

Technische und ökologische Rahmenbedingungen bei der Verwendung von Stahlwerksschlacke

Ruth Bialucha, Thomas Merkel und Heribert Motz

1.	Entstehung von Stahlwerksschlacken und Haupteinsatzgebiete	133
2.	Technische Rahmenbedingungen.....	136
3.	Ökologische Rahmenbedingungen	138
3.1.	Prüfverfahren zur Bewertung der Auslaugbarkeit	138
3.2.	Langfristiges Auslaugverhalten von Stahlwerksschlacken	139
3.3.	REACH-Verordnung.....	142
3.4.	Ersatzbaustoffverordnung.....	143
4.	Forschung und Qualitätssicherung	146
5.	Zusammenfassung und Ausblick.....	147
6.	Literatur.....	148

Seit Ende des zweiten Weltkrieges wurden in Deutschland etwa eine Milliarde Tonnen Eisenhüttenschlacke erzeugt und im Wesentlichen als Baustoff und Düngemittel eingesetzt. Bereits lange vor dieser Zeit hat die deutsche Stahlindustrie jedoch erkannt, dass die Verwendung von Schlacken nur dann dauerhaft erfolgreich sein kann, wenn begleitend zur Erzeugung von Stahl auch den Nebenprodukten durch kontinuierliche Forschung und Entwicklung große Bedeutung beigemessen wird. Diese Arbeiten erfolgten lange Zeit vor allem vor dem Hintergrund von nationalen Gesetzen und Regelwerken. In einem mehr und mehr zusammenwachsenden Europa müssen aber zunehmend auch europäische Vorgaben beachtet werden, die nicht nur die technischen, sondern inzwischen auch die ökologischen Anforderungen an Baustoffe und Düngemittel betreffen. Der folgende Beitrag soll am Beispiel der Stahlwerksschlacken (Konverter- und Elektroofenschlacken) zeigen, dass diese Schlacken heute hochwertige Produkte darstellen, die vor dem Hintergrund guter technischer und ökologischer Eignung, basierend auf einer umfangreichen regelmäßigen Qualitätssicherung, eingesetzt werden.

1. Entstehung von Stahlwerksschlacken und Haupteinsatzgebiete

Die Erfüllung der heutigen Qualitätsansprüche an den Stahl erfordert die Erzeugung in einem mehrstufigen Prozess (Bild 1). In allen Verfahrensstufen entstehen als Nebenprodukte Eisenhüttenschlacken, die in Hochofen- und Stahlwerksschlacken untergliedert werden.

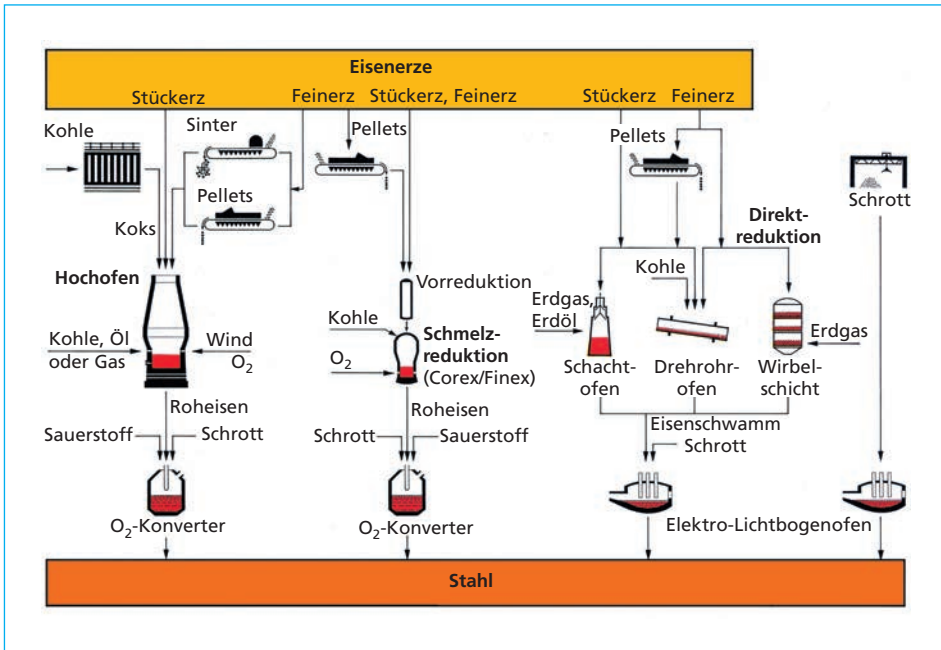


Bild 1: Heute übliche Wege zur Erzeugung von Stahl

Gemäß DIN 4301 [2] ist Stahlwerksschlacke die Gesteinsschmelze, die bei der Herstellung von Stahl produziert wird. Sie wird nach dem jeweiligen Stahlerzeugungsverfahren bezeichnet: LD-Schlacke (LDS) aus dem Linz-Donawitz-Verfahren (Blasstahlverfahren, Konverterverfahren), Elektroofenschlacke (EOS) aus dem Elektroofenverfahren. Die flüssige Stahlwerksschlacke wird in der Regel in Beeten langsam an Luft abgekühlt, so dass eine kristalline Stückschlacke entsteht, die anschließend durch Aufbereitungstechnik zu Produkten, wie z.B. Gesteinskörnungen und Baustoffgemischen für den Straßenbau, verarbeitet wird (Bild 2). Neben diesen Primärschlacken werden im Stahlerstellungsprozess im Rahmen der Nachbehandlung des Rohstahls auch noch sekundärmetallurgische Schlacken erzeugt.



Bild 2: Abguss von Stahlwerksschlacke ins Beet (links) und Aufbereitung zum verkaufsfähigen Endprodukt (rechts)

Lange Zeit war der Absatz von Stahlwerksschlacke auf die Verwendung als Düngemittel fokussiert [3]. Ansonsten erfolgte – neben dem Einsatz als einfaches Schüttmaterial – insbesondere eine werksinterne metallurgische Nutzung als Kalk- und Eisenträger. Die Verwendung als Baustoff dagegen hat erst in den letzten Jahrzehnten, etwa seit 1970, zunehmend an Bedeutung gewonnen [4, 5].

In den vergangenen Jahren wurden in Deutschland – lässt man das durch die Wirtschaftskrise dominierte Jahr 2009 einmal außer Betracht – jeweils etwa sechs bis sieben Millionen Tonnen Stahlwerksschlacke hergestellt [6]. Etwas mehr als die Hälfte hiervon wird im LD-Konverterverfahren als LD-Schlacke (LDS) produziert. Etwa ein Viertel entsteht im Elektrolichtbogenofenprozess bei der Erzeugung von Massen- und Qualitätsstahl als Elektroofenschlacke (EOS). Die übrigen Stahlwerksschlacken sind solche aus nachgeschalteten Prozessen sowie aus der Edelstahlherzeugung. Bild 3 zeigt die Verteilung im Jahr 2010 auf die unterschiedlichen Nutzungsgebiete.

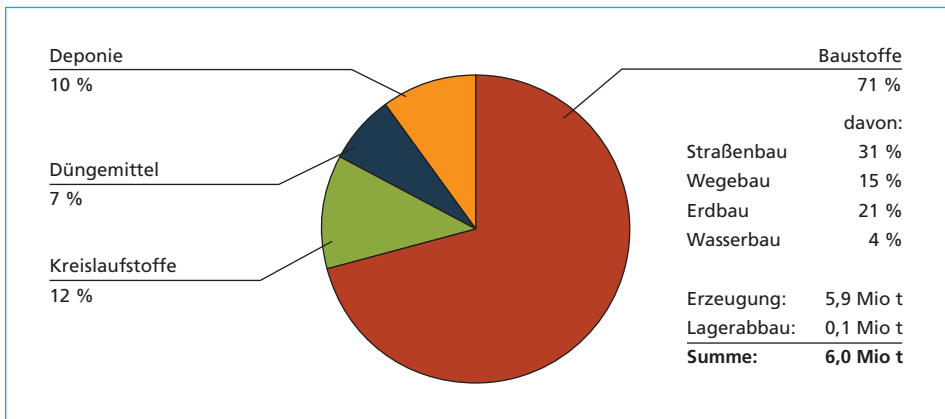


Bild 3: Nutzung von Stahlwerksschlacke in Deutschland 2010

Diese Verteilung kann durchaus als typisch für die Verteilung in den letzten Jahren angesehen werden: Zwischen zehn und zwanzig Prozent der erzeugten Schlacken werden als Kalk- und Eisenträger wieder in den metallurgischen Kreislauf zurückgeführt, zwischen sechs und zehn Prozent werden als Kalkdüngemittel vermarktet. Die deponierte Menge an Stahlwerksschlacke lag in den letzten Jahren recht konstant bei etwa zehn Prozent. Deponiert werden einerseits feinkörnige Schlacken, die auf einen weitgehend gesättigten Markt treffen, außerdem Schlacken mit unzureichender Raumbeständigkeit sowie ein Teil der Schlacken aus der Erzeugung hochlegierter Stähle, für die entsprechende Anwendungsgebiete bisher fehlen.

Für Europa liegen derzeit Zahlen zur Produktion und Nutzung aus dem Jahr 2008 vor. Es wurden insgesamt 17,6 Millionen Tonnen Stahlwerksschlacken erzeugt. Der Verbleib (Bild 4) zeigt einen etwas geringeren Anteil interner metallurgischer Nutzung sowie Nutzung als Düngemittel. Während die deponierte Menge geringer ist, wurde jedoch ein nicht unerheblicher Anteil von 15 Prozent für spätere Nutzung zwischengelagert. Der mit Abstand wichtigste Bereich ist mit 62 Prozent der Straßenbau. Unter dieser Bezeichnung werden auch der Wegebau und der straßenbegleitende Erdbau erfasst, so dass sich alles in allem die Verteilung nur unwesentlich von der Aufteilung auf die Nutzungsgebiete in Deutschland unterscheidet.

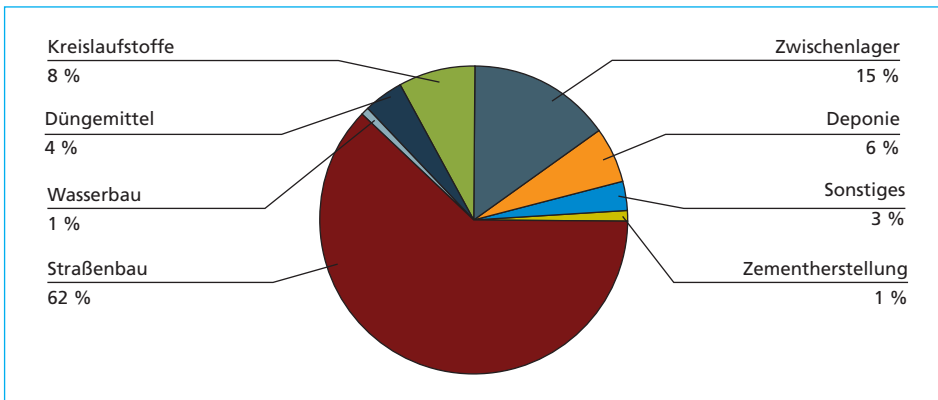


Bild 4: Nutzung von Stahlwerksschlacke in Europa 2008

2. Technische Rahmenbedingungen

Wie aus den Bildern 3 und 4 hervorgeht, dominiert bei der Anwendung von Stahlwerksschlacken im Bauwesen der Straßenbau einschließlich Wege- und Erdbau sowie der Wasserbau. Die hierzu herzustellenden Gesteinskörnungen und Baustoffgemische unterliegen seit jeher anwendungsbezogenen Anforderungen, die in DIN-Normen und anderen Regelwerken, z.B. der Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen, Köln, beschrieben werden.

Lange Zeit waren Anforderungen an Gesteinskörnungen und Baustoffgemische national geregelt. In Deutschland sprach man damals von Mineralstoffen, sobald es sich um Gesteine für den Straßenbau handelte, und von Zuschlägen bei der Anwendung im Beton. Um den durch die europäischen Verträge angestrebten freien Warenverkehr voranzubringen, wurden sowohl Anforderungen als auch Prüfvorschriften in europäisch harmonisierten Normen für Gesteinskörnungen niedergelegt, wie es heute zusammenfassend für Mineralstoffe und Zuschläge heißt. Inzwischen wurden diese europäischen Normen in nationale Regelwerke umgesetzt. Somit wurde auch in Deutschland dieses neue europäisch harmonisierte Regelwerk für den Straßenbau in den letzten Jahren eingeführt. Ausnahmen sind Anforderungen an die Umweltverträglichkeit von Baustoffen. Insbesondere bei industriell hergestellten und rezyklierten Gesteinskörnungen wird eine Prüfung der Umweltverträglichkeit – in der Regel eine Prüfung hinsichtlich der auslaugbaren Stoffe – gefordert. Da diesbezüglich bisher europäisch keine Einigung erfolgte, schreiben die aktuellen europäischen Regelwerke vor, dass die Anforderungen am Ort des Einsatzes zu beachten sind. Damit gelten jeweils nationale Regelungen.

Hinsichtlich der technischen Eigenschaften von mineralischen Straßenbaustoffen und somit auch für Stahlwerksschlacken sind im Wesentlichen vier europäische Normen von Bedeutung:

- EN 12620 *Gesteinskörnungen für Beton,*
- EN 13043 *Gesteinskörnungen für Asphalt und Oberflächenbehandlungen für Straßen, Flugplätze und andere Verkehrsflächen,*
- EN 13242 *Gesteinskörnungen für ungebundene und hydraulisch gebundene Gemische im Ingenieur- und Straßenbau,*
- EN 13285 *Ungebundene Gemische – Anforderungen.*

Weitere Gebiete im Verkehrswegebau werden durch zwei zusätzliche europäische Normen erfasst:

- EN 13383-1 *Wasserbausteine – Anforderungen*,
- EN 13450 *Gleisschotter*.

In den genannten Normen werden gesteinspezifische Anforderungen formuliert. Dies sind beispielsweise Anforderungen an die Festigkeit und die Frostbeständigkeit, für Stahlwerksschlacken auch die Anforderungen an die Raumbeständigkeit. Die EN 13285 ergänzt die EN 13242 um gemischspezifische Anforderungen, d.h. insbesondere Anforderungen an die Korngrößenverteilung.

Die Prüfung der in den o. g. Normen definierten Anforderungen erfolgt nach vereinheitlichten Prüfverfahren. Hier sind folgende Normenreihen zu nennen, die jeweils aus mehreren Einzelnormen bestehen:

- EN 932 *Prüfverfahren für allgemeine Eigenschaften von Gesteinskörnungen*,
- EN 933 *Prüfverfahren für geometrische Eigenschaften von Gesteinskörnungen*,
- EN 1097 *Prüfverfahren für mechanische und physikalische Eigenschaften von Gesteinskörnungen*,
- EN 1367 *Prüfverfahren für thermische Eigenschaften und Verwitterungsbeständigkeit von Gesteinskörnungen*,
- EN 1744 *Prüfverfahren für chemische Eigenschaften von Gesteinskörnungen*.

Das Konzept sieht vor, dass die Prüfungen europaweit nach den genannten Prüfnormen durchgeführt werden, damit die Ergebnisse vergleichbar sind. Hinsichtlich der Anforderungen sind in den o.g. Produktnormen für einen Großteil der Eigenschaften unterschiedliche Anforderungsniveaus (sogenannte Kategorien) definiert, aus denen im Rahmen der nationalen Umsetzung der europäischen Normen ausgewählt werden kann. Es ist unmittelbar einleuchtend, dass die Einhaltung in Skandinavien sinnvoller Anforderungen hinsichtlich der Frostbeständigkeit von Gesteinen in Süditalien nicht erforderlich ist.

Als Haupteinsatzgebiete im Bauwesen können (vgl. Kapitel 1) der Straßen-, Wege- und Erdbau, der Gleisbau und der Wasserbau identifiziert werden. Dabei garantieren beispielsweise die kubische Kornform und raue Oberfläche der Stahlwerksschlacke hervorragende Tragfähigkeiten beim Bau von Tragschichten ohne Bindemittel, die sich auch bei ungünstigen Witterungsbedingungen problemlos einbauen und direkt befahren lassen. Ungebundene Deckschichten verfestigen durch die in den Stahlwerksschlacken enthaltenen Kalkanteile und bewirken damit eine Verbesserung der Tragfähigkeit und Lebensdauer. Gleichzeitig wird die Staubbelastung der Umgebung minimiert. Auch Asphalttschichten unter Verwendung von Stahlwerksschlacke weisen einen hohen Verformungswiderstand auf sowie – bei Verwendung in Deckschichten – eine sehr gute Griffigkeit. Beim Einsatz als Wasserbaustein, beispielsweise zur Uferbefestigung, bewirken letztlich die gute Verzahnung und die hohe Rohdichte $> 3,2 \text{ g/cm}^3$ (hohes Gewicht) einen ausgezeichneten Widerstand gegen Verlagerung durch Strömung oder Wellenschlag (Bild 5).



Bild 5: Einsatz von Stahlwerksschlacke in Asphalt-schichten (oben links), ungebundenen Tragschichten (oben rechts), Tragschichten für den Gleisbau (unten links) und zur Uferbefestigung (unten rechts)

Die vielfältigen guten Erfahrungen haben dazu geführt, dass Stahlwerksschlacke heute im Regelwerk für den Straßen- und Wasserbau gleichberechtigt neben den Naturgesteinen behandelt wird, sowohl auf nationaler als auch auf europäischer Ebene.

3. Ökologische Rahmenbedingungen

Der Begriff Ökologie ist sicher vielfältig besetzt, er wird aber heute oft dazu benutzt, Handlungsweisen, die dem Umweltschutz oder einem nachhaltigen Wirtschaften dienen, zu beschreiben. Hierzu wurde in den vergangenen Jahren eine Vielzahl von Gesetzen, untergesetzlichen Verordnungen, Normen und Merkblättern entwickelt, die ökologisch verträgliche Anwendung u.a. auch von Baustoffen gewährleisten sollen. Nachfolgend werden einige für die Verwendung von Stahlwerksschlacken wichtige Voraussetzungen aus ökologischer Sicht erläutert.

3.1. Prüfverfahren zur Bewertung der Auslaugbarkeit

Eisenhüttenschlacken können sich wie andere industrielle Nebenprodukte nicht der Frage entziehen, inwieweit bei ihrer Anwendung z.B. als Baustoff eine Beeinflussung der Umwelt erfolgt. Im Vordergrund steht dabei meist die Bewertung ihrer Auslaugeigenschaften in Kontakt mit Wasser und die sich daraus möglicherweise ergebenden Beeinflussungen von Boden und Grundwasser. Die demzufolge aufkommenden Fragestellungen hat die Stahlindustrie frühzeitig erkannt und aus diesem Grunde bereits 1967 und 1971 in ihrer

Reihe *Stahl-Eisen-Prüfblätter* Auslaugverfahren für die Untersuchung von stückigen und körnigen Mineralstoffen sowie eigens für Hochofenschlacke beschrieben [7, 8]. Diese Verfahren bildeten damals erstmals eine definierte Grundlage, um das Auslaugverhalten von Eisenhüttenschlacken zu beschreiben.

Generell wurde seit dieser Zeit in Deutschland und in Europa eine Vielzahl von Laborprüfverfahren entwickelt, um unterschiedliche Auslaugszenarien bewerten zu können. Diese Prüfverfahren lassen sich in die folgenden Gruppen unterscheiden:

- Stand- bzw. Trogverfahren,
- Schüttelverfahren,
- Säulenverfahren (gesättigte bzw. ungesättigte Perkolation).

Dadurch, dass durch die unterschiedliche Entwicklungsgeschichte der Verfahren diese europaweit mit abweichenden Rahmenbedingungen, wie z.B. Wasser/Feststoffverhältnis, Säulendurchmesser oder Auslaugzeit angewandt werden, ist eine Vergleichbarkeit der Eluat-ergebnisse kaum möglich. Daher wird versucht, auf europäischer Ebene unter dem Dach von CEN im Aufgabenbereich von *Technical Committees* (CEN/TC) die Durchführung der Prüfverfahren zu harmonisieren, um damit zumindest unter Vergleich- und Wiederholbedingungen übereinstimmende Ergebnisse zu erhalten. Diese Arbeiten wurden in der Vergangenheit für Abfälle im gleichnamigen CEN/TC 292 durchgeführt, für Baustoffe ist hierfür der CEN/TC 351 *Gefährliche Substanzen* verantwortlich.

In Deutschland war lange Zeit das so genannte S4-Verfahren [9], welches mit einem Wasser/Feststoff-Verhältnis von 10:1 arbeitet, das gängige Verfahren, um die Auslaugbarkeit von Mineralstoffen für den Straßenbau zu bewerten. Abgelöst wurde es später durch das modifizierte S4-Verfahren [10], das beispielsweise Modifikationen hinsichtlich der zu untersuchenden Mengen und Körnungen enthielt. Dieses Verfahren bildete die Grundlage für verschiedene nationale und regionale Regelwerke, die zulässige Anwendungsgebiete insbesondere von industriellen Nebenprodukten festlegen. Als Beispiel seien hier die Regelwerke der Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen sowie der Länderarbeitsgemeinschaft Abfall – LAGA genannt. Durch die langjährige Anwendung des S4-Verfahrens besteht hierzu ein umfangreicher Datenpool für die meisten Stoffe, der über eine vergleichende Bewertung der Auslaugbarkeit eine Einschätzung von möglichen Auswirkungen auf das Grund- und Oberflächenwasser ermöglicht. Für Stahlwerksschlacken sind in der Regel neben dem stofftypischen pH-Wert und der elektrischen Leitfähigkeit die Parameter, Fluorid, Chrom und teilweise Vanadium im Eluat zu untersuchen. Nach neueren Erkenntnissen kann auch der Parameter Molybdän für SWS umweltrelevant sein, dessen Auslaugverhalten zurzeit im Rahmen eines AiF-Forschungsvorhabens durch das FEHS-Institut untersucht wird.

3.2. Langfristiges Auslaugverhalten von Stahlwerksschlacken

Die Frage der Übertragbarkeit von Laborergebnissen auf die Praxis wird in den Fachgremien seit vielen Jahren diskutiert. Das FEHS-Institut baut daher immer wieder Versuchsstrecken, bei denen durch entsprechende Einbauten (Lysimeter, Saugkerzen) die tatsächlich in einem Straßenkörper entstehenden Sickerwässer zur analytischen Bewertung aufgefangen werden. Um auch für die im Rahmen der neuen Ersatzbaustoffverordnung (EBV) zu erwartenden Diskussionen zu möglichen Einsatzgebieten von Stahlwerksschlacken gerüstet zu sein, wurde daher bereits 2005 damit begonnen, in der Nähe von Kehl im Rahmen einer regulären Ausbaumaßnahme eines ländlichen Weges Versuchsabschnitte mit entsprechenden

Einbauten zur Erfassung von Sickerwässern zu errichten. Ziel eines von der AiF geförderten Forschungsvorhabens [11] war es, das langfristige Verhalten von Elektroofenschlacke (EOS) sowie einem Gemisch aus EOS und einer sekundärmetallurgischen Stahlwerksschlacke (SEKS) im Vergleich zu Naturgestein (Granit) bei der Verwendung in ungebundenen, durchsickerfähigen Schichten ländlicher Wege hinsichtlich ihrer bautechnischen Eigenschaften, ihrer Verstaubungsneigung und insbesondere ihrer Umweltverträglichkeit zu untersuchen.

Nach einer inzwischen mehr als sechsjährigen Beobachtungszeit kann als Fazit der umfassenden Untersuchungen zum Auslagverhalten der verwendeten Materialien konstatiert werden, dass aus dem Versuchsweg keine für die Umwelt nachteiligen Auslaugungen in das Grundwasser stattfinden.

Sowohl bei Laborversuchen (verschiedene Schüttel- und Perkolationsverfahren) als auch bei Lysimeterversuchen im halbertechnischen Maßstab laugten bei der untersuchten Elektroofenschlacke ebenso wie bei dem Naturgestein teilweise umweltrelevante Parameter in höheren Konzentrationen aus. Dagegen wurden in den Sickerwässern, die aus dem Auffanggefäß unter der EOS-Schicht des Versuchswegs aufgefangen wurden, wesentlich geringere Konzentrationen gemessen. Bild 6 enthält ein Beispiel, das die unterschiedlichen Konzentrationsniveaus von Laborlysimeterversuchen im Vergleich zu dem Praxisversuch verdeutlicht. Die unter dem Versuchsweg mittels Saugkerzen aufgefangenen Sickerwässer zeigten noch niedrigere Konzentrationen an Chrom, Molybdän, Vanadium und Fluorid, meist unterhalb der Bestimmungsgrenze. Dass auch Naturgesteine umweltrelevante Parameter in gut messbaren Konzentrationen auslaugen können, verdeutlicht Bild 7, in der die Auslaugung von Arsen aus dem im Vergleichsabschnitt verwendeten Granit dargestellt ist.

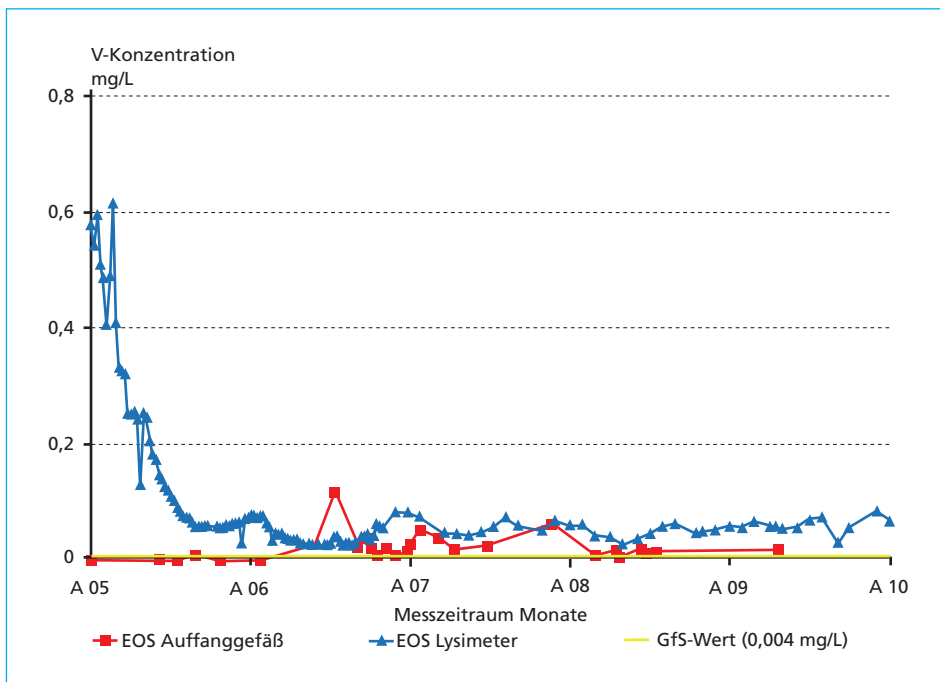


Bild 6: Unterschiedliche Niveaus von V-Konzentrationen in Sickerwässern aus halbertechnischen Laborlysimetern bzw. aus einem Auffanggefäß unter der EOS-Tragschicht eines Versuchswegs

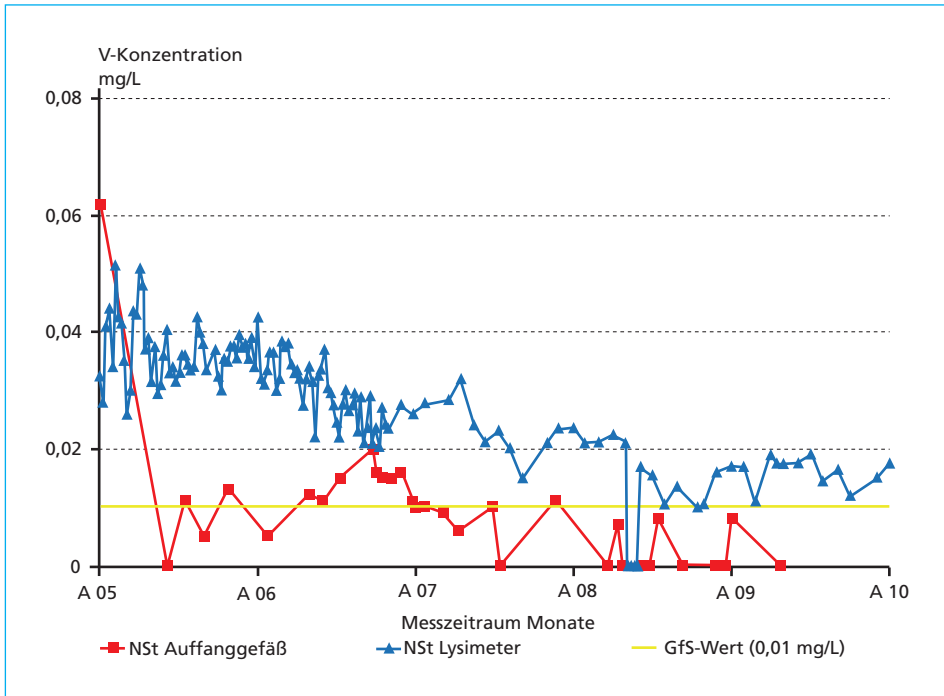


Bild 7: As-Konzentrationen in Sickerwässern aus halbtechnischen Laborlysimetern bzw. aus einem Auffanggefäß unter der Naturstein-Tragschicht eines Versuchswegs

Somit ist eine direkte Übertragung der Ergebnisse aus Laborversuchen – auch aus Lysimeterversuchen im halbtechnischen Maßstab – auf die Ergebnisse der Freilandversuche bezüglich der mobilisierten Frachten nicht ohne weiteres möglich. Selbst der Verlauf der Stofffreisetzung unterscheidet sich z.T. von Verfahren zu Verfahren sehr deutlich. Die Differenzen können u.a. auf Unterschieden bzgl. Materialmengen und -körnungen, Verdichtung der Materialien, L/S-Verhältnissen sowie Beregnungszyklen und Auslaugwässern beruhen. Laborverfahren überzeichnen in der Regel die Auslaugreaktionen deutlich gegenüber praktischen Einbaubedingungen. Sie sind aber grundsätzlich dazu geeignet, Tendenzen bei der Freisetzung umweltrelevanter Parameter zu erkennen und typische Elemente, die Einfluss auf die Umweltverträglichkeit nehmen könnten, zu identifizieren.

Darüber hinaus haben auch ökotoxikologische Untersuchungen an den für den Versuchsweg verwendeten Stahlwerksschlacken die gute Umweltverträglichkeit dieser Baustoffe bestätigt. Die im Hinblick auf die Toxizität gegenüber Wasserorganismen durchgeführten Untersuchungen zeigten, dass die Wirkkonzentrationen der verwendeten Elektroofenschlacke deutlich außerhalb der als wassergefährdend geltenden Kriterien der akuten Toxizität gegenüber Fischen und Daphnien sowie der Toxizität gegenüber Algen liegen. Auch gegenüber Leuchtbakterien wies die untersuchte Schlacke keine Toxizität auf. Eine Verlagerung stofftypischer Inhaltsstoffe durch Verstaubung der Oberfläche des Versuchswegs konnte nicht nachgewiesen werden. Vielmehr tritt bereits nach kurzer Zeit eine deutliche Verfestigung der Schlacke auf, die auf Karbonatisierungseffekte zurückzuführen ist und damit einer Verstaubung entgegen wirkt.

Bei der Bewertung der Ergebnisse, die an dem oben beschriebenen Versuchsweg erhalten wurden, muss allerdings berücksichtigt werden, dass der im Umfeld des Versuchswegs anstehende Boden stark bindig ist und hohe Lehmenteile enthält. Ein solcher Boden hat eine sehr hohe Ab- und Adsorptionskapazität, so dass auch nach nunmehr über sechsjähriger Beobachtungszeit der Einfluss der untersuchten Mineralstoffe auf den unterlagernden Boden kaum deutlich wird. Dies ist zunächst einmal ein durchaus positives Ergebnis. Es verdeutlicht, dass unter solchen Bodenverhältnissen auch nach langer Zeit kein negativer Einfluss der verwendeten Stahlwerksschlacken erkennbar ist. Auf der anderen Seite lassen sich die an diesem speziellen Standort erhaltenen Ergebnisse aber nicht ohne weiteres auf andere Bodenverhältnisse übertragen. Insbesondere kann keine Aussage darüber getroffen werden, wie sich die Mineralstoffe auf leichten, gut durchlässigen Böden verhalten würden.

Daher werden derzeit im Rahmen eines neuen Forschungsvorhabens, das im August 2009 gestartet wurde, ähnliche Versuche, allerdings an einem Standort mit durchlässigerem Boden, durchgeführt. Wegen der deutlich größeren erzeugten Mengen und der höheren Kalkgehalte von LD-Schlacken im Vergleich zu Elektroofenschlacken lag es nahe, die neuen Untersuchungen mit LD-Schlacke zu realisieren. Begleitend zu dem Versuchsweg werden auch wieder verschiedene Laborversuche durchgeführt, die den Kenntnisstand zur Übertragbarkeit von Laborergebnissen auf Praxisbedingungen erweitern sollen. Hierzu gehören zunächst gängige Laborverfahren, wie Schüttel- und Säulenverfahren. Daneben sollen Versuche im halbertechnischen Maßstab (Lysimeterversuche) durchgeführt werden, die den Aufbau im Versuchsweg simulieren. Über die erhaltenen Ergebnisse wird zu gegebener Zeit berichtet.

3.3. REACH-Verordnung

Für die deutsche Stahlindustrie stand seit Einführung der REACH-Verordnung [12] fest, dass Eisenhüttenschlacken als Stoffe (substances) zu registrieren sind [13, 14]. Zum einen stellen sie auf der Grundlage von Gutachten und Vereinbarungen mit Umweltministerien in Belgien, Deutschland, Österreich und dem Vereinigten Königreich Nebenprodukte dar. Zum anderen sind Eisenhüttenschlacken seit vielen Jahren als *Phase-in-Stoffe* mit entsprechenden EINECS- und CAS-Nummern registriert. Unter der Voraussetzung, dass Schlacken keine Abfälle, sondern Produkte darstellen, hat daher das FEHS-Institut im Dezember 2006 die Arbeit zur Vorregistrierung und schließlich zur Registrierung von Eisenhüttenschlacken aus ganz Europa aufgenommen.

Um eine Einstufung als nicht gefährliche Substanzen zu erreichen, musste neben Untersuchungen zur chemischen Zusammensetzung sowie zur Auslaugbarkeit eine Vielzahl von ökotoxikologischen und toxikologischen Versuchen durchgeführt werden, von denen nachfolgend die wichtigsten aufgeführt sind.

Ökotoxikologische Untersuchungen

- Untersuchungen zur Wachstumshemmung von Algen,
- Kurz- und Langzeituntersuchungen an Wirbellosen (z.B. Würmer, Daphnien),
- Auswirkungen auf Bodenorganismen,
- Kurzzeittoxizität von Pflanzen,
- Leuchtbakterientests,
- Untersuchung der akuten Fischtoxizität.

Toxikologische Untersuchungen

- Zytogenetische Untersuchung an Säugetierzellen,
- Genmutationsstudien an Säugetierzellen,
- Untersuchungen auf Hautirritationen,
- Untersuchungen zur Augenreizung,
- Inhalationsstudien (an feingemahlenem Hüttensand).

Mit Ausnahme der Inhalationsstudien, die noch nicht abgeschlossen sind, haben alle Untersuchungen gezeigt, dass von Stahlwerksschlacken keine umwelt- oder gesundheits-schädlichen Auswirkungen ausgehen, wenn sie für die im Rahmen der Registrierung ausgewiesenen Bereiche und unter Berücksichtigung der entsprechenden Anforderungen eingesetzt werden.

3.4. Ersatzbaustoffverordnung

Der Versuch, ein bundesweites Regelwerk zur Bewertung der Einsatzmöglichkeiten von industriellen Nebenprodukten unter Umweltgesichtspunkten zu entwickeln, ist in der Vergangenheit immer wieder gescheitert mit der Folge, dass Baustoffe oftmals beim Einsatz in verschiedenen Bundesländern unterschiedliche Anforderungen erfüllen mussten und damit auch nicht in gleichen Anwendungsgebieten eingesetzt werden konnten.

Diese Situation wurde nicht nur von den Verwaltungsbehörden, sondern auch von der Baustoffindustrie vielfach bemängelt, so dass sich im Jahr 2005 das Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit, Bonn, entschloss, eine *Ersatzbaustoffverordnung – EBV* [15] zu erarbeiten mit dem Ziel, bundesweit einheitliche Prüfverfahren, Anforderungen und zulässige Einsatzgebiete für industrielle Nebenprodukte und Recycling-Baustoffe zu entwickeln.

Basis für die Ersatzbaustoffverordnung bilden heute

- Neue standardisierte Auslaugverfahren (Schüttelverfahren 2:1, Perkulationsverfahren)
Sie sollen aufgrund niedrigerer Wasser-/Feststoffverhältnisse und Säulendurchsickerung das Auslaugverhalten von Baustoffen unter Praxisbedingungen besser simulieren.
- Stoffspezifische Materialwerte
Sie dienen als Anforderungswerte für Materialklassen und legen damit auch die zulässigen Anwendungsgebiete fest. Sie wurden meist auf der Basis der zur Aufnahme in die Grundwasserverordnung vorgesehenen Geringfügigkeitsschwellenwerte (GFS-Werte) festgelegt.
- Modellierung der Sickerwasservorgänge
Basis für die Modellierung bilden unterschiedlich beschaffene Grundwasserdeckschichten und die Dicke der grundwasserfreien Sickerstrecke. Der Ort der Beurteilung wurde dabei unmittelbar oberhalb des Grundwassers angesiedelt.
- Erstellung von Matrices zur Festlegung der Einbauweisen in Abhängigkeit der Sensitivität der Grundwasserdeckschichten
Die Matrices enthalten analog zu den seit zwanzig Jahren in NRW eingeführten Verwerterlassen eine sehr detaillierte Auflistung zulässiger Einsatzgebiete. Sie eröffnen damit vielfältige Möglichkeiten zur Verwendung, die bei einer – sehr oft geforderten – Zusammenfassung von Einsatzgebieten teilweise entfallen würden.

- Festlegung eines zeit- und tonnagebezogenen Überwachungsmodus für die werks-eigene Produktionskontrolle (WPK) und die Fremdüberwachung

Die EBV liegt seit Januar 2011 im zweiten Arbeitsentwurf vor [16]. Sie enthält auch Anforderungen an Stahlwerksschlacken, die je nach stoffspezifischer Eluatkonzentration in SWS 1 bis 3 untergliedert werden. Für diese drei Klassen wurden Materialwerte für pH-Wert und elektrische Leitfähigkeit sowie für die Parameter Fluorid, Chrom gesamt, Molybdän und Vanadium festgelegt.

Nach dem heutigen Stand der Ersatzbaustoffverordnung und den sich daraus abzuleitenden Einsatzmöglichkeiten für Stahlwerksschlacken ergeben sich gegenüber den traditionellen Verwendungsbereichen Einschränkungen und Wettbewerbsverzerrungen, die nicht gerechtfertigt sind.

Es sind folgende Kritikpunkte zu nennen, die zwischen Industrie und Umweltministerium noch zu diskutieren sind:

Geringfügigkeitsschwellenwerte und Festlegung des Orts der Beurteilung

In der Begründung des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU) zum Entwurf der Grundwasserverordnung (GrwV) wird ausgeführt, dass die Regelung des § 13 *Maßnahmen zur Verhinderung oder Begrenzung von Schadstoffeinträgen in das Grundwasser* ein wesentlicher Bestandteil des Gesamtkonzeptes und eine unverzichtbare Grundlage für die Ableitung von Materialzuordnungswerten für Ersatzbaustoffe und für Material und Boden zur Verfüllung ist. Dies wird durch die Industrie bestritten. Hinsichtlich der Beurteilung von Baustoffen im Rahmen der EBV werden sicherlich für einige zusätzliche Parameter Schwellenwerte festzulegen sein, wobei auch die Frage der Anreicherung z.B. von Schwermetallen im Boden zu berücksichtigen sein wird. Die Notwendigkeit einer Verrechtlichung in der GrwV über die in der zugehörigen Anlage 9 aufgenommenen Prüfwerte wird durch die Industrie abgelehnt.

Weiterhin wird von der Industrie gefordert, dass der Ort der Beurteilung (OdB) eindeutig im Grundwasser liegen muss, nicht bereits am Übergang von der ungesättigten in die gesättigte Bodenzone. Hier ist darauf hinzuweisen, dass die Schwellenwerte der GrwV für die EBV nur mittelbar gelten. Außerdem werden für einige Parameter die (zur Verrechtlichung in der GrwV angedachten) GFS-Werte für die zur Ermittlung der Materialwerte durchgeführte Modellierung teils durch andere Werte, sogenannte Bezugsmaßstäbe, ersetzt. Dennoch ist eine Randbedingung der Modellierung die Einhaltung des jeweiligen Anforderungswerts unmittelbar unter der Ersatzbaustoffschicht bzw. nach 1 m Bodenpassage. Hierdurch werden die Anforderungen in der EBV unverhältnismäßig verschärft.

Festlegung von Materialwerten für Molybdän und Vanadium

Für die Modellierung der Materialwerte in der EBV spielen sowohl die GFS-Werte aus der GrwV (*Durchbruchskriterium*) als auch die Prüfwerte für den Bodenschutz (*Anreicherungskriterium*) eine Rolle. Von der Industrie wird insbesondere für die Parameter Molybdän und Vanadium eine Streichung oder zumindest eine deutliche Anhebung der Werte aus den folgenden Gründen gefordert:

Der Bundesrat hat im Jahr 2010 im Verordnungsgebungsverfahren zur GrwV keine Notwendigkeit gesehen, das Geringfügigkeitsschwellenwert-Konzept (GFS-Konzept) der LAWA in die GrwV zu implementieren. Auch in der EBV sind die Voraussetzungen für eine Anwendung der GFS-Werte nicht gegeben. Weder die Mantelverordnung noch der zugehörige Fachbericht enthalten eine wissenschaftlich basierte Erklärung dafür, warum es

für Molybdän und Vanadium jetzt Bodenvorsorgewerte gibt, obwohl es für beide Parameter weder in der alten Bodenschutzverordnung von 1999 [17] noch in den technischen Regeln der LAGA [18] eine Begrenzung der Feststoffgehalte gab.

Die humantoxikologische Ableitung des GFS-Werts für Vanadium beruht nach dem LAWABericht *Ableitung von Geringfügigkeitsschwellenwerten für das Grundwasser* [19] auf einer unvollständigen und nur strittig zu bewertenden Datenbasis. Daran hat sich bis heute nichts geändert. Daher sind die Voraussetzungen für eine rechtlich verbindliche Festlegung des Parameters Vanadium weiterhin nicht gegeben. Die derzeitige Modellierung auf Basis eines unterhalb der betrachteten Bodenpassage zulässigen Sickerwasserwerts von 20 µg/l führt für viele Erzeuger und Aufbereiter von Stahlwerksschlacke zu massiven Problemen, weil hochwertige Einsatzgebiete, wie z.B. der Bau von Tragschichten unter Deckschichten ohne Bindemittel, entfallen und alternative Einsatzgebiete mit hinsichtlich der Absatzmengen vergleichbarer Bedeutung nicht kurzfristig erschlossen werden können. Die Anhebung des Vanadiumwerts ist daher von essentieller Bedeutung für die deutsche Stahlindustrie. Andernfalls muss mit der Deponierung bisher als Baustoff genutzter Materialien in relevanten Größenordnungen gerechnet werden.

Auch für die Aufnahme von Molybdän in die Prüfwertliste für das Grundwasser gibt es keine wissenschaftliche Begründung. Untersuchungen der IMO A (International Molybdenum Association) zeigen, dass für Molybdän ein PNEC_{freshwater}-Wert (PNEC = Predicted No Effect Concentration) von 12.700 µg/l ermittelt wurde. Auch der für die Ableitung des GFS-Werts von 35 µg/L herangezogene NOAEL-Wert (NOAEL = No Observed Adverse Effect Level) von 0,9 mg/(kg · d) wird inzwischen als nicht mehr relevant angesehen. Umfangreiche kurz vor der Veröffentlichung stehende Untersuchungen lassen eine Erhöhung des NOAEL auf etwa das 20fache erwarten. Damit muss auch der GFS-Wert deutlich angehoben werden. Weiterhin sind die in Artikel 3 der Mantelverordnung für Molybdän festgelegten extrem niedrigen Feststoffgehalte von 1,0 bzw. 1,7 mg/kg nicht nachzuvollziehen. Im Rahmen eines Forschungsprojekts der BGR im Auftrag des BMU wurden insgesamt 879 Bodenproben untersucht, einerseits Acker- und Grünlandböden [20], andererseits forstlich genutzte Böden. Die in den Acker- und Grünlandböden ermittelten Molybdängehalte liegen zwar in der Größenordnung der in Artikel 3 genannten Feststoff-Vorsorgewerte – dort wird jedoch Molybdän über die Düngung gezielt als Spurennährstoff zugeführt! Der in den Forstböden maximal ermittelte Molybdängehalt lag bei 34,7 mg/kg, der Median bei 9,4 mg/kg und das Minimum immer noch bei 6,8 mg/kg. Da davon auszugehen ist, dass diese natürlichen Böden keine Gefahr für die Umwelt darstellen, ist nicht nachvollziehbar, warum die Bodenvorsorgewerte für Molybdän so extrem niedrig sind. Da aus den Feststoff-Vorsorgewerten die anrechenbaren Filterkapazitäten von Böden errechnet wurden, die neben dem Durchbruchkriterium die Grundlage für die Ermittlung der medienenschutzbasierten Einbauwerte sind, stellen die derzeitigen Vorsorgewerte für viele Stahlwerksschlacken ein Kriterium dar, das unmittelbar zum Verlust langjährig bewährter Einsatzgebiete führen wird, ohne dass Umweltbeeinträchtigungen nachgewiesen wurden oder zu besorgen sind.

Änderung des Überwachungsturnus

Die Häufigkeit der Überwachung gemäß Anlage 3 der EBV muss auf eine sinnvolle Anzahl pro Jahr reduziert werden. Eine Regelung in Abhängigkeit von der produzierten Tonnage wird durch die Industrie abgelehnt, weil die derzeitige Regelung für ein großes Stahlwerk bedeuten würde, dass wöchentlich eine Fremdüberwachung und etwa alle 1,5 Tage eine Eigenüberwachungsprüfung durchzuführen wäre. Ähnliches gilt für andere größere Erzeuger von Nebenprodukten. Es wird vorgeschlagen, die Fremdüberwachungsprüfungen wie bisher parallel zu den technischen Prüfungen viertel- bzw. halbjährlich durchzuführen.

Ein engeres Prüfschema erhöht lediglich die Prüfkosten erheblich, ohne – angesichts der bei Eisenhüttenschlacken extrem kontinuierlichen Produktionsbedingungen – die Sicherheit zu verbessern.

4. Forschung und Qualitätssicherung

Seit jeher hat die Stahlindustrie große Anstrengungen unternommen, die erzeugten Schlacken sowohl möglichst vollständig als auch auf qualitativ hochwertigen Gebieten zu nutzen. Forschung und Entwicklung auf dem Gebiet der Eisenhüttenschlacken wurden hierbei zunächst in den jeweiligen Werken betrieben, bald aber in Gemeinschaftsarbeit überführt, ausgehend von der Erkenntnis, dass es zahlreiche Fragestellungen gibt, die die verschiedenen Erzeuger und Aufbereiter gleichermaßen beschäftigen. Erste Formen des Erfahrungsaustauschs erfolgten bereits im 19. Jahrhundert beim Technischen Verein für Eisenhüttenwesen [21], der Vorgängerorganisation des Vereins Deutscher Eisenhüttenleute, heute Stahlinstitut VDEh. Nach unterschiedlichen Strukturen der Zusammenarbeit wurde 1968 die Forschungsgemeinschaft Eisenhüttenschlacken, heute FEhS – Institut für Baustoff-Forschung, gegründet – durch Zusammenschluss der Arbeitsgemeinschaft Thomasphosphat und der Arbeitsgemeinschaft Hochofenschlackenforschung mit dem seit 1954 in Duisburg-Rheinhausen beheimateten Forschungsinstitut.

Seit dieser Zeit konnten unzählige Forschungsarbeiten auf den Arbeitsgebieten Bindemittel und Beton, Umwelt und Verkehrsbau, Düngemittel und Schlackenmetallurgie durchgeführt werden, durch welche die Eigenschaften der Schlackenprodukte untersucht und die Einsatzmöglichkeiten erweitert wurden. Die Anregungen für diese Forschungsarbeiten kamen in der Regel aus den Reihen der Nutzer von Eisenhüttenschlacken und betrafen sowohl technische als auch ökologische Fragestellungen. Dadurch konnte sichergestellt werden, dass tatsächlich für den Einsatz der Schlacken im Markt relevante Themen bearbeitet wurden. Aber auch im Einzelfall aufgetretenen Problemen beim Einsatz wurde konsequent nachgegangen. Gegebenenfalls mussten in Zusammenarbeit mit den zuständigen Behörden neue oder veränderte Bedingungen für den zukünftigen Einsatz festgelegt werden. Letztlich konnte durch diese Arbeiten erreicht werden, dass heute Eisenhüttenschlacken jährlich zu über 95 Prozent einer Nutzung zugeführt werden können. Damit gehören sie zu den industriellen Nebenprodukten mit den höchsten Nutzungsraten.

Neben der Forschung ist auch der Aspekt der Qualitätssicherung zu betrachten, die eine weitere wichtige Stütze des Erfolgs am Markt ist. Grundsätzlich soll die Qualitätssicherung von Baustoffen für den Straßenbau sicherstellen, dass die eingesetzten Stoffe den Anforderungen des jeweiligen Anwendungsbereichs genügen. Zu diesem Zweck erfolgen seit vielen Jahren regelmäßige Prüfungen in einem System von Eignungsnachweis, Eigen- und Fremdüberwachung. Durch die europäischen Normen für Straßenbaustoffe ist in Deutschland seit 2006 dieses bisherige System weitgehend abgelöst worden durch ein Nachweisverfahren hinsichtlich der Konformität des Bauprodukts mit der betreffenden europäischen Norm. Dem Lieferanten bzw. Hersteller des Produkts soll damit eine größere Verantwortung für die Produktqualität übertragen werden. Ihm obliegen die Erstprüfung des Produkts sowie die Durchführung der werkseigenen Produktionskontrolle (WPK). Durch eine sogenannte notifizierte Stelle erfolgt eine Erstinspektion des Werkes und der WPK, die zu einer Zertifizierung der WPK führt. Auf Basis der Zertifizierung der WPK erklärt der Produzent die Konformität mit der betreffenden europäischen Norm und darf seine Produkte mit dem CE-Zeichen kennzeichnen. Voraussetzung für die CE-Kennzeichnung ist die weitere regelmäßige Überwachung der WPK.

Die Verfahren der WPK sind in den europäischen Normen festgeschrieben. Beispielsweise gibt es Vorgaben zur Organisation, zu Kontrollverfahren und Produktionslenkung sowie im Hinblick auf Prüfmittel und Überwachungsverfahren. Unter anderem sind Mindestprüfhäufigkeiten geregelt, beispielsweise ist die Korngrößenverteilung wöchentlich zu überprüfen, Kornform und Fließkoeffizient monatlich, Festigkeit und Polierresistenz jährlich und der Frostwiderstand alle zwei Jahre. Die Prüfung der umweltrelevanten Merkmale konnte bisher europäisch nicht harmonisiert werden. In Deutschland ist die Auslaugbarkeit von Stahlwerksschlacke zweimal im Jahr zu prüfen.



Bild 8: Gütezeichen der Gütegemeinschaft Eisenhüttenschlacken

Im Zuge der Bestrebungen, eine größere Produktsicherheit zu erzielen, hat sich jedoch ein Großteil der in Deutschland ansässigen Produzenten von Schlackeprodukten entschlossen, auf freiwilliger Basis weiterhin eine Güteüberwachung mit Fremdprüfungen durchzuführen. Diese freiwillige Überwachung erfolgt über die Gütegemeinschaft Eisenhüttenschlacken e.V. In Zusammenarbeit mit RAL Deutsches Institut für Gütesicherung und Kennzeichnung e.V. und den betroffenen Fach- und Verkehrskreisen wurden Güte- und Prüfbestimmungen [22] entwickelt, denen sich die Mitglieder unterwerfen, um zu dokumentieren, dass sie bereit sind, für die Qualität ihrer Produkte mehr zu tun, als im technischen Regelwerk vorgeschrieben ist. Dies betrifft sowohl technische Merkmale als auch Umwelanforderungen. Entsprechend diesen Vorgaben werden gütegesicherte Produkte mit dem Gütezeichen der Gütegemeinschaft gekennzeichnet (Bild 8). Von dieser Steigerung des Sicherheitsniveaus sollen Hersteller, ausschreibende Stellen und Baufirmen gleichermaßen profitieren.

5. Zusammenfassung und Ausblick

Die deutsche Stahlindustrie produziert mit 90.000 Beschäftigten jährlich ungefähr 45 Millionen Tonnen Rohstahl und 15 Millionen Tonnen Eisenhüttenschlacke (Hochofen- und Stahlwerksschlacke). Aufgrund erheblicher Anstrengungen bei Erzeugung, Aufbereitung und Qualitätssicherung werden diese Schlacken seit vielen Jahren zu etwa 95 Prozent genutzt. Das Schwergewicht des Einsatzes liegt im Bauwesen.

Eine wichtige Voraussetzung für dieses Einsatzgebiet ist die Einhaltung der in den jeweiligen Normen genannten technischen Anforderungen. Selbstverständlich müssen genauso auch Fragen der Umweltverträglichkeit berücksichtigt werden. Hier sind in erster Linie Aspekte der Belastung von Boden und Grundwasser zu beachten. Im Sinne einer umfassenden Betrachtung von Umweltfragen sind aber auch Gesichtspunkte des Ressourcenschutzes oder der Schonung von Deponiekapazitäten zu berücksichtigen. Insbesondere durch die

im Zuge der REACH-Registrierung europaweit durchgeführten Untersuchungen konnte gezeigt werden, dass von Stahlwerksschlacken bei sachgemäßem Einsatz keine umwelt- oder gesundheitsschädlichen Auswirkungen ausgehen.

Dennoch werden die Erzeuger und Aufbereiter von Stahlwerksschlacke immer wieder mit zusätzlichen bzw. mit immer schärferen Auflagen konfrontiert. Derzeit droht insbesondere durch die Regelungen der geplanten Ersatzbaustoffverordnung eine teils erhebliche Einschränkung der bisher bestehenden Einsatzmöglichkeiten. Dies konterkariert letztlich die von der Bundesregierung verfolgte Nachhaltigkeitsstrategie [23], die als wichtige Handlungsfelder u.a. die Verbesserung des Recyclings und den verstärkten Einsatz von Sekundärrohstoffen explizit benennt. Hier können die hochwertigen Produkte aus Stahlwerksschlacke einen wertvollen Beitrag leisten.

6. Literatur

- [1] Stahlinstitut VDEh (Hrsg.): Stahlfibel. Düsseldorf, 2009
- [2] DIN 4301:2009-06: Eisenhüttenschlacke und Metallhüttenschlacke im Bauwesen
- [3] Schmitt, L.: 75 Jahre Thomasphosphat. In: Die Phosphorsäure, 14 (1954), Nr. 1, S. 3-14
- [4] Krass, K.; Fix, W.: LD-Schlacke – ein neuer Mineralstoff im Straßenbau. In: Straße + Autobahn, 28 (1977), Nr. 8, S. 326-334
- [5] Freund, H.-J.; Stöckner, M.: Bau und Betrieb einer Untersuchungsstrecke zur Beobachtung des Verhaltens von Elektroofenschlacke als Straßenbaustoff. In: Straße + Autobahn, 45 (1994), Nr. 3, S. 135-140
- [6] Merkel, T.: Erhebungen zur Erzeugung und Nutzung von Hochofen- und Stahlwerksschlacke. In: Report des FEhS – Instituts für Baustoff-Forschung, 18 (2011), Nr. 1, S. 11-12
- [7] Verein Deutscher Eisenhüttenleute (Hrsg.): Prüfung des Auslaugungsverhaltens von stückigem und körnigem Gut über 2 mm. Stahl-Eisen-Prüfblatt 1760-67, Düsseldorf, Sept. 1967
- [8] Verein Deutscher Eisenhüttenleute (Hrsg.): Untersuchung des Auslaugeverhaltens von Hochofenschlacke. Stahl-Eisen-Prüfblatt 1780-71, Düsseldorf, Mai 1971
- [9] DIN 38414-4:1984-10: Deutsche Einheitsverfahren zur Wasser-, Abwasser- und Schlammuntersuchung – Schlamm und Sedimente (Gruppe S) – Bestimmung der Eluierbarkeit mit Wasser (S4)
- [10] Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (Hrsg.): Technische Prüfvorschriften für Gesteinskörnungen im Straßenbau – TP Gestein-StB, Teil 7.1.1: Modifiziertes DEV-S4-Verfahren. Ausgabe 2008
- [11] Bialucha, R.; Dohlen, M.: Langfristiges Verhalten von Stahlwerksschlacken im ländlichen Wegebau. In: Report des FEhS – Instituts für Baustoff-Forschung, 15 (2008), Nr. 1, S.11-15
- [12] Verordnung (EG) Nr. 1907/2006 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 18. Dezember 2006 zur Registrierung, Bewertung, Zulassung und Beschränkung chemischer Stoffe (REACH), zur Schaffung einer Europäischen Agentur für chemische Stoffe, zur Änderung der Richtlinie 1999/45/EG und zur Aufhebung der Verordnung (EWG) Nr. 793/93 des Rates, der Verordnung (EG) Nr. 1488/94 der Kommission, der Richtlinie 76/769/EWG des Rates sowie der Richtlinien 91/155/EWG, 93/67/EWG, 93/105/EG und 2000/21/EG der Kommission.
- [13] Bialucha, R.; Motz, H.: Stand zur REACH Registrierung von Eisenhüttenschlacken. In: Report des FEhS – Instituts für Baustoff-Forschung, 15 (2008), Nr. 1, S. 16-18
- [14] Bialucha, R.; Motz, H.; Sokol, A.: Registrierung von Eisenhüttenschlacken unter REACH. In: Report des FEhS – Instituts für Baustoff-Forschung, 17 (2010), Nr. 2, S. 1-5

- [15] Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (Hrsg.): Verordnung zur Regelung des Einbaus von mineralischen Ersatzbaustoffen in technischen Bauwerken und zur Änderung der Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung. Arbeitsentwurf, November 2007
- [16] Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (Hrsg.): Verordnung zur Festlegung von Anforderungen für das Einbringen und das Einleiten von Stoffen in das Grundwasser, an den Einbau von Ersatzbaustoffen und für die Verwendung von Boden und bodenähnlichem Material. Arbeitsentwurf, Januar 2011
- [17] Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung (BBodSchV) vom 12. Juli 1999. BGBl. I Nr. 36 vom 16. Juli 1999, S. 1554-1582
- [18] Länderarbeitsgemeinschaft Abfall (Hrsg.): Anforderungen an die stoffliche Verwertung von mineralischen Abfällen: Teil II: Technische Regeln für die Verwertung – 1.2 Bodenmaterial (TR Boden), Stand 05.11.2004
- [19] Länderarbeitsgemeinschaft Wasser (Hrsg.): Ableitung von Geringfügigkeitsschwellen für das Grundwasser. Düsseldorf, 2004
- [20] Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (Hrsg.): Materialuntersuchungen im Hinblick auf den Wirkungspfad Boden- Grundwasser – Hintergrundwerte für Spurenelemente im wässrigen Eluat bei einem Wasser-Feststoffverhältnis von 2:1. Hannover, 2010
- [21] Feldmann, W. et al.: 75 Jahre Hochofenausschuß – Die Tätigkeit des Ausschusses und die Entwicklung der Hochofentechnik in Deutschland. In: Stahl u. Eisen, 102 (1982), Nr. 6, S. 247-252
- [22] RAL Deutsches Institut für Gütesicherung und Kennzeichnung (Hrsg.): Güte- und Prüfbestimmungen für Eisenhüttenschlacken im Straßen- und Wegebau sowie im Wasserbau. Sankt Augustin, 1999
- [23] Die Bundesregierung (Hrsg.): Fortschrittsbericht 2008 zur nationalen Nachhaltigkeitsstrategie – Für ein nachhaltiges Deutschland. Berlin, 2008

Die Deutsche Bibliothek – CIP-Einheitsaufnahme

Schlacken aus der Metallurgie – Rohstoffpotential und Recycling –

Karl J. Thomé-Kozmiensky, Andrea Versteyl.

– Neuruppin: TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky, 2011

ISBN 978-3-935317-71-9

ISBN 978-3-935317-71-9 TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky

Copyright: Professor Dr.-Ing. habil. Dr. h. c. Karl J. Thomé-Kozmiensky

Alle Rechte vorbehalten

Verlag: TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky • Neuruppin 2011

Redaktion und Lektorat: Professor Dr.-Ing. habil. Dr. h. c. Karl J. Thomé-Kozmiensky

Erfassung und Layout: Nicole Bäker, Janin Burbott, Petra Dittmann, Sandra Peters

Druck: Mediengruppe Universal Grafische Betriebe München GmbH, München

Dieses Werk ist urheberrechtlich geschützt. Die dadurch begründeten Rechte, insbesondere die der Übersetzung, des Nachdrucks, des Vortrags, der Entnahme von Abbildungen und Tabellen, der Funksendung, der Mikroverfilmung oder der Vervielfältigung auf anderen Wegen und der Speicherung in Datenverarbeitungsanlagen, bleiben, auch bei nur auszugsweiser Verwertung, vorbehalten. Eine Vervielfältigung dieses Werkes oder von Teilen dieses Werkes ist auch im Einzelfall nur in den Grenzen der gesetzlichen Bestimmungen des Urheberrechtsgesetzes der Bundesrepublik Deutschland vom 9. September 1965 in der jeweils geltenden Fassung zulässig. Sie ist grundsätzlich vergütungspflichtig. Zuwiderhandlungen unterliegen den Strafbestimmungen des Urheberrechtsgesetzes.

Die Wiedergabe von Gebrauchsnamen, Handelsnamen, Warenbezeichnungen usw. in diesem Werk berechtigt auch ohne besondere Kennzeichnung nicht zu der Annahme, dass solche Namen im Sinne der Warenzeichen- und Markenschutz-Gesetzgebung als frei zu betrachten wären und daher von jedermann benutzt werden dürfen.

Sollte in diesem Werk direkt oder indirekt auf Gesetze, Vorschriften oder Richtlinien, z.B. DIN, VDI, VDE, VGB Bezug genommen oder aus ihnen zitiert worden sein, so kann der Verlag keine Gewähr für Richtigkeit, Vollständigkeit oder Aktualität übernehmen. Es empfiehlt sich, gegebenenfalls für die eigenen Arbeiten die vollständigen Vorschriften oder Richtlinien in der jeweils gültigen Fassung hinzuzuziehen.