Nordens“, zum Einsatz.

Die hervorragenden technologischen Eigenschaften der Baustoffe werden durch die Vorgaben der Gütegemeinschaft Eisenhüttenschlacken e. V. gewährleistet, deren Anforderungen sogar über die gesetzlichen Regelungen hinausgehen.

Eisenhüttenschlacken sind zudem nicht wassergefährdend im Sinne der Verordnung zum Umgang mit wassergefährdenden Stoffen (AwSV) des Bundesumweltministeriums.



**0,5
Mio. t**

Aus **500.000 Tonnen
Schlacke** werden jährlich
Düngekalke für die
Landwirtschaft
hergestellt.

LEISTUNGSSTARKE UND UMWELTFREUNDLICHE DÜNGEMITTEL

Schlacken sorgen nicht nur für stabile Gebäude und unverwüstliche Straßen, sie lassen auch zarte Pflanzen gedeihen und halten Böden gesund. Denn durch Vermahlen oder Absieben von Schlacke entsteht Konverterkalk, der seit Jahrzehnten in der Landwirtschaft als Düngemittel geschätzt wird.

Von einem Dünger erwartet die Landwirtschaft einen guten Ertrag sowie den langfristigen Erhalt der Fruchtbarkeit unserer Böden – und Verbraucherinnen und Verbraucher einwandfreie Produkte. Forderungen, die Düngemittel mit Konverterkalk mehr als erfüllen. Neben der notwendigen Abpufferung der Versauerung im Boden enthalten sie zahlreiche für die Pflanzen wichtige Elemente wie Silizium, Magnesium, Calcium und Mangan. Konverterkalk kann auf allen Böden sowie für alle Kulturen verwendet werden. Der Einsatz von Konverterkalk schont natürliche Ressourcen und leistet einen wesentlichen Beitrag zur Ernährungssicherung.

Wie schon bei den Baustoffen müssen auch Düngemittel aus Schlacken gesetzliche Vorgaben einhalten. Neben der Qualität der Produkte steht bei den Kontrollen der Umweltschutz im Vordergrund. Dazu können die Expertinnen und Experten auch auf die Erfahrung von langjährigen Versuchen zurückgreifen, die mit schlackenhaltigem Dünger durchgeführt werden. Ergebnisse dazu wurden und werden weiterhin im Rahmen von Forschungsprojekten erarbeitet.

Dass schlackenhaltige Düngemittel aus ökologischer und gesundheitlicher Hinsicht unbedenklich sind, wurde durch umfangreiche Studien nachgewiesen.

60.000

„Upload für die Landwirtschaft“:

Auf 60.000 Tonnen wird das Rückgewinnungspotenzial von Phosphaten in Aschen aus Verbrennungsprozessen geschätzt. In einem vom Bundesministerium für Bildung und Forschung geförderten Projekt konnte der Mineralstoff in einem speziellen Verfahren mit Konverterschlacke zu einem effizienten Dünger verarbeitet werden.

VOM INDUSTRIELLEN NEBENPRODUKT ZUM ROHSTOFF DER ZUKUNFT

Bei der Produktion von Roheisen und Stahl entstehen Schlacken. Sie bilden sich ähnlich wie die Lava durch Abkühlung eines zwischen 1.500 und 1.600 Grad Celsius heißen Schmelzflusses. Ihre Zusammensetzung – vor allem Calcium-, Silicium- und Magnesiumoxid – ähnelt der magmatischer Gesteine. Aber anders als bei Vulkanen werden das Kühlen und Aushärten nicht dem Zufall überlassen.

Heute steuern unterschiedliche Verfahren diese Prozesse. Je nach Dauer und Art der Abkühlung werden die Korngröße, die physikalischen Eigenschaften und die chemische Zusammensetzung der Schlacke beeinflusst. Hüttensand zum Beispiel entsteht in kurzer Zeit durch die Granulation von flüssiger Hochofenschlacke mit Wasser und Luft, während zur Bildung von Hochofenstückschlacke die flüssige Schlacke in Beete gegossen wird und dort langsam erkalte.

Und auch für die weitere Verarbeitung der Schlacken sind das Know-how von Fachleuten und moderne Anlagen erforderlich. Das Ergebnis kann sich sehen lassen: homogene Gesteine mit konstanten Eigenschaften, exakt abgestimmt auf die speziellen Anwendungsbereiche in der Bau- und Landwirtschaft. Alle Produkte entsprechen den jeweiligen nationalen und europäischen Normen und erfüllen sämtliche umweltrelevanten Anforderungen.

Das Resultat: Schlacken sind ein begehrter Rohstoff, der zur ökonomischen und ökologischen Entwicklung beiträgt.



94 % der Eisenhüttenschlacken werden nach aufwendigen Herstellungsverfahren zu umweltfreundlichen Qualitätsprodukten wie zum Beispiel Zement, Beton, Asphalt und Dünger verarbeitet.

DIE TRANSFORMATION DER STAHLINDUSTRIE UND „NEUE SCHLACKEN“

Die Transformation der Stahlindustrie bedeutet eine Dekarbonisierung/Defossilisierung bei der Stahlherzeugung. Die Folgen: ein massiver Um- bzw. Neubau der integrierten Stahlwerke und daraus resultierend völlig veränderte Schlacken.

Eine Direktreduktionsanlage ersetzt den CO₂-intensiven Hochofen und erzeugt zunächst in einem schlackenfreien Prozess Eisenschwamm (DRI – Direct Reduced Iron). DRI wird in nachgeschalteten elektrischen Aggregaten eingeschmolzen. Hierbei entstehen neue Nebenpro-

dukte: zum einen im Schmelzreduktionsofen die ERS (ERS – Elektorroheisenschlacke), auch als SAF Schlacke (SAF – Submerged Arc Furnace) bezeichnet; zum anderen im Elektrolichtbogenofen durch Zugabe von Schrott und DRI die EAF Schlacke (EAF – Electric Arc Furnace).

Die Anwendungsmöglichkeiten der „neuen Schlacken“ als Baustoff, im Verkehrswegebau, als Düngemittel oder in neuen Einsatzgebieten werden derzeit erforscht. Zudem untersuchen die Fachleute, ob und wie diese Schlacken für eine optimale Nutzung konditioniert werden müssen.

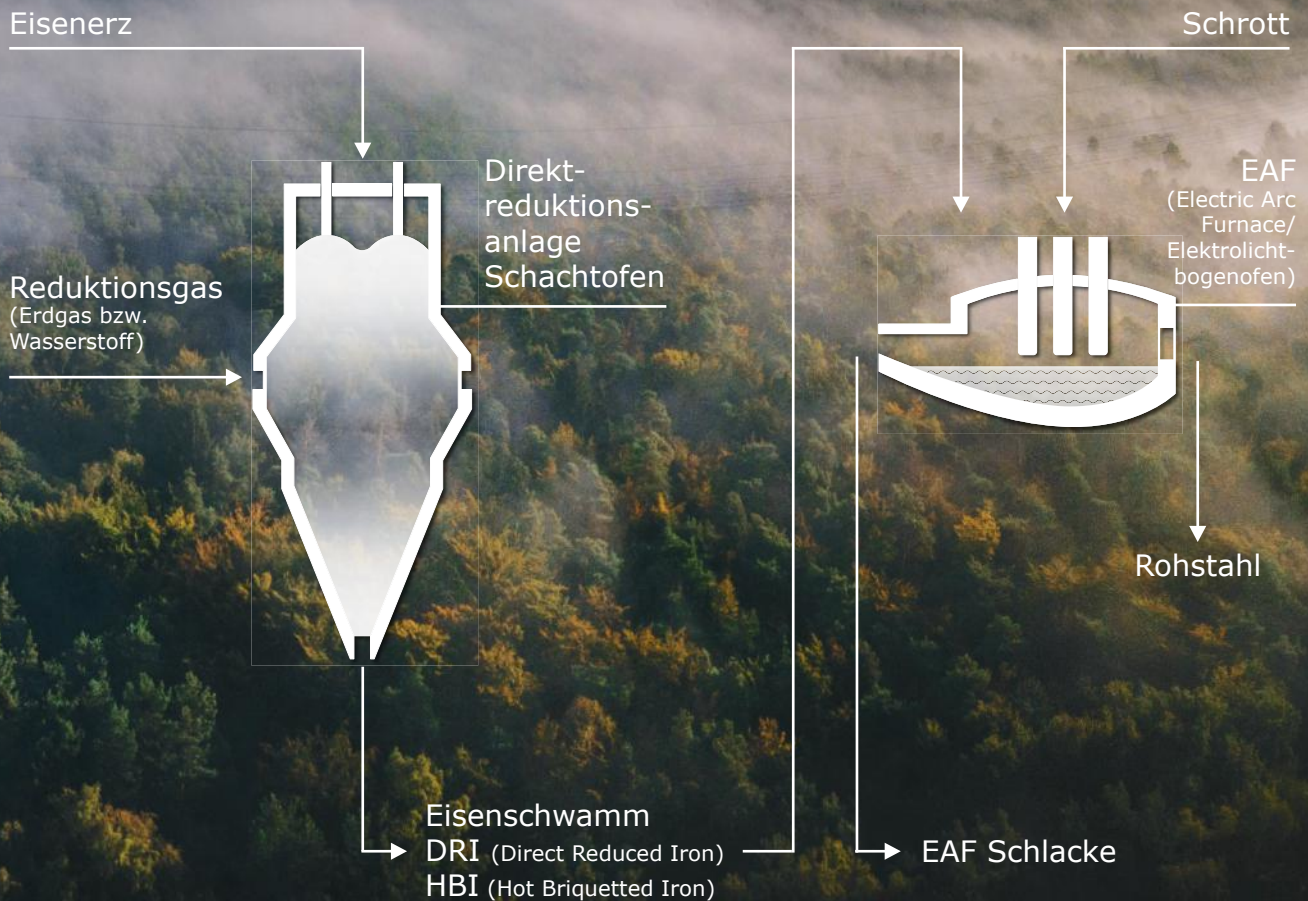
Das FEhS-Institut arbeitet schon seit 2013 in verschiedenen Forschungsprojekten zu diesen Themen. Seit 2021/2022 untersuchen die von Duisburg aus koordinierten Verbundvorhaben „SAVE CO₂“ (ERS) und „DRI-EOS“ (EAF Schlacke), wie in Zukunft anstelle des heutigen Hüttensands aus dem Hochofen ein alternativer CO₂-sparender Klinkerersatz für die Zementindustrie hergestellt werden kann.



Im Jahr 2025 konnten in Deutschland 94 % der insgesamt 10,9 Millionen Tonnen erzeugten Eisenhüttenschlacken in Baustoffen, im Verkehrsbau sowie in der Landwirtschaft genutzt werden.

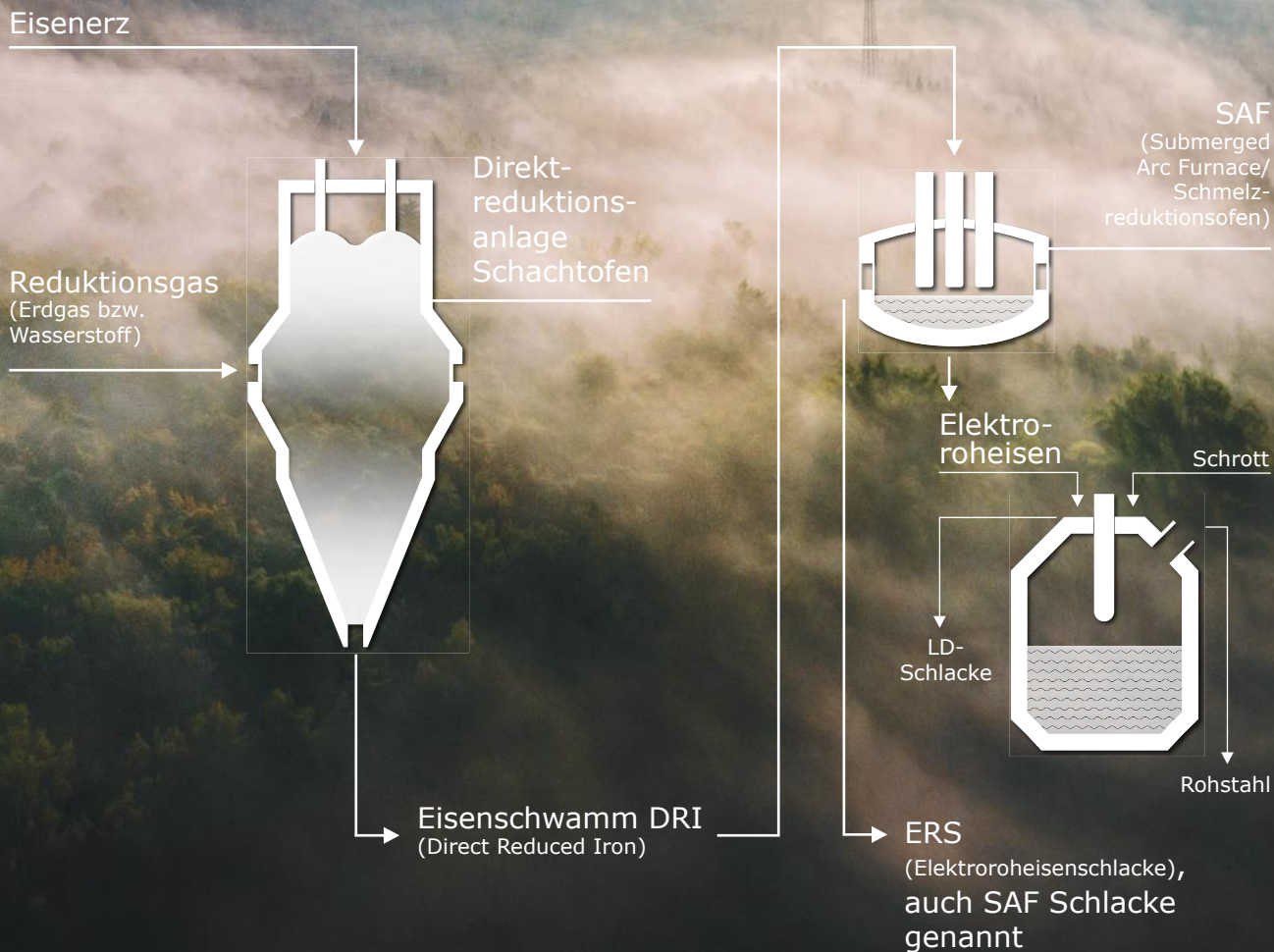
ROHSTAHLERZEUGUNG IN EINER DE

1-stufiges Verfahren



KARBONISIERTEN STAHLINDUSTRIE

2-stufiges Verfahren



The background of the image shows an industrial facility, likely a steel mill, with complex metal structures and pipes. A large, semi-transparent white circle is centered over the image, serving as a backdrop for the text. The text is in blue and black, with some words in bold. The overall scene is brightly lit, suggesting a sunny day.

6,3 Mio. t

HÜTTENSAND

Ein ressourcenschonender
und klimafreundlicher Baustoff:
Jährlich kommen in Deutschland
über 6 Millionen Tonnen
Hüttensand zum Einsatz.

FEHS – INSTITUT FÜR BAUSTOFF-FORSCHUNG E. V.

Das FEhS – Institut für Baustoff-Forschung e. V. in Duisburg ist seit Jahrzehnten ein im In- und Ausland anerkannter Ansprechpartner rund um Eisenhüttenschlacken. Die Schlacken-Profis arbeiten eng mit einem weit verzweigten Netzwerk aus Unternehmen und Industrieverbänden, Behörden und Ministerien, Gütegemeinschaften und Universitäten zusammen.

Im Mittelpunkt der Tätigkeiten der Ingenieurinnen und Ingenieure sowie Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler stehen zum einen die Forschung und die Prüfung. Die modernen Labore des FEhS-Instituts für Zement, Beton, Chemie, Mineralogie, Schlackenmetallurgie (inklusive mobilem Labor), Verkehrsbau und Düngemittel verfügen über zahlreiche Zulassungen. Über 120 sind von der Deutschen Akkreditierungsstelle (DAkkS) bestätigt und mit weiteren zahlreichen Zulassungen versehen. Das Arbeiten auf höchstem Niveau stellen überdies dezidierte Qualitätssicherungskonzepte und das Mitwirken bei internationalen Projekten sicher.

Das interdisziplinäre Team verfügt zudem über eine hohe Beratungskompetenz zu allen technischen und ökologischen Aspekten bei der Nutzung von Schlackenprodukten.

Ein herausragendes Beispiel hierfür ist das KompetenzForum Bau des FEhS-Instituts. Auf dieses Wissen vertrauen Bauunternehmen, Bauherren, Baustoffhersteller, Planer und Anlagenbetreiber weltweit – zum Beispiel bei Neubauten und Instandsetzungen, der Planung und Überwachung von Bauvorhaben oder bei Fragen zum Umweltschutz.





INSTITUT FÜR
BAUSTOFF
FORSCHUNG

FEHS

Find us on social media



FEHS – Institut für Baustoff-Forschung e. V. // Bliersheimer Straße 62 // 47229 Duisburg
Telefon: 02065 9945-0 // E-Mail: fehs@fehs.de // www.fehs.de

Impressum // **Herausgeber:** FEhS-Institut e. V., Duisburg // **Verantwortlich:** Thomas Reiche, Geschäftsführer
Konzept und Gestaltung: del din design // **Texte:** Heino Schütten, FEhS-Institut
Fotos: FEhS-Institut, Michael Wieschke, Adobe Stock (Igor),
Shutterstock (Andrey tiyk, Thawornnurak, mystical77, Cars and Travels, UlfFotoart)