Eisenhüttenschlacke

Wertvoller Rohstoff für ressourcenschonendes Wirtschaften

Stand 2024

04

ÖKONOMIE UND ÖKOLOGIE HAND IN HAND

Zukunftsweisend: Eisenhüttenschlacken 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 Hochofenstückschlacke erste Wahl

10

SICHERE UND LANGLEBIGE STRASSEN

Der Alleskönner: Herausragende Eigenschaften der Gesteinskörnungen aus Schlacken sorgen für sichere und nachhaltige Verkehrswege bei allen Witterungsbedingungen

12

LEISTUNGSSTARKE UND UMWELTFREUNDLICHE 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 Grundstein 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 den Duisburgern 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 Green Deal bzw. dem Circular Economy Action Plan 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!

Mit freundlichen Grüßen

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

Würde man alle seit 1949 in Deutschland verwendeten Schlacken – über eine Milliarde 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

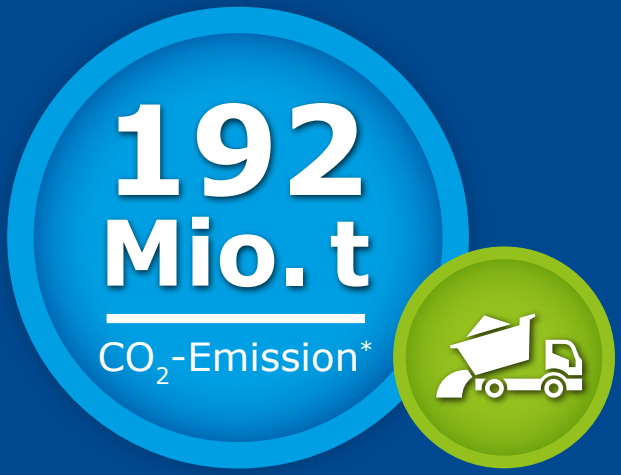
Eisenhüttenschlacken sind ein wertvoller Rohstoff, der bei der Produktion von Roheisen und Stahl entsteht. Je nach Herstellungsverfahren spricht man von Hochofenschlacke oder Stahlwerksschlacke. In modernen Verarbeitungsprozessen entstehen daraus Hüttensand, Gesteinskörnungen und Düngemittel, die seit 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 sogenannten Verwerter-Erlasse in Nordrhein-Westfalen, Einschätzungen des Umweltbundesamtes sowie Verordnungen des Bundesumweltministeriums. Dass Eisenhüttenschlacken ungefährlich sind und ohne Risiko eingesetzt werden können, belegen zahlreiche aktuelle Studien.

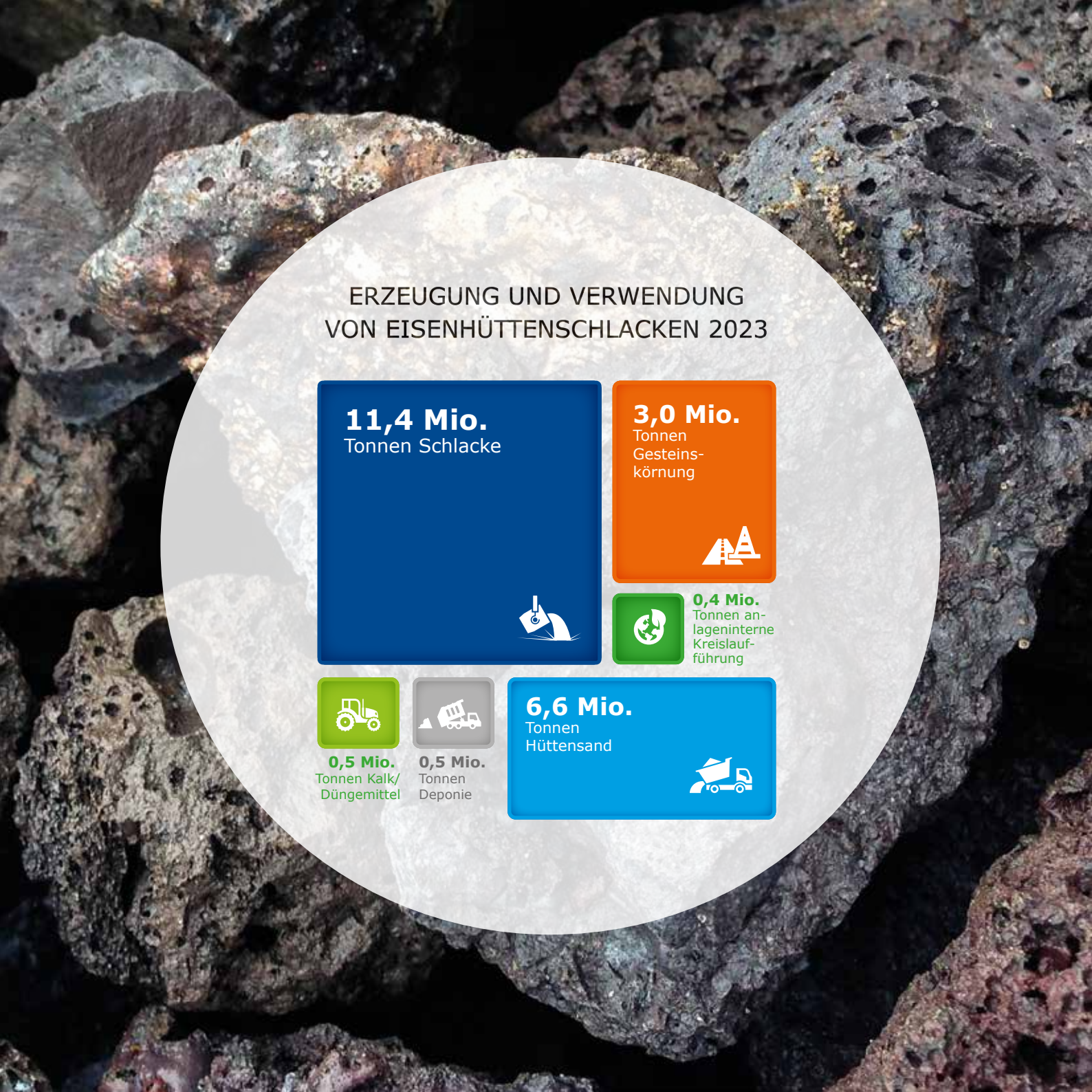
Wer wettbewerbsfähig sein will und gleichzeitig auf Umweltschutz setzt, muss die Ressourceneffizienz steigern. Die Verwendung von Eisenhüttenschlacken leistet hierzu einen wichtigen Beitrag. Ihr Einsatz reduziert die Emission des klimaschädlichen CO_2. Ferner kann der Abbau großer Mengen der Primärrohstoffe 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 5 % 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 192 Millionen Tonnen CO_2 vermieden werden.

**Anmerkung: Dieser Wert liegt durch die Neuberechnung der anteiligen CO2-Emissionen aus dem Hochofenprozess, die dem Hüttensand gemäß EN 15804 zugeschlagen werden, sowie unter Berücksichtigung der Fortschritte bei der Klinkererzeugung unter dem bisher für den gesamten Zeitraum genannten.*


ERZEUGUNG UND VERWENDUNG
VON EISENHÜTTENSCHLACKEN 2023
11,4 Mio.
Tonnen Schlacke
3,0 Mio.
Tonnen
Gesteins-
körnung
0,4 Mio.
Tonnen an-
lageninterne
Kreislauf-
führung
0,5 Mio.
Tonnen Kalk/
Düngemittel
0,5 Mio.
Tonnen
Deponie
6,6 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. Dafür sorgen sehr hohe Temperaturen beim Entstehungsprozess, ähnlich wie bei magmatischen Gesteinen, und moderne Verfahren bei der Verarbeitung.

BEWÄHRTE QUALITÄT

Architekt*innen, Ingenieur*innen und Bauherr*innen 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 Expert*innen 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 haben Wissenschaftler*innen im Schwarzwald bei einem Dauerdüngungsversuch mit schlackenhaltigem Thomasphosphat die Wirkung auf Ertrag und Artenvielfalt von Dauergrünland demonstriert.*

408 Mio. t

Allein durch die Verwendung von Hüttensand in Zement konnten seit 1949 **408 Millionen Tonnen Naturstein** ersetzt werden – diese Menge würde rund 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 Expert*innen, 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 2023 allein in Deutschland auch 192 Millionen Tonnen* CO_2 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!*

**Anmerkung: Dieser Wert liegt durch die Neuberechnung der anteiligen CO2-Emissionen aus dem Hochofenprozess, die dem Hüttensand gemäß EN 15804 zugeschlagen werden, sowie unter Berücksichtigung der Fortschritte bei der Klinkererzeugung unter dem bisher für den gesamten Zeitraum genannten.*

626 Mio. t

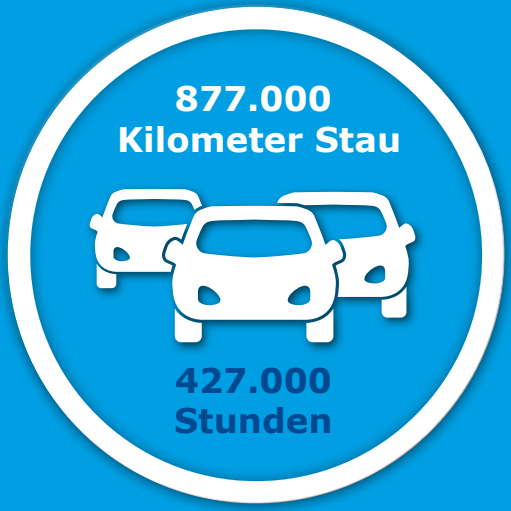
NATURSTEINE

Durch den Einsatz von
schlackenbasierten Baustoffen im
Verkehrswegebau
konnten seit 1949
626 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, verfügen über eine enorme Tragfähigkeit, 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 Umweltanforderungen im Verkehrswegebau, etwa beim Gewässerschutz.



*Laut ADAC wurden 2023 in Deutschland **504.000 Staus** mit einer Gesamtlänge von 877.000 Kilometern verzeichnet, die den Verkehrsteilnehmern insgesamt **427.000 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 einer **halben Million Tonne 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 und den langfristigen Erhalt der Fruchtbarkeit unserer Böden – und der 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 Expert*innen 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 den magmatischen Gesteinen. 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 langsam erkaltet.

Und auch für die weitere Verarbeitung der Schlacken sind das Know-how von Expert*innen 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.

92 % 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 Stahlerzeugung. Die Folgen: ein massiver Um- bzw. Neubau der integrierten Stahlwerke und daraus resultierend völlig veränderte Schlacken.

Eine Direktreduktionsanlage ersetzt den CO_2-intensiven Hochofen und erzeugt zunächst in einem schlackenfreien Prozess Eisenschwamm (DRI – Direct Reduced Iron). DRI wird in nachgeschalteten elektrischen Aggregaten eingeschmolzen. Hierbei entstehen neue Nebenprodukte: zum einen im Schmelzreduktionsofen die ERS (ERS – Elektroroheisenschlacke), 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).

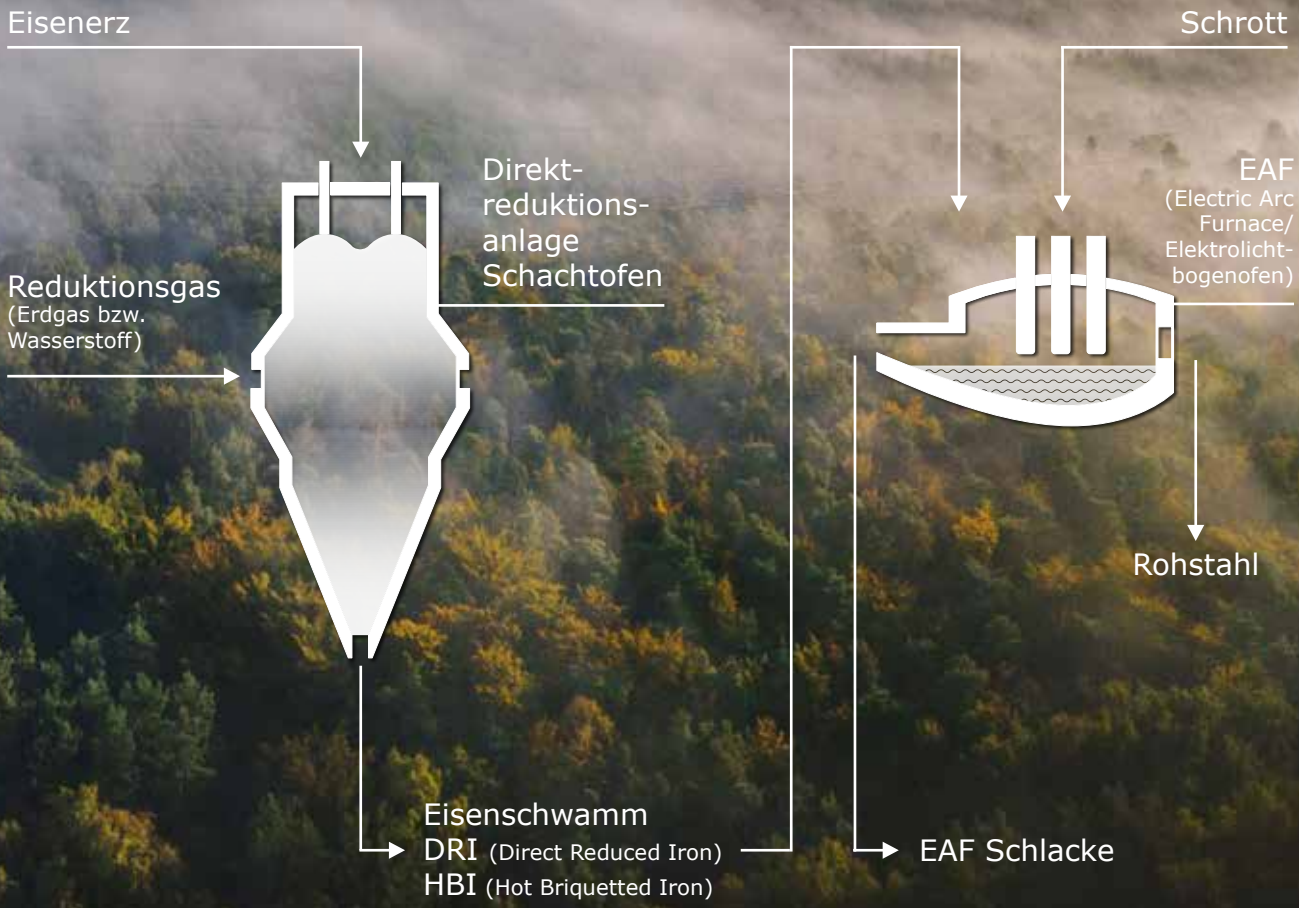
Im Jahr 2023 konnten in Deutschland 92 % der insgesamt 11,4 Millionen Tonnen erzeugten Eisenhüttenschlacken in Baustoffen, im Verkehrsbau sowie in der Landwirtschaft genutzt werden.

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 den Duisburger*innen koordinierten Verbundvorhaben „SAVE CO_2“ (ERS) und „DRI-EOS“ (EAF Schlacke), wie in Zukunft anstelle des heutigen Hüttensands aus dem Hochofen ein alternativer CO_2-sparender Klinkerersatz für die Zementindustrie hergestellt werden kann.

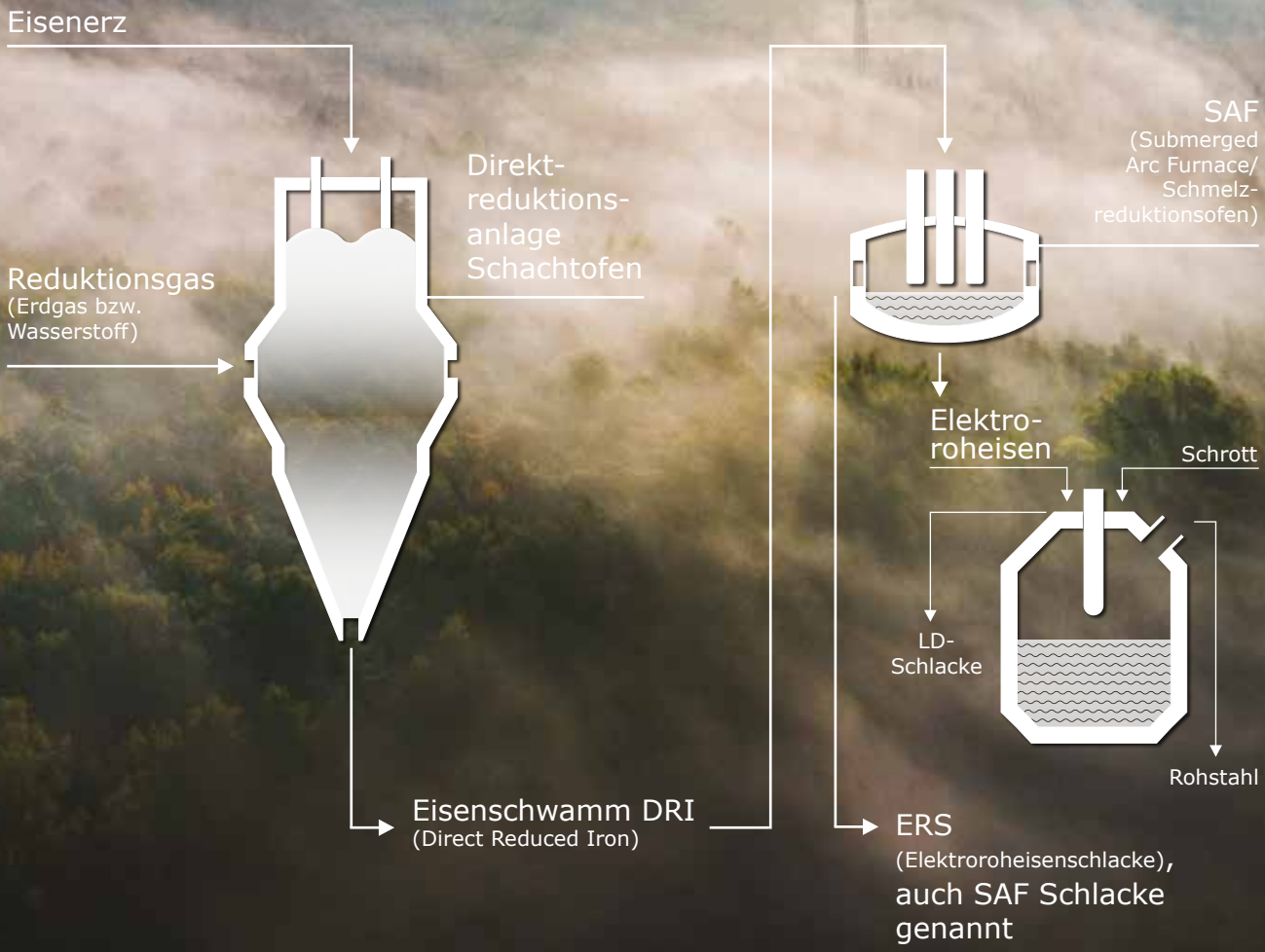
ROHSTAHLERZEUGUNG IN EINER DE

1-stufiges Verfahren



KARBONISIERTEN STAHLINDUSTRIE

2-stufiges Verfahren



6,6 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 Ingenieur*innen und Wissenschaftler*innen 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 70 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 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, UlfsFotoart)