

**FEhS – INSTITUT
FÜR BAUSTOFF-FORSCHUNG e.V.**

**Bliersheimer Str. 62
4 7 2 2 9 D U I S B U R G
Telefon: 02065/9945 - 0
Telefax: 02065/9945 - 10
E-Mail: fehs @ fehs.de
Internet: http://www.fehs.de**

Juli 2013

ISSN 0948-4795

20. Jahrgang Nr. 1

Übertragbarkeit von Laborergebnissen auf Praxisverhältnisse bei Verwendung von LD-Schlacke im offenen Einbau

Dr.-Ing. R. Bialucha, Dipl.-Geogr. M. Leson, Dr. rer. nat. A. Sokol

Einleitung

Im Jahr 2011 wurden insgesamt 6,1 Mio. t Stahlwerksschlacken hergestellt. Davon stammt mit 3,7 Mio. t der weitaus größte Anteil aus Oxygenstahlwerken [1], in denen neben Qualitäts- und Massenstählen auch LD-Schlacke (LDS) erzeugt wird. Haupteinsatzgebiet für LD-Schlacke ist der Straßen- und Erdbau, ein geringerer Anteil wird im Wasserbau, als Düngemittel oder im metallurgischen Kreislauf verwendet. Die Verwendbarkeit richtet sich – neben der technischen Eignung – vor allem nach der guten Umweltverträglichkeit. Hierunter wird in erster Linie der Einfluss auf Boden und Wasser (Oberflächen- und Grundwasser) verstanden.

Der Einsatz von Stahlwerksschlacken in Tragschichten ohne Bindemittel unter dichten Decken oder bitumengebunden in Asphaltsschichten wird grundsätzlich als unkritisch betrachtet. Dagegen ist der offene Einbau von industriellen Nebenprodukten im Allgemeinen, d. h. der Einsatz in Wegen, Plätzen oder Wällen, die nicht mit dichten Abdeckungen (wie zum Beispiel Beton oder Asphalt) versehen sind, in den letzten Jahren immer wieder von den Umweltbehörden diskutiert worden. Im offenen Einbau sind Auslaugvorgänge, hervorgerufen durch Regen- oder Oberflächenwasser, die Mine-

ralstoffschichten durchsickern können, von großer Bedeutung. Sowohl von Seiten des Bodenschutzes, der eine Anreicherung von Schadstoffen verhindern will, als auch von Seiten des Wasserschutzes, der insbesondere die Aufrechterhaltung des guten Zustands von Grundwässern sicherstellen soll, ist ein Eintrag umweltrelevanter Parameter unerwünscht. Daher wird der Auslaugbarkeit von Mineralstoffen, die für den Wege- und Erdbau Verwendung finden sollen, in zunehmendem Maße Aufmerksamkeit geschenkt.

Ziel des von der AiF geförderten Forschungsvorhabens [2] war es, das langfristige Verhalten von LD-Schlacke bei Verwendung in ungebundenen Schichten möglichst praxisnah zu untersuchen. Dazu wurde ein aus zwei Abschnitten bestehender Versuchsweg in Krefeld gebaut, dessen Tragschicht aus einer LD-Schlacke bzw. zum Vergleich aus einem Kalkstein besteht. Ähnliche Untersuchungen an einem mit Elektroofenschlacke bzw. Granit (als Vergleichs-Naturgestein) gebauten Versuchsweg wurden im Rahmen eines früheren AiF-Forschungsvorhabens [3] erfolgreich durchgeführt. Über den Bau des Versuchswegs in Krefeld und die dafür verwendeten Materialien wurde bereits in einem früheren FEhS-Report berichtet [4].

Inhalt	Seite
Übertragbarkeit von Laborergebnissen auf Praxisverhältnisse bei Verwendung von LD-Schlacke im offenen Einbau R. Bialucha, M. Leson, A. Sokol	1
Der Einfluss der Granulationstechnik auf die Hüttensandeigenschaften V. Feldrappe, A. Ehrenberg	7
Hochofenzement- und Portlandhüttenzementbeton für Brückenkappen – Aktueller Stand – A. Ehrenberg	10
Daten zur Erzeugung und Nutzung von Eisenhüttenschlacken Th. Merkel	12

Untersuchungsprogramm

Neben der Überprüfung der technischen Eignung der verwendeten Mineralstoffe (LD-Schlacke und Kalkstein) wurden umfangreiche Auslaugversuche im Labor durchgeführt. Dies waren als Kurzzeitverfahren das modifizierte S4-Verfahren [5], ein Schüttelverfahren nach DIN 19529 [6] und ein Säulenkurztest nach DIN 19528 [7]. Als Langzeitverfahren kamen zwei Säulenverfahren nach DIN 19528 (ausführliches Säulenverfahren) bzw. DIN CEN/TS 14405 (up-flow-Verfahren) [8] zur Anwendung.

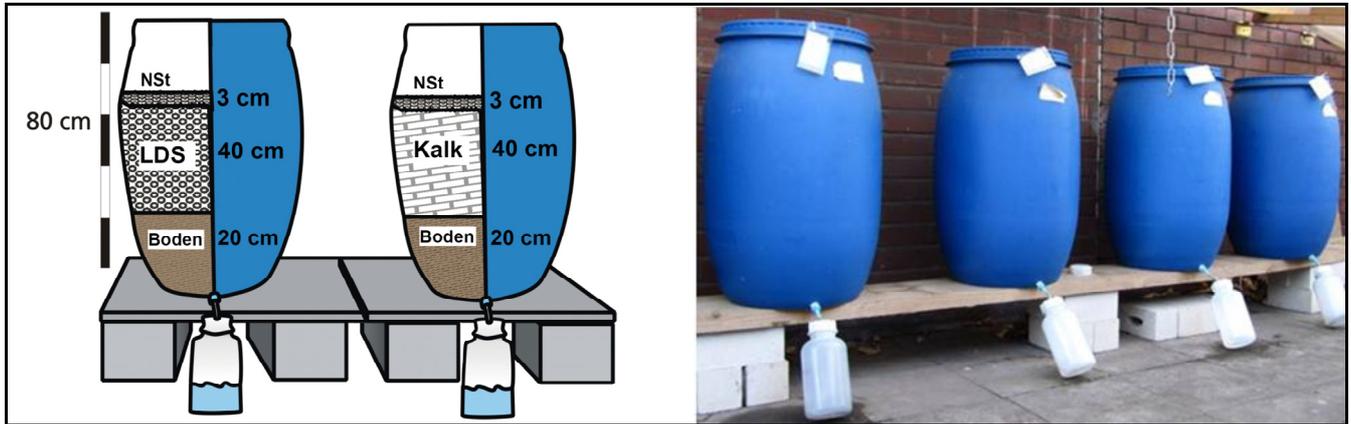


Bild 1: Skizze (links) und Foto (rechts) von der Anlage der Lysimeterversuche

Zusätzlich wurden Versuche im halbtechnischen Maßstab mittels Lysimetern durchgeführt (**Bild 1**). Die Lysimeter entsprechen in ihrem Aufbau (Deckschicht/Tragschicht/Boden) dem Versuchsweg. Vorteil der Lysimeter gegenüber den Laborsäulen ist, dass durch den größeren Durchmesser Randläufigkeiten einen geringeren Einfluss auf die Eluatproben haben und der Aufbau des Versuchswegs 1:1 nachempfunden werden konnte. Die Lysimeter wurden wöchentlich so beregnet, dass eine Sickerwasserrate von 500 mm/a (entsprechend 750 mm/a Niederschlag abzüglich 250 mm/a Verdunstung) erreicht wurde.

Wichtigster Punkt des hier beschriebenen Projekts war der Bau eines Versuchswegs. Um Aussagen zum Stoffaustausch aus den Mineralstoffen unter realen Praxisbedingungen treffen zu können, wurden direkt unterhalb der jeweiligen Tragschicht auf dem Planum Auffanggefäße eingebaut, in denen das Sickerwasser gesammelt wird. Bei den Auffanggefäßen handelt es sich um rechteckige Kunststoffbehälter mit den Maßen 40 x 60 x 15 cm (**Bild 2**). Das Sickerwasser wird über ein Kunststoffrohr in einen begehbaren Schacht geleitet und dort in Flaschen gesammelt. Eine Wasseruhr ermöglicht eine Abschätzung der durch die Mineralstoffschicht gesickerten Wassermenge.

Zur Gewinnung von Bodenlösungen wurden außerdem Saugkerzen in zwei verschiedenen Tiefenstufen (ca. 60 und 90 cm unter Geländeoberkante – GOK) jeweils in der Mitte und im Bankettbereich des Versuchswegs nach dessen Fertigstellung eingebaut. Als Vergleichsmaßstab wurden weiterhin Saugkerzen als "Nullvariante" ca. 5 m neben dem Weg eingebaut. Eine detaillierte Beschreibung der Saugkerzenanlage ist dem Report [4] zu entnehmen. Ebenso wie das Sickerwasser aus den Auffanggefäßen werden auch die Bodenlösungen aus den

Saugkerzen in den begehbaren Schacht geleitet, wo sie licht- und temperaturschützt in PE-Flaschen gesammelt und regelmäßig entnommen werden. Im Labor werden diese Lösungen auf die für Stahlwerksschlacken relevanten Parameter pH-Wert, Leitfähigkeit, Calcium (Ca), Chrom (Cr), Fluorid (F), Molybdän (Mo) und Vanadium (V) analysiert.

Ergebnisse

– Auslaugversuche im Labor

Um das Auslaugverhalten der eingesetzten Mineralstoffe zu untersuchen, wurden die oben genannten Laborverfahren angewandt. Im Ergebnis konnten größere Unterschiede zwischen den beiden Mineralstoffen bei den Parametern pH-Wert und elektrische Leitfähigkeit beobachtet werden. Während die LD-Schlacke stark alkalische Werte aufweist, sind die Eluate des Kalksteins nur schwach alkalisch. Die elektrische Leitfähigkeit als Maß für die gelösten Ionen in den Eluaten ist bei der LD-Schlacke ebenfalls deutlich höher. Ursache hierfür sind hohe Calciumkonzentrationen in den Schlackeneluat. Weiterhin konnten bei der LD-Schlacke höhere Konzentrationen an Molybdän und Barium ermittelt werden. Beim Kalkstein sind vor allem die Sulfatkonzentrationen deutlich höher. Chrom und Vanadium wurden bei beiden Mineralstoffen nur in geringen Konzentrationen gemessen, und beim Fluorid lagen die Konzentrationen stets unter der Bestimmungsgrenze.

– Lysimeterversuche

Lysimeterversuche sind generell aufgrund ihrer Größe und des Schichtaufbaus des eingesetzten Bodens bzw. der Mineralstoffe wesentlich praxisnäher als Laborverfahren. Konstruktionsbedingt perkoliert beinahe die



Bild 2: Einbau eines Auffanggefäßes mit Zuleitung zum begehbaren Schacht

gesamte aufgegebene Wassermenge durch die Lysimeter, da kein oberflächlicher Abfluss stattfinden kann. Lediglich im Sommer verdunstet ein geringer Anteil. Im Ergebnis unterscheiden sich die beiden Lysimetervarianten (LD-Schlacke bzw. Kalkstein über Boden) in ihrem Auslaugverhalten für viele Parameter anfänglich zunächst nur sehr wenig. Die pH-Werte sowie die Fluorid-, Molybdän- und Vanadiumkonzentra-

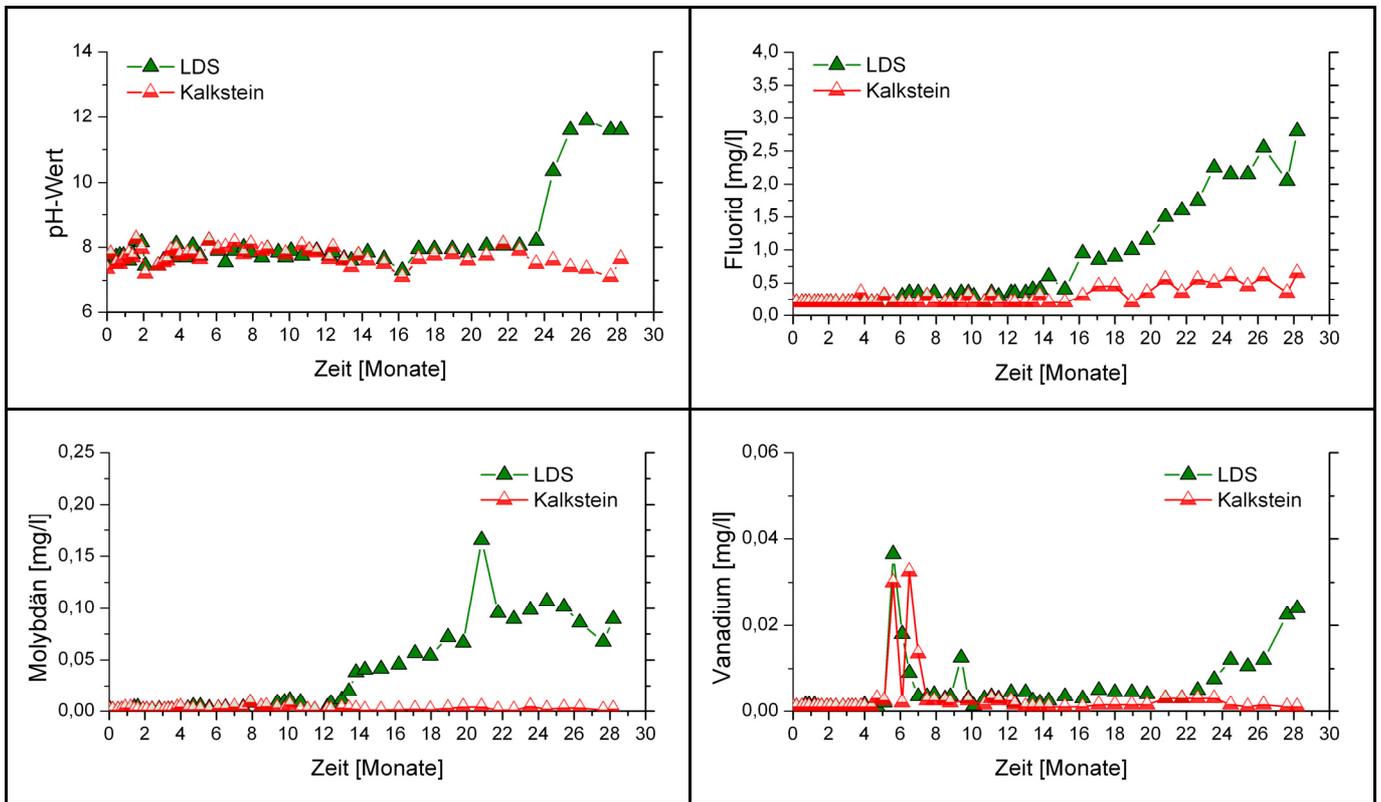


Bild 3: Konzentrationen ausgewählter Parameter in den Eluaten der Lysimeter

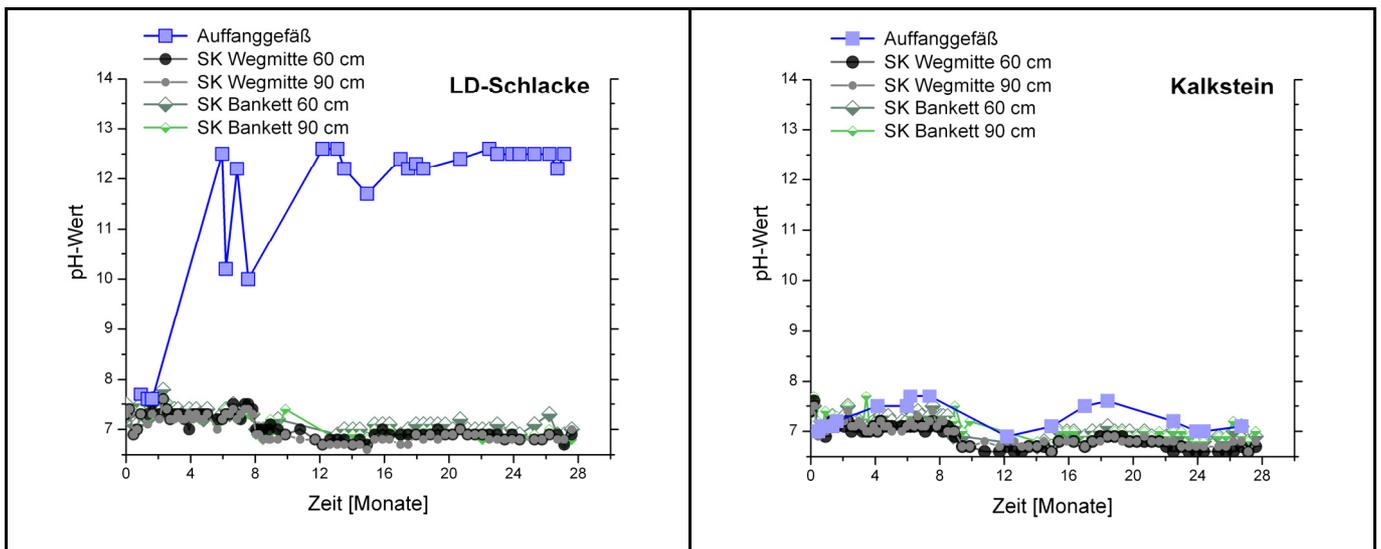


Bild 4: Entwicklung der pH-Werte in den Sickerwässern des Versuchswegs (SK = Saugkerze)

tionen zeigen lange Zeit für beide Varianten ein ähnliches Muster. Danach kann ein Anstieg der Werte bei der LD-Schlackenvariante beobachtet werden, wobei der Zeitpunkt bei jedem Parameter unterschiedlich ist (Bild 3).

Die Konzentrationen von Barium und Chrom liegen im gesamten Beobachtungszeitraum auf einem ähnlich niedrigen Niveau. Beim Parameter Sulfat wurden im Vergleich zur LD-Schlackenvariante in der Kalksteinvariante durchweg höhere Konzentrationen gemessen.

– Untersuchungen am Versuchsweg

Der Boden im Bereich des Versuchswegs besteht überwiegend aus Schluff mit wechselnden Feinsand- und/oder Tongehalten und kann nach "Bodenkundlicher Kartieranleitung" [9] als stark toniger Schluff angesprochen werden. Anhand des Röntgenphasendiagramms ist zu erkennen, dass der anstehende Boden größtenteils aus Quarz (SiO_2) besteht. Als weitere Minerale sind Albit ($\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$), Orthoklas ($\text{K[AlSi}_3\text{O}_8]$) und Muskovit ($\text{KAl}_2[(\text{OH},\text{F})_2\text{AlSi}_3\text{O}_{10}]$) zu nennen.

Das Sickerwasser aus den Auffanggefäßen direkt unter der Tragschicht liefert Werte zum Stoffaustrag aus den "reinen" Mineralstoffen. Die pH-Werte liegen beim LD-Schlackenabschnitt im stark alkalischen, beim Kalksteinabschnitt dagegen im neutralen bis leicht alkalischen Bereich und sind damit vergleichbar mit den Werten aus den Laborauslaugversuchen. Deutlich geringer sind die pH-Unterschiede bei den Saugkerzen-Lösungen, die sowohl im LD-Schlackenabschnitt als auch im Kalksteinabschnitt im Neutralbereich liegen (Bild 4).

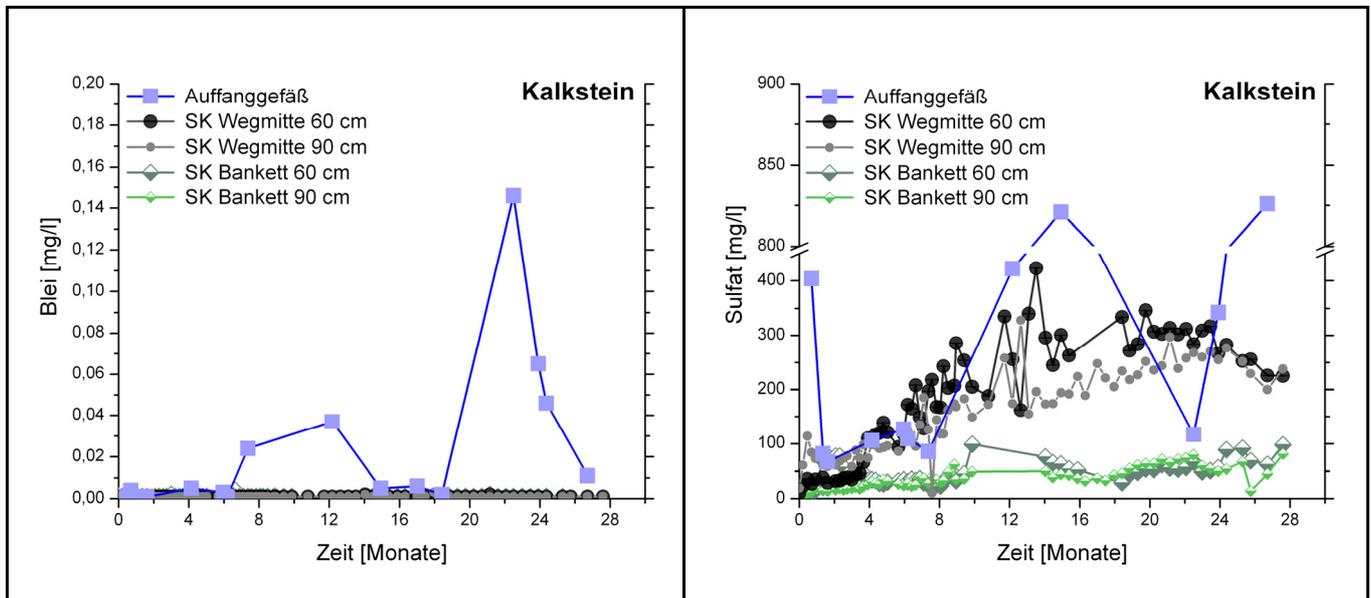


Bild 5: Vergleich der Konzentrationen in Sickerwässern des Auffanggefäßes und der Saugkerzen

Die in den Auffanggefäßen gemessenen Konzentrationen an mineralstofftypischen Parametern zeigen zum Teil große Schwankungen, vor allem bei der Kalksteinvariante (Bild 5). Im Vergleich zum Kalksteinabschnitt können beim LD-Schlackenabschnitt höhere Konzentrationen an Chrom, Molybdän und Barium gemessen werden, während sie bei den Parametern Blei und Sulfat deutlich niedriger sind als beim Kalkstein. Die Vanadiumkonzentrationen liegen bei beiden Abschnitten in der Regel unter der Bestimmungsgrenze.

Insgesamt wurden im Beobachtungszeitraum in den Sickerwässern aus den Saugkerzen mit Ausnahme von Sulfat bei der Kalksteinvariante sehr geringe Stoffkonzentrationen gemessen. Dabei fallen die Unterschiede zwischen den zwei Tiefenstufen (60 bzw. 90 cm unter GOK) und den drei Standorten (Wegmitte, Bankett und Nullfläche) nur sehr gering aus. Kurzzeitige hohe Stoffkonzentrationen einzelner Parameter können bei allen auch von den Mineralstoffen unbeeinflussten Sickerwässern beobachtet werden und sind als natürliche Streuung anzusehen.

Auswertung der Ergebnisse und Diskussion

– Vergleich zwischen Laborversuchen, Lysimetern und dem Versuchsweg

Das Umwelt- bzw. Auslaugverhalten von Mineralstoffen kann üblicherweise aus Zeitgründen nur mittels Laborverfahren untersucht werden. Je kürzer das Verfahren ist, umso stärker weichen die Randbedingungen von denen eines praxisnahen Versuchs ab.

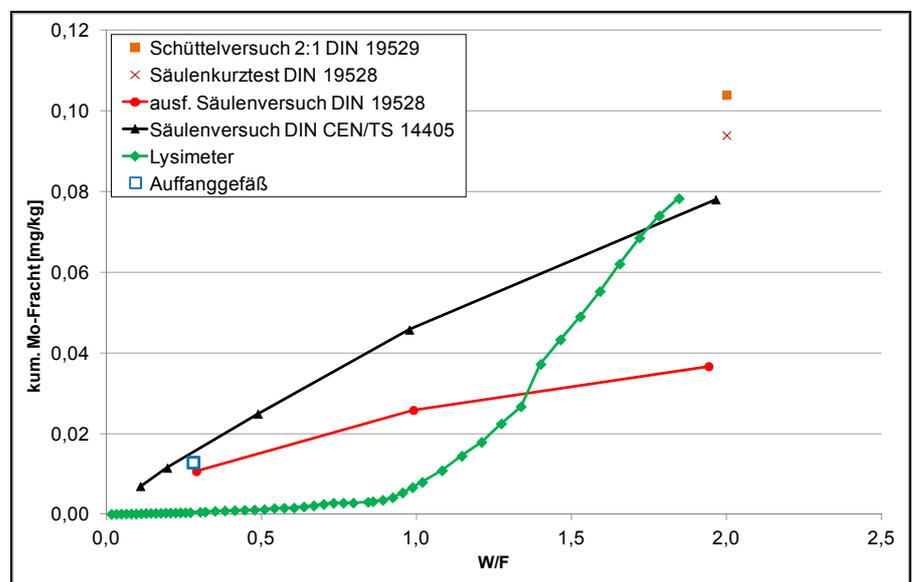


Bild 6: Vergleich der aus verschiedenen Laborverfahren, den Lysimetern und dem Auffanggefäß des Versuchswegs ermittelten kumulierten Molybdänfrachten für die LD-Schlackenvarianten (W/F-Verhältnisse sind bis maximal 2:1 aufgetragen)

Am Beispiel von Molybdän wird in Bild 6 dargestellt, wie sich die ausgelagerten Frachten unterscheiden, die mithilfe von Kurz- und Langzeit-Laborverfahren, Lysimeterversuchen im halbertechnischen Maßstab sowie einem Praxisversuch (Versuchsweg) ermittelt wurden. Für die Langzeit-Laborverfahren sind die Werte bis zu einem Wasser/Feststoff-Verhältnis von 2 dargestellt. Für die Berechnung des Molybdänwerts aus dem Auffanggefäß wurden die kumulierten W/F-Verhältnisse vom Ende der Projektlaufzeit (nach ca. 2,5-jähriger Liegezeit des Versuchswegs) und die Mittelwerte der beinahe konstant verlaufenden Molybdänkonzentrationen (Bild 8) genutzt. Der so berechnete Wert liegt auf einem

Niveau mit der Summe aus den ersten beiden Fraktionen des up-flow-Verfahrens (DIN CEN/TS 14405) bzw. der ersten Fraktion des ausführlichen Säulenversuchs (DIN 19528). Die Werte aus den beiden Kurzzeit-Labortests liegen etwa um das Zehnfache höher, unter anderem bedingt durch das deutlich höhere W/F-Verhältnis.

Generell wird die Vergleichbarkeit der Laborverfahren untereinander durch die verschiedenen Randbedingungen (u. a. W/F-Verhältnis, Korngröße, Bewegung des Eluenten etc.) eingeschränkt, was oftmals zu voneinander abweichenden Stofffrachten führt.

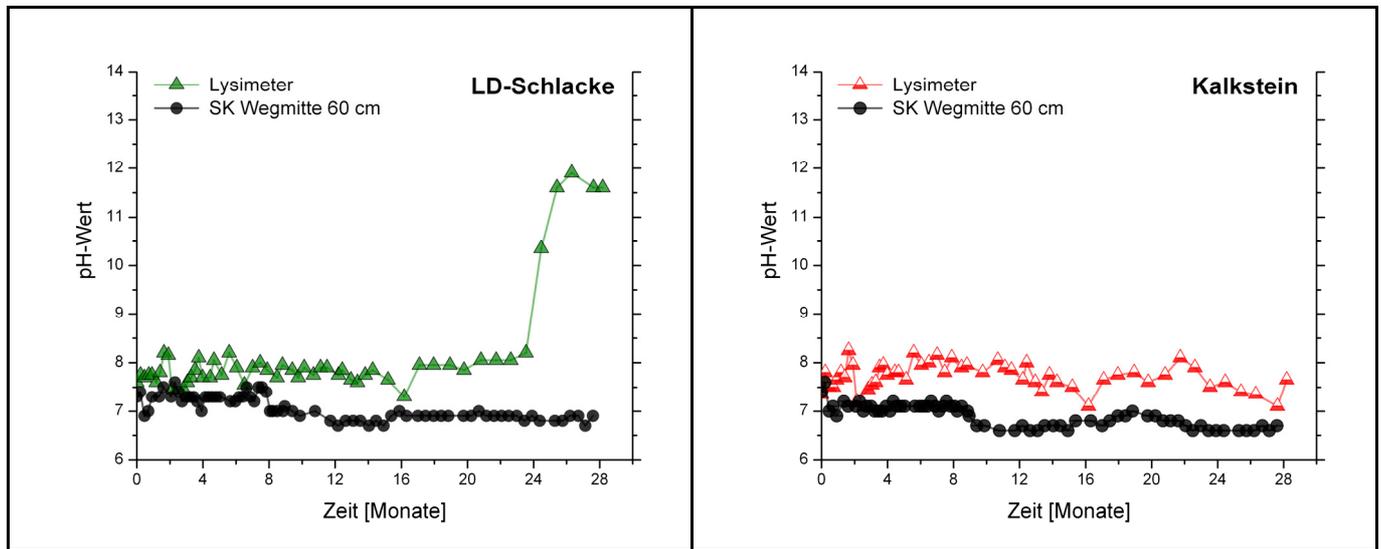


Bild 7: Entwicklung der pH-Werte in den Sickerwässern der Lysimeter und den Saugkerzen unter der Mitte des Versuchswegs (SK = Saugkerze)

Nicht direkt vergleichbar mit den Ergebnissen aus den Laborverfahren sind die Werte aus den Lysimeterversuchen, da die Sickerwässer nach der Passage der Schlackenschicht noch durch eine Bodenschicht geflossen sind. Bis zu einem W/F-Verhältnis von etwa 0,9 zeigt diese Bodenschicht ein deutliches Rückhaltevermögen für Molybdän, danach steigen die Werte an. Zuletzt liegt die kumulierte Fracht etwa auf dem Niveau des up-flow-Säulenverfahrens.

Die Sickerwässer aus den Lysimetern sollten vom Versuchsaufbau her theoretisch den Saugkerzen-Lösungen von der Mitte des Versuchswegs (60 cm unter GOK) entsprechen, unterscheiden sich aber teilweise doch deutlich. So liegen beispielsweise die pH-Werte der Lysimeterwässer rund eine pH-Einheit höher als die pH-Werte der Saugkerzenlösungen (Bild 7).

– **Einfluss des Bodens auf die Inhaltsstoffe der Sickerwässer**

In Bild 8 sind beispielhaft die am Versuchsweg und in den Lysimetern gemessenen Konzentrationen für Molybdän (oben) bzw. Chrom (unten) der LDS-Variante dargestellt. Bei beiden Parametern zeigt sich der Einfluss des Bodens darin, dass in den Saugkerzenlösungen über den gesamten Versuchszeitraum praktisch kein Mo beziehungsweise Cr messbar ist. Bei den Lysimetern übt der Boden nur im ersten Jahr eine rückhaltende Wirkung auf die Mo-Auslaugung aus, danach steigen die Konzentrationen an. Beim Cr ist dagegen kein Nachlassen der Sorptionsfähigkeit festzustellen, so dass eine gute Übereinstimmung der Werte zwischen den Lysimetern und den Saugkerzen beobachtet werden kann.

Die Sickerwässer der Auffanggefäße spiegeln das Auslaugverhalten der reinen Mineralstoffe ohne Bodeneinfluss wider. Hier haben die Mo-Konzentrationen bei der LD-Schlackenvariante einen nahezu konstanten Wert von 0,05 mg/l. Die Cr-Konzentrationen schwanken dagegen mit Werten zwischen 0,007 und 0,023 mg/l etwas stärker. Anders als beim Molybdän und Chrom kann beim Parameter Sulfat keine Rückhaltung im Boden beobachtet werden (Bild 9). Die hohen Sulfatkonzentrationen der Laborversuche spiegeln sich in den Werten aus dem Auffanggefäß der Kalksteinvariante wider. Im Gegensatz zu anderen Parametern können hier bereits ab Versuchsbeginn in den Lysimetern und nach kurzer Zeit auch in den Saugkerzen hohe Werte festgestellt werden. Das bedeutet, dass Sulfat nahezu ohne Rückhalt und rasch aus dem Kalkstein ausgelaugt und in den Boden bzw. in das Grundwasser verlagert wird.

– **W/F-Verhältnisse in den Lysimetern und im Praxisversuch**

Unter der Annahme, dass der weitaus größte Anteil der aufgegebenen Wassermenge durch die Lysimeter sickert, wurden mit diesen Mengen die W/F-Verhältnisse berechnet. Die Ergebnisse zeigen, dass bei einer jährlichen Beregnung von 95 bis 97 l (entsprechend 500 mm/a) und einer Mineralstoffmenge von ca. 120 kg pro Lysimeter ein W/F-Verhältnis von rund 0,8 erreicht wird.

Für den Versuchsweg sind in Tabelle 1 die Niederschlagssummen den erfassten Sickerwassermengen aus den Auffanggefäßen unter der Tragschicht gegenübergestellt.

Aus diesen Sickerwassermengen kann näherungsweise die Sickerwasserrate durch die Deck- und Tragschicht berechnet werden. Mit Werten zwischen 106 und 110 mm pro Jahr beim LD-Schlackenabschnitt und von 36 bis 41 mm beim Kalksteinabschnitt wurden wesentlich geringere Sickerwasserraten ermittelt, als für die Berechnungen der Bauweise "Deckschicht ohne Bindemittel" in der geplanten Ersatzbaustoffverordnung (EBV) [10] [11] zugrunde gelegt wurden. Für den LD-Schlackenabschnitt bedeutet dies, dass nur ca. 14 bis 17 % des Jahresniederschlags durch die Deck- und Tragschicht sickern. In den Berechnungen der geplanten EBV wird dagegen bei einer mittleren Niederschlagsmenge von 859 mm/a und einer Sickerwasserrate von 583 mm/a mit 68 % eine deutlich höhere Infiltrationsrate angenommen [12].

Aus den in Tabelle 1 genannten Sickerwassermengen können näherungsweise die W/F-Verhältnisse für die Tragschicht des Versuchswegs ermittelt werden. Diese sind mit jährlichen W/F-Verhältnissen von 0,10 bei der LD-Schlacke und 0,04 beim Kalkstein sehr gering. Für den Vergleich mit den Laborauslaugverfahren bedeutet dies, dass lediglich die ersten Fraktionen des up-flow-Verfahrens sowie die erste Fraktion des ausführlichen Säulenversuchs direkt mit den Stoffkonzentrationen aus den Auffanggefäßen verglichen werden können. Alle anderen Verfahren bzw. Fraktionen weisen höhere W/F-Verhältnisse auf. Bei einer angenommenen Sickerwasserrate von 583 mm/a würde für den LD-Schlackenabschnitt ein jährliches W/F-Verhältnis von ca. 0,55 erreicht, das sich erheblich von dem hier ermittelten Wert unterscheiden würde.

Die realen Werte des Versuchsweges zeigen zudem, dass die erreichten W/F-Verhältnisse im Vergleich zu den Lysimetern wesentlich geringer sind und dadurch andere Stofffrachten entstehen.

Schlussfolgerungen und Ausblick

Ein Vergleich der Laborversuche mit den Lysimeterversuchen und dem Versuchsweg zeigt, dass sich die Ergebnisse zum Teil deutlich voneinander unterscheiden. Eine direkte Übertragbarkeit von Laborergebnissen auf reale Einbausituationen ist daher nur schwer möglich. Die größten Unterschiede zwischen den erzielten Ergebnissen sind wahrscheinlich auf die sehr unterschiedlichen W/F-Verhältnisse zurückzuführen. Da beim Praxisversuch jährlich nur etwa ein W/F-Verhältnis von 0,10 (LDS) beziehungsweise 0,04 (Kalkstein) erreicht wird, können streng genommen nur die jeweils ersten Fraktionen des up-flow-Verfahrens nach DIN CEN/TS 14405 bzw. des Säulenversuchs nach DIN 19528 direkt mit den Werten aus dem Versuchsweg verglichen werden. Weitere Einschränkungen der Vergleichbarkeit werden durch die unterschiedlichen Randbedingungen der Versuche hervorgerufen. Obwohl der Aufbau der Lysimeter dem des Versuchsweges nachempfunden wurde, unterscheiden sich die Ergebnisse im Vergleich zu den Sickerwässern aus den Saugkerzen unter der Wegmitte deutlich. Auch hier sind als eine Ursache sicher die – verglichen mit dem Versuchsweg – wesentlich größeren W/F-Verhältnisse in den Lysimetern zu nennen.

Die Kalkulation der Sickerwasserraten am Versuchsweg zeigt, dass der für die Modellierungen im Rahmen der Ersatzbaustoffverordnung angenommene Wert der Sickerwasserrate von 583 mm/a deutlich zu hoch ist. Die am Versuchsweg für den LD-Schlackenabschnitt ermittelten Werte von 106 bis 110 mm/a führen zu einer wesentlich geringeren Stofffracht im Sickerwasser unter der Mineralstoffschicht. Dies hat Einfluss auf das Anreicherungs- und das Durchbruchskriterium, die beide positiver zu bewerten wären.

Nach nunmehr fast dreijähriger Beobachtungszeit des Versuchsweges sind die Konzentrationen umweltrelevanter Parameter in den aus Saugkerzen gewonnenen Bodenlösungen sehr gering, so dass negative Effekte auf das Grundwasser bisher nicht nachweisbar sind.

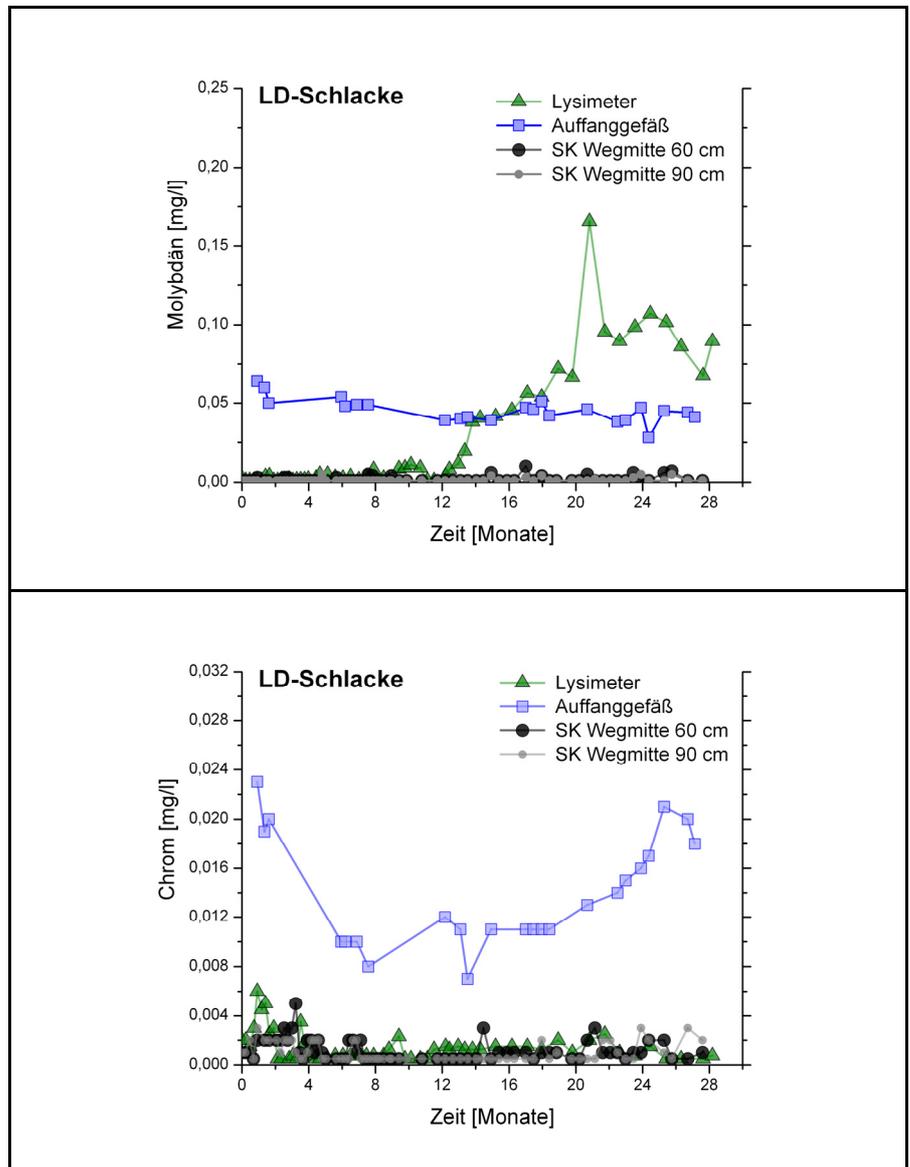


Bild 8: Vergleich der Konzentrationen in Sickerwässern des Auffanggefäßes, der Saugkerzen und der Lysimeter für Mo (LDS, oben) bzw. Cr (LDS, unten)

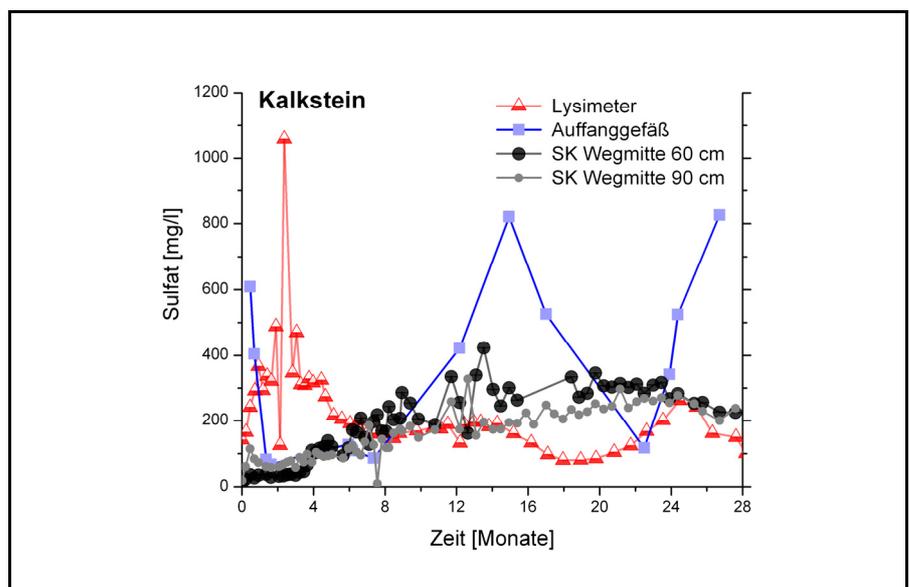


Bild 9: Vergleich der Konzentrationen in Sickerwässern des Auffanggefäßes, der Saugkerzen und der Lysimeter für SO₄ (Kalkstein)

	Nieder- schlag	Sickerwasser- rate LDS	Sickerwasser- rate Kalkstein	Infiltrations- rate LDS	Infiltrations- rate Kalkstein
	[mm/a]	[mm/a]	[mm/a]	[%]	[%]
Jan – Dez 2011	634	110	41	17	6
Jan – Dez 2012	784	106	36	14	5

Tabelle 1: Niederschlags- und Sickerwassermengen am Versuchsweg für die Jahre 2011 und 2012

Der Versuchsweg befindet sich in einem technisch einwandfreien Zustand und soll weiterhin beobachtet und beprobt werden. Parallel dazu werden die Lysimeterversuche fortgeführt, um die weitere Entwicklung der Auslaugraten aus den beiden Mineralstoffsorten zu ermitteln. Diese Untersuchungen werden aus Eigenmitteln des FEhS-Instituts finanziert.

Dank

Das IGF-Vorhaben Nr. 16079 N der Forschungsvereinigung VDEh-Gesellschaft zur Förderung der Eisenforschung mbH wurde über die AiF im Rahmen des Programms zur Förderung der Industriellen Gemeinschaftsforschung (IGF) vom Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages gefördert.

Literatur

- [1] Merkel, Th.: Erzeugung und Nutzung von Produkten aus Eisenhütenschlacke 2011, Report des FEhS – Instituts für Baustoff-Forschung e.V., 19 (2012) Nr. 1, S. 14
- [2] Bialucha, R., Dohlen, M., Sokol, A., Leson, M.: Übertragbarkeit von

Laborergebnissen auf Praxisverhältnisse bei Verwendung von LD-Schlacke im offenen Einbau, Abschlussbericht zum AiF-Forschungsvorhaben Nr. 16079 N, (2013)

- [3] Bialucha, R., Dohlen, M., Merkel, Th.: Langfristiges Verhalten von Stahlwerksschlacken im ländlichen Wegebau, Abschlussbericht zum AiF-Forschungsvorhaben Nr. 14554, (2008)
- [4] Bialucha, R., Dohlen, M.: Langzeitversuche zum Auslaugverhalten von LD-Schlacke unter realen Einbaubedingungen, Report des FEhS – Instituts für Baustoff-Forschung e.V., 18 (2011) Nr. 1, S. 6-9
- [5] Technische Prüfvorschriften für Gesteinskörnungen im Straßenbau TP Gestein-StB, Teil 7.1.1: Modifiziertes DEV-S4-Verfahren, Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen, Köln, Ausgabe 2008
- [6] DIN 19529: Elution von Feststoffen – Schüttelverfahren zur Untersuchung des Elutionsverhaltens von anorganischen Stoffen mit einem Wasser-Feststoff-Verhältnis von 2 l/kg, Januar 2009

- [7] DIN 19528: Elution von Feststoffen – Perkolationsverfahren zur gemeinsamen Untersuchung des Elutionsverhaltens von anorganischen und organischen Stoffen, Januar 2009
- [8] DIN CEN/TS 14405: Charakterisierung von Abfällen – Auslaugungsverhalten – Perkolationsprüfung im Aufwärtsstrom (unter festgelegten Bedingungen), September 2004
- [9] Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe in Zusammenarbeit mit den Staatlichen Geologischen Diensten (Hrsg.): Ad-hoc-Arbeitsgruppe Boden: Bodenkundliche Kartieranleitung. 5. Aufl., 2005
- [10] Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (Hrsg.): Verordnung zur Festlegung von Anforderungen für das Einbringen oder das Einleiten von Stoffen in das Grundwasser, an den Einbau von Ersatzstoffen und für die Verwendung von Boden und bodenähnlichem Material – Entwurf Oktober 2012
- [11] Susset, B., Maier, U.: Weiterentwicklung von Kriterien zur Beurteilung des schadlosen und ordnungsgemäßen Einsatzes mineralischer Ersatzbaustoffe und Prüfung alternativer Wertevorschläge – Zwischenbericht, Januar 2011
- [12] Susset, B., Leuchs, W.: Ableitung von Materialwerten und Einbaumöglichkeiten mineralischer Ersatzbaustoffe; Umsetzung der Ergebnisse des BMBF-Verbundes "Sickerwasserprognose" in konkrete Vorschläge zur Harmonisierung von Methoden (2007)

Der Einfluss der Granulationstechnik auf die Hüttensandeigenschaften

Dr.-Ing. V. Feldrappe, Dr.-Ing. A. Ehrenberg

Einleitung

Die flüssige, ca. 1440 - 1540 °C heiße Hochofenschlacke wird mit hohem Wasserüberschuss zu Hüttensand abgeschreckt – granuliert. Der Hüttensand enthält dadurch nasse, weitestgehend glasige Partikel < 5 mm, die in Freilagern oder Silos bis zum Verbleib einer gewissen Restfeuchte entwässern. Dadurch stellt das

Entwässerungsverhalten eine der wichtigen technischen Eigenschaften der Hüttensande dar wie auch die Verfestigungsneigung, die Mahlbarkeit oder die Reaktivität, also die zementtechnische Leistungsfähigkeit. Diese Eigenschaften werden durch physikalische und chemische Parameter der Hüttensande maßgeblich beeinflusst. Somit kommt den bei der Hüttensandherstellung vorherr-

schen Granulationsbedingungen sowie der Schlackenzusammensetzung eine wesentliche Bedeutung zu. Jedoch wurden in der Vergangenheit, wenn überhaupt, die Einflüsse der Granulationstechnik nur in wenigen spezifischen Einzelfällen dokumentiert. Systematische Untersuchungen auf Basis vergleichbarer Randbedingungen gab es bisher kaum.

Mit dem AiF-Forschungsvorhaben Nr. 16457 wurde im FEhS-Institut der Kenntnisstand um den komplexen Einfluss des Granulationsprozesses zur Produktion von Hüttensand auf seine technischen Eigenschaften mit den Möglichkeiten der Laborgranulation wiederaufgeschmolzener Hüttensande erweitert. Die Ergebnisse des Forschungsvorhabens wurden ausführlich in [1-3] publiziert. Nachfolgend werden die wesentlichen Erkenntnisse kurz zusammengefasst.

Forschungsziel und Umsetzung

Ziel des Forschungsvorhabens war es, mit Hilfe von Laborgranulationsversuchen und dem Abgleich mit Praxisbedingungen Zusammenhänge zwischen den Eigenschaften der flüssigen Schlacke, den Granulationsbedingungen und den chemischen, physikalischen sowie technischen Eigenschaften von Hüttensanden und damit Optimierungsmöglichkeiten für betriebliche Granulationsanlagen aufzuzeigen. Dieses weite Feld möglicher Einflussparameter wurde durch eine systematische Analyse der Einflussgrößen eingegrenzt, und es wurden sowohl die wesentlichen Parameter als auch ihre Spannweite vorab festgelegt (Bild 1). Mit Hilfe statistischer Methoden wurden entsprechende Versuchsstrategien entwickelt, um die Fragestellungen systematisch und effektiv, das heißt mit einer begrenzten Anzahl an Laborversuchen zu bearbeiten. Insgesamt wurden im Rahmen der vier Versuchspläne 89 Hüttensande im Labormaßstab mit verschiedenen Granulationsköpfen (Bild 2) hergestellt und anschließend umfassend analysiert.

Als physikalische Eigenschaften der Hüttensande wurden neben Rein-, Roh- und Schüttdichte auch Kornporosität und das Entwässerungsverhalten der nassen Hüttensande im Kleinsiloversuch ermittelt. Ferner wurden für die bindemitteltechnische Leistungsfähigkeit der Hüttensande Zemente mit 75 M.-% Hüttensand und 25 M.-% Portlandzementklinker hergestellt und mörteltechnisch untersucht. Hierfür wurden die Hüttensande und der Klinker auf eine Feinheit nach Blaine von etwa 4200 cm²/g so aufgemahlen, dass sie eine vergleichbare Korngrößenverteilung aufwiesen. Auch wenn solche CEM III/B-Zemente keine hohen Marktanteile aufweisen, lassen sich mit ihnen jedoch die Einflüsse des Hüttensands auf die Leistungsfähigkeit des Zements wesentlich deutlicher herausarbeiten als bei Zementen mit geringeren Hüttensandgehalten.

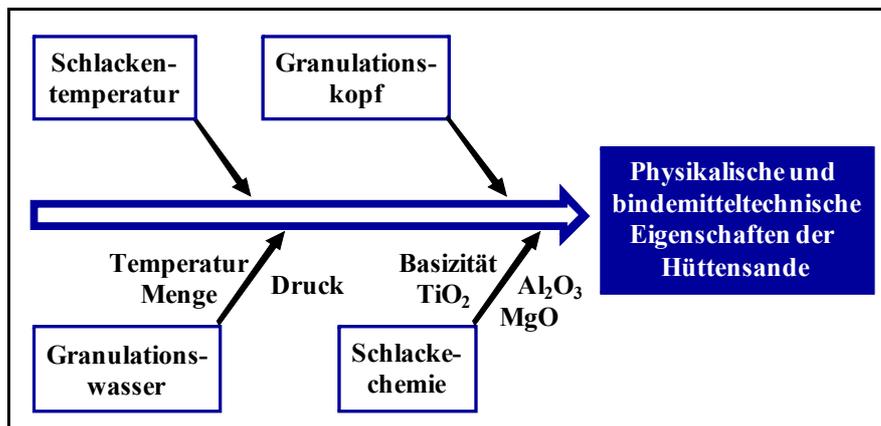
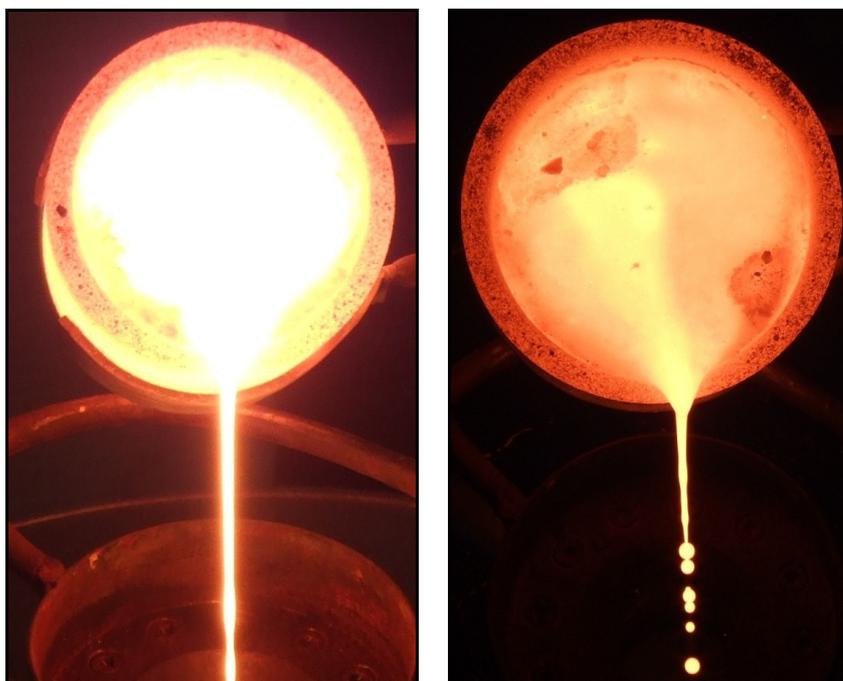


Bild 1: Systematische Analyse der Einflussfaktoren mit ausgewählten Parametern



Bild 2: links: Standard-Laborgranulation (G1); rechts: Labor-Rinnengranulation (G3)



T:	1500 °C	1500 °C
C/S:	1,2	1,2
Al ₂ O ₃ :	11,4 M.-%	12,0 M.-%
TiO ₂ :	0,5 M.-%	1,9 M.-%

Bild 3: Einfluss der chemischen Zusammensetzung auf die Viskosität der Hochofenschlacke

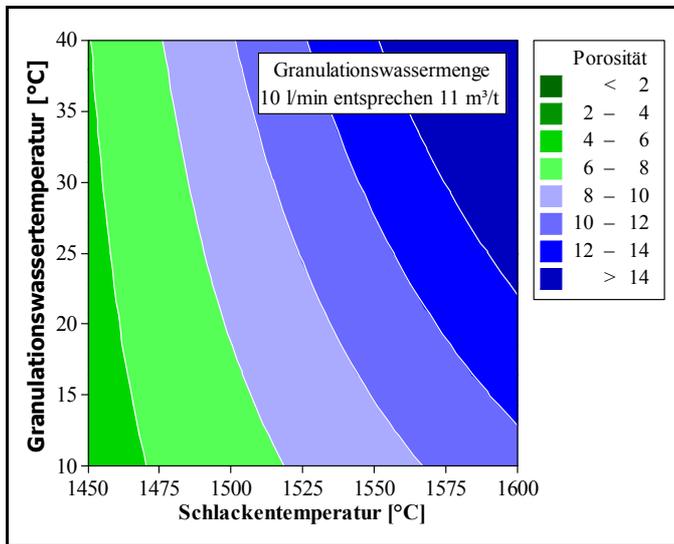


Bild 4: Modell zur Beschreibung der Porosität für Laborhüttensande

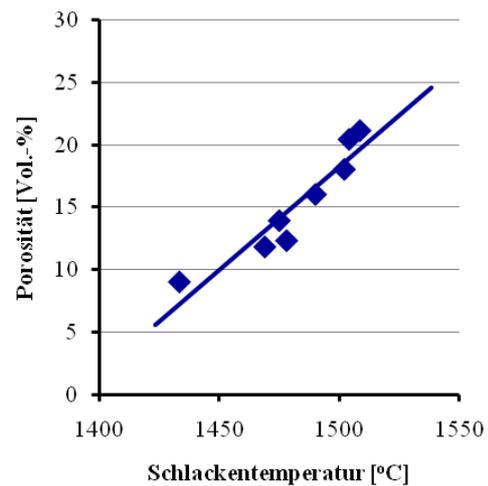


Bild 5: Porosität in Abhängigkeit von der Schlackentemperatur bei einem Betriebsversuch

Die gewonnenen Ergebnisse wurden statistisch ausgewertet. Mit den als signifikant bewerteten Einflussparametern wurden mathematische Modelle für die physikalischen und technischen Eigenschaften der Hüttensande aufgestellt. Diese auf Laborversuchen basierenden Modelle wurden mit den Ergebnissen ausgewerteter Betriebsversuche verglichen, um die Relevanz für die betriebliche Praxis zu überprüfen.

Ergebnisse

– Physikalische Hüttensandeigenschaften

Die physikalischen Hüttensandeigenschaften (Schüttdichte, Porosität und Restfeuchte) wurden hauptsächlich durch die Granulationsbedingungen und weniger durch die chemische Zusammensetzung der Hochofenschlacke beeinflusst. An dieser Stelle muss jedoch darauf verwiesen werden, dass trotz der Variation der Laborgranulationsbedingungen diese möglicherweise generell "schärfer" sind. Es kann daher nicht ausgeschlossen werden, dass sich in der Praxis die durch die Schlackenchemie zweifellos veränderte Viskosität der Hochofenschlacke (Bild 3) auch auf die physikalischen Hüttensandeigenschaften auswirken kann. Sowohl Schüttdichte als auch Restfeuchte hängen hauptsächlich von der durch die Granulationsbedingungen beeinflussten Porosität der Hüttensande ab. Hierbei sind die statistisch signifikanten Einflussgrößen bei der Granulation die Temperaturen der flüssigen Hochofenschlacke bzw. des Granulationswassers sowie die Menge an Granulationswasser. Mit diesen Parametern wurden mathematische Modelle aufgestellt

und mit unabhängigen, das heißt nicht im ursprünglichen Versuchsplan enthaltenen Versuchen überprüft.

Beispielhaft ist in Bild 4 die Auswertung des mathematischen Modells für die bei der Laborgranulation zu erwartende Hüttensandporosität bei einer Granulationswassermenge von 10 l/m³ dargestellt. Diese Durchflussmenge entspricht einer in der betrieblichen Praxis üblichen spezifischen Granulationswassermenge von ca. 11 m³ je Tonne flüssiger Schlacke. Für zwei mögliche Szenarien werden die Einflussmöglichkeiten auf die Hüttensandporosität exemplarisch veranschaulicht. Die Porosität (und damit die Restfeuchte) lässt sich senken

- ♦ um ca. 2,7 Vol.-% je 50 °C geringerer Schlackentemperatur

Dabei ist zu beachten, dass aus betrieblichen Gründen durch eine deutliche Zunahme der Schlackenviskosität der Spielraum zu kühleren Schlacken begrenzt ist.

- ♦ um 0,9 Vol.-% je 10 °C geringerer Granulationswassertemperatur bei einer praxisüblichen Schlackentemperatur von 1500 °C

Die Ausprägung dieses Einflusses nimmt mit steigender Schlackentemperatur zu.

Mit der Auswertung von systematischen Betriebsversuchen wurde versucht, die Modellergebnisse an der betrieblichen Praxis zu kalibrieren. Die im Forschungsvorhaben gewonnenen Erkenntnisse werden prinzipiell bestätigt, wie beispielhaft Bild 5 veranschaulicht. Jedoch ist eine generelle Übertragbarkeit der modellierten bzw. der im Labor gewonnen Ergebnisse nicht mög-

lich. Die relativen Änderungen der im Modell berechneten Ergebnisse stimmen jedoch mit denen der Betriebsversuche gut überein. So führt eine Reduktion der Schlackentemperatur um 100 °C überschläglich zu einer Halbierung der Porosität und somit auch zu einer geringeren Restfeuchte der Hüttensande nach der Entwässerung.

– Bindemitteltechnische Hüttensandeigenschaften

Im Gegensatz zu den physikalischen Hüttensandeigenschaften wird die zementtechnische Leistungsfähigkeit der Hüttensande hauptsächlich durch die Chemie der Hochofenschlacke bestimmt. Mit Hilfe der statistischen Auswertung konnten abgesicherte Zusammenhänge zwischen den signifikanten chemischen Eigenschaften (einfache Basizität, Aluminium- sowie Titandioxidgehalt) und den Mörteldruckfestigkeiten nach 2 bzw. 28 Tagen aufgezeigt werden. Die Auswertung des aus diesem Zusammenhang aufgestellten und überprüften Modells für die Mörteldruckfestigkeit nach 2 Tagen ist in Bild 6 dargestellt. Die Frühfestigkeit nach 2 Tagen konnte um je 1 MPa gesteigert werden, wenn die einfache Basizität der Schlackenchemie um 0,06 bzw. der Aluminiumoxidgehalt um 1,3 M.-% angehoben wurden. Hingegen halbierte sich annähernd die Frühfestigkeit, wenn der Titandioxidgehalt über den unkritischen Wert von etwa 1 M.-% auf 2,5 M.-% anstieg.

Bei der Mörteldruckfestigkeit nach 28 Tagen waren die Einflüsse prinzipiell vergleichbar, wenngleich ihr Ausmaß geringer ausfiel. Der negative Einfluss des Titan-

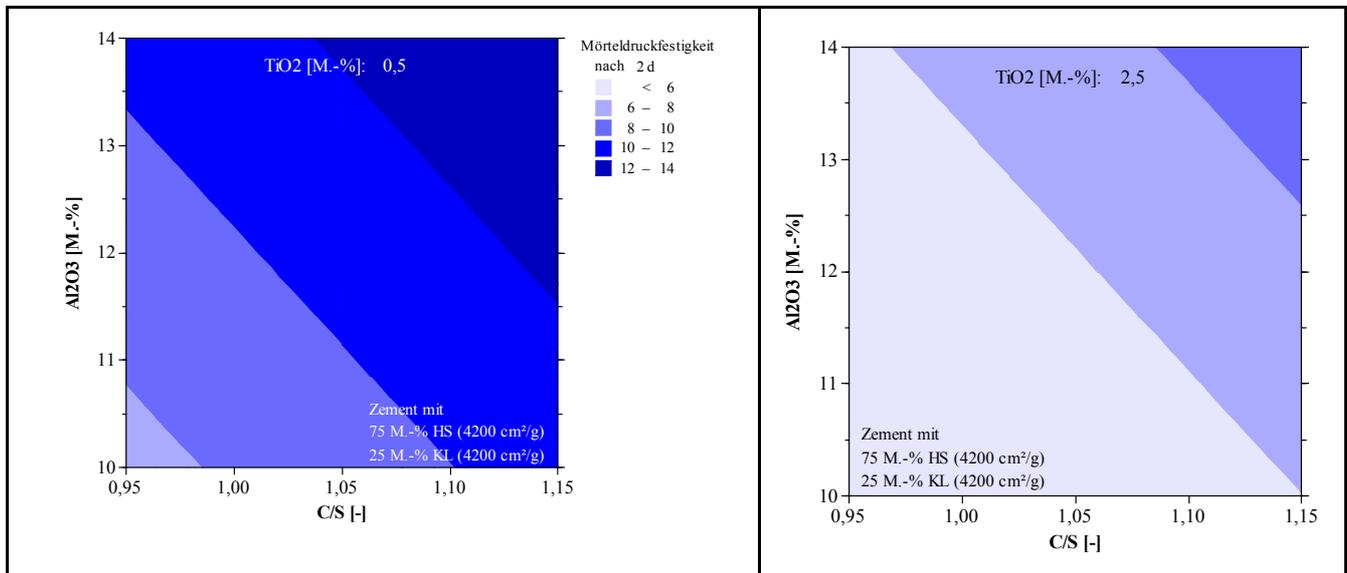


Bild 6: Modell zur Beschreibung der Frühfestigkeit nach 2 Tagen für Zemente mit 75 M.-% im Labor erzeugten Hüttensands und 25 M.-% Portlandzementklinker

oxidgehalts ließ sich generell durch eine Anhebung der einfachen Basizität oder des Aluminiumoxidgehalts kompensieren. Dagegen wurde der aus thermodynamischen Gründen vermutete positive Einfluss heißerer Schlacke auf die Hüttensandreaktivität bei den Laborversuchen nicht bestätigt.

Zusammenfassung

Um mit einem vertretbaren Aufwand ein Maximum an Erkenntnissen zu gewinnen, wurden mit Hilfe statistischer Methoden Versuchspläne aufgestellt und die Ergebnisse ausgewertet. Es zeigte sich, dass zumindest im Rahmen der untersuchten Spannweiten eine Veränderung von Granulationsbedingungen hauptsächlich die physikalischen Eigenschaften der Hüttensande beeinflusst. Hingegen übt vornehmlich die Chemie der Hochofenschlacke einen Einfluss auf die bindemitteltechnische Leistungsfähigkeit aus. In Bezug auf die beeinflussbaren Größen wurden mathematische Modelle aufgestellt und mit unabhängigen Laborversuchen überprüft. Mit entspre-

chend ausgewerteten Betriebsversuchen in Hüttenwerken wurde versucht, die Modelle zu kalibrieren. Eine unmittelbare Übertragbarkeit der aus den Laborversuchen erarbeiteten Modelle in die Praxis ist schwierig. Jedoch waren die relativen Veränderungen bei den Modellversuchen und den ausgewerteten Betriebsversuchen annähernd gleich, so dass die Modelle ein gutes Hilfsmittel darstellen, um die Auswirkungen der bei der Herstellung von Hüttensand eingestellten Parameter im Hüttenwerk, wie zum Beispiel chemische Zusammensetzung, auf die Hüttensandeigenschaften abschätzen zu können.

Dank

Das IGF-Vorhaben Nr. 16457 N der Forschungsvereinigung VDEh-Gesellschaft zur Förderung der Eisenforschung mbH wurde über die AiF im Rahmen des Programms zur Förderung der Industriellen Gemeinschaftsforschung (IGF) vom Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie aufgrund eines Beschlusses des

Deutschen Bundestages gefördert. Dafür sei an dieser Stelle ausdrücklich gedankt.

Literatur

- [1] Optimierung der Granulationsbedingungen bei der Herstellung von Hüttensand unter gleichzeitiger Berücksichtigung der Hüttensandqualität, Abschlussbericht des AiF-Forschungsvorhabens Nr. 16457 N, 2012
- [2] Ehrenberg, A., Feldrappe, V., Mudersbach, D.: Optimierung der Granulationsbedingungen bei der Herstellung von Hüttensand unter gleichzeitiger Berücksichtigung der Hüttensandqualität, 18. Internationale Baustofftagung Ibausil 2012, Band 1, S. 671-679
- [3] Ehrenberg, A.: Einfluss der Granulationsbedingungen und Leistungsfähigkeit von Hüttensand, ZKG International 66 (2013) Nr. 1, S. 64-71 und Nr. 3, S. 61-67

Hochofenzement- und Portlandhüttenzementbeton für Brückenkappen – Aktueller Stand –

Dr.-Ing. A. Ehrenberg

Einleitung

Im "Report" Nr. 2/2012 [1] hatte das FEhS-Institut darauf hingewiesen, dass das Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (BMVBS) in seinem Allge-

meinen Rundschreiben Nr. 13/2012 [2] die von der Bundesanstalt für Straßenwesen (BAST) herausgegebene ZTV-ING, Ausgabe März 2012 [3], einführt. In dieser wurde der Hochofenzement CEM III/A von der Verwendung für Brückenkappenbeton aus-

geschlossen. Im März 2013 wurde nun bekannt, dass künftig auch der Portlandhüttenzement CEM II/B-S gemäß ZTV-ING nicht mehr für dieses Bauteil zugelassen sein wird. Diese Regelung ist erstaunlich, da doch zum einen durchaus aktuelle posi-

tive Erfahrungen mit CEM II/B-S in Brückenkapfenbetonen vorliegen (zum Beispiel [Bild 1](#)) und zum anderen für die schadhaften Brückenkapfen mit Hochofenzementbetonen eine eingehende Schadensursachenanalyse bisher noch gar nicht erfolgte.

Hintergrund

Der Hintergrund des Ausschlusses von Hochofenzement für Brückenkapfen in der ZTV-ING wurde eingehend in der Zeitschrift "Beton-Informationen" dargestellt [5]. Diese Entscheidung wurde im "Koordinierungsausschuss Baudurchführung" der "Bund/Länder-Dienstbesprechung Brücken- und Ingenieurbau", einem Gremium des BMVBS, getroffen. Hintergrund sind Schäden an einigen Brückenkapfen, insbesondere in Rheinland-Pfalz [6, 7]. In [5] finden sich aber auch einige Beispiele für Brückenkapfen mit Hochofenzementbeton, die sich seit Jahrzehnten als dauerhaft erwiesen haben.

Der Widerspruch zwischen positiven Erfahrungen einerseits und der aktuellen Pauschalregelung andererseits hat es als sinnvoll erscheinen lassen, noch einmal auf die Notwendigkeit einer sorgfältigen Betonageausführung hinzuweisen, zumal Brückenkapfen allein aus konstruktiven Gründen (vergleichsweise lange, dünne Bauteile, die Zwangsbeanspruchungen unterliegen) eher sensible Bauteile sind, die je nach Fertigstellung bereits früh einer hohen Frost-Tausalz-Beanspruchung unterliegen können. Zu der sorgfältigen Ausführung gehört unter anderem die für jeden Beton, aber insbesondere für Beton mit langsamer reagierenden Zementen, zwingend notwendige und sachgerecht auszuführende Nachbehandlung, wie in der Zeitschrift "Beton" im Frühjahr 2013 eingehend diskutiert wurde [8].

Aktueller Stand

Das FEhS-Institut hat sowohl mit der BAST als auch mit dem Landesbetrieb Mobilität in Rheinland-Pfalz Kontakt aufgenommen und den Ausschluss des Hochofenzements kritisch hinterfragt. Da die Bauverwaltung es in ihrer Funktion als Bauherr nicht als ihre Aufgabe ansieht, Schadensursachenforschung zu betreiben, hat das FEhS-Institut diesbezüglich seine Unterstützung angeboten. Es wurde vereinbart, einige der als schadhaft eingestufteten Brückenkapfen in Augenschein zu nehmen, zu beproben und eine Betoncharakterisierung, z. B. hinsichtlich der Porosität der Betonrandzone, vorzunehmen.



Bild 1: Glätten und Nachbehandlung von Brückenkapfen, je eine mit CEM II/B-S 32,5 R bzw. CEM I 32,5 R-NA ($z = 340 \text{ kg/m}^3$, $w/z = 0,50, 0,30 \text{ M.-%}_Z \text{ LP}$), 2001 unten rechts: Zustand nach 3 Wintern 2004 [4]

Ausblick

2002 schrieb K. Rendchen aus Anlass der Öffnung der damaligen ZTV-K (Vorgänger der ZTV-ING) für Portlandhüttenzement, Hochofenzement mit maximal 50 M.-% Hütten sand und einige weitere Zemente: "Es bleibt zu hoffen und zu wünschen, dass diese überfällige Öffnung der ZTV-K durch das ARS Nr. 2/2002 nicht dazu führt, Mängel an Brückenkapfen infolge unsachgemäßer Herstellung verstärkt den 'neuen Zementen' zuzuschreiben" [9].

Leider ist dies exakt 10 Jahre später nun doch geschehen. Das FEhS-Institut wird versuchen, mit seiner Arbeit und in offener Diskussion mit den Vertretern der Bauverwaltung dazu beizutragen, dass künftige Regelwerke den ökologisch sowie technisch zweifelsohne sinnvollen Einsatz hütten sandhaltiger Zemente auch für die Errichtung von Brückenkapfen wieder gestatten können.

Literatur

[1] Ehrenberg, A.: Hochofenzementbeton und Frostwiderstand – Positive Erfah-

rungen erneut bestätigt, Report des FEhS – Instituts für Baustoff-Forschung e.V., 19 (2012) Nr. 2, S. 8-10

- [2] Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung: Allgemeines Rundschreiben Straßenbau Nr. 13/2012, 21.09.2012
- [3] Bundesanstalt für Straßenwesen (BAST): Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für Ingenieurbauten (ZTV-ING), Ausgabe März 2012
- [4] Michel, A.: Erfahrungen mit Portlandhüttenzement CEM II/B-S 32,5 R-NA in Beton für Brückenkapfen, Beton-Informationen 45 (2005) Nr. 5, S. 101-103
- [5] Feldrappe, V., Ehrenberg, A.: Betone für Brückenkapfen mit Hochofenzement CEM III/A, Beton-Informationen 52 (2012) Nr. 6, S. 78-87
- [6] Brückenkapfen immer wieder mit Problemen? Lafarge Forum (2012) Nr. 2, S. 18-20

- [7] Tauscher, F. (BAST): Persönliche Mitteilung 09.01.2013
- [8] Ehrenberg, A.: Nachbehandlung – Unabdingbare Voraussetzung für

dauerhafte Brückenkappen aus Hochofenzementbeton, beton 63 (2013) Nr. 3, S. 80-86, Nr. 4, S. 132-137

- [9] Rendchen, K.: Zemente nach DIN EN 197-1 und DIN 1164 für Brückenkappen, Beton-Informationen 42 (2002) Nr. 2/3, S. 27

Daten zur Erzeugung und Nutzung von Eisenhüttenschlacken

Dr.-Ing. Th. Merkel

Seit vielen Jahren erfasst der Fachverband Eisenhüttenschlacken e.V. die Erzeugung der Nebenprodukte der Stahlindustrie sowie deren Nutzung in den unterschiedlichen Einsatzfeldern. Für das Jahr 2012 haben die Umfragen zu den in den Tabellen 1 und 2 zusammengestellten Daten geführt. Entsprechend dem Rückgang der Stahlproduktion im Vergleich zum Vorjahr ist auch bei der Erzeugung von Hochofenschlacke und Stahlwerksschlacke ein leichter Rückgang gegenüber dem Jahr 2011 festzustellen. Insgesamt wurden im Jahr 2012 13,4 Mio. t Eisenhüttenschlacken produziert.

Erzeugung	Mio. t
Schlacke aus Stahlroheisenerzeugung	7,37
Schlacke aus sonstiger Roheisenerzeugung	0,08
Summe	7,45
davon:	
HS	6,50
HOS	0,95

Nutzung	Mio. t
HOS (Gesteinskörnungen)	0,06
HOS (Baustoffgemische)	0,84
HS zur Zementherstellung	5,93
HS für andere Einsatzgebiete	0,11
Eigenverbrauch der Werke	0,05
Zwischenlager	0,46
Summe	7,45

Tabelle 1: Erzeugung und Nutzung von Hochofenschlacke 2012

Eine genauere Auswertung der in Tabelle 1 wiedergegebenen Daten für die Hochofenschlacke zeigt, dass die Menge des erzeugten Hüttensands (HS) fast identisch mit der des Vorjahres ist, während sich die als kristalline Hochofenstückschlacke (HOS) erzeugte Menge nochmals reduziert hat. Erstmals (lässt man das Krisenjahr 2009 einmal außer Betracht) wurden weniger als 1 Mio. t HOS produziert. Damit lag der Anteil des HS an der Gesamtproduktion 2012 bei über 85 %. Hinsichtlich der Nutzung von HS ist die Menge des zur Herstellung hüttensandhaltiger Zemente eingesetzten HS nochmals leicht angestiegen. Entsprechend zurückgegangen gegenüber den Vorjahren ist die Menge des HS, der für andere Einsatzgebiete, beispielsweise den Straßenbau, Verwendung fand. Während in der Vergangenheit die Nutzung von HOS als Baustoffgemisch für Tragschichten ohne Bindemittel völlig selbstverständlich war, geht die Nutzung für dieses Gebiet inzwischen kontinuierlich zurück. Dies ist einerseits der geringeren Erzeugung an HOS geschuldet, andererseits aber auch den schwieriger werdenden Randbedingungen im Straßenbau. Hier wird immer seltener ein Neubau oder eine grundlegende Erneuerung durchgeführt, sondern es müssen die Mittel für den Straßenbau zunehmend für die Ertüchtigung von Brücken und anderen Ingenieurbauwerken eingesetzt werden.

Erzeugung	Mio. t
Schlacke aus Oxygenstahlerzeugung	3,10
Schlacke aus Elektrostahlerzeugung	1,81
Schlacke aus Sonderverfahren	0,93
Gesamterzeugung	5,84
Lagerabbau	0,09
Summe	5,93

Nutzung	Mio. t
Metallurg. Kreislaufführung	0,76
Düngemittel	0,52
Baustoffe (Straßenbau, Erdbau, Wasserbau etc.)	3,44
Sonstiges	0,46
Deponie	0,75
Summe	5,93

Tabelle 2: Erzeugung und Nutzung von Stahlwerksschlacke 2012

Eine genauere Betrachtung der Tabelle 2 zeigt, dass der Rückgang der Stahlwerksschlackenproduktion im Vergleich zum Vorjahr sich im Wesentlichen bei der Schlacke aus der Oxygenstahlerzeugung bemerkbar macht, während bei der Schlacke aus der Elektrostahlerzeugung sowie aus nachgeschalteten Aggregaten und speziellen Verfahren die Erzeugung sogar leicht angestiegen ist. Insgesamt ist die Menge um etwa 0,2 Mio. t zurückgegangen. Hinsichtlich der Nutzung macht sich dieser Rückgang bemerkbar bei den Baustoffen und bei den für die metallurgische Kreislaufführung genutzten Schlacken. Bei Letzteren ist der Rückgang sicher auch im Zusammenhang mit der insgesamt geringeren Stahlerzeugung zu sehen.

Erfreulich ist, dass die Nutzung als Düngemittel nochmals zugenommen und den höchsten Stand seit Jahrzehnten erreicht hat. Auch wenn es einen leichten Abbau der in den vergangenen Jahren für eine spätere Verwendung aufgehaldeten Stahlwerksschlacken gegeben hat, ist die deponierte Menge seit 2009 stetig angestiegen. Damit erreicht die Nutzungsrate der Stahlwerksschlacken im Jahr 2012 auch nicht den angestrebten Wert von 90 % und mehr der Erzeugungsmenge. Diesen Anteil wieder zu steigern, ist Ziel der Schlackenindustrie für das Jahr 2013 und die Folgejahre – eine Aufgabe, die im zunehmend schwierigen Umfeld nicht leicht zu verwirklichen sein wird.