

# Report.

Wissenschaftsprojekte des FEhS-Instituts **1/2017**

ISSN 0948-4795 | 24. Jahrgang Nr. 1

- 2** FEhS-Institut beprobt die Reichsautobahnbrücke bei Limburg  
> A. Ehrenberg
- 7** Von der Spurenanalyse zur Ultraspurenanalyse – ein großer Schritt  
> D. Lohmann
- 8** Bindemittelbehandlung feinkörniger Stahlwerksschlacken zur Reduzierung der Auslaugung umweltrelevanter Bestandteile  
> M. Leson, R. Bialucha
- 15** Erzeugung und Nutzung von Eisenhüttenschlacken 2016  
> Th. Merkel

# FEHS-INSTITUT BEPROBT DIE REICHAUTOBAHNBRÜCKE BEI LIMBURG

Dr.-Ing. A. Ehrenberg

## EINLEITUNG

Seit Jahrzehnten ist die BAB 3 eine der in Europa am dichtesten befahrenen Strecken. Sie muss daher stetig den wachsenden Anforderungen des Verkehrs, insbesondere des (Schwer-)Lastverkehrs, angepasst werden. Das BMVI geht im Bundesverkehrswegeplan 2030 davon aus, dass in Deutschland zwischen 2010 und 2030 der Lkw-Verkehr (Tonnenkilometer) um 39 % und der Pkw-Verkehr (Personenkilometer) um 10 % zunehmen wird [1]. Für die BAB 3 wird mit einem werktäglichen Aufkommen von mehr als 90.000 Kraftfahrzeugen gerechnet. Nach [2] betrug bereits 2005 das durchschnittliche tägliche Verkehrsaufkommen bei Limburg 92.000 Kfz und eine Prognose für 2020 geht von 132.000 Kfz aus! Eine aus technischen Gründen dringend notwendige, die künftige Belastung berücksichtigende und bereits 2013 begonnene Baumaßnahme war der Ersatz der Autobahnbrücke über die Lahn bei Limburg zwischen Frankfurt und Köln, die ihrerseits 1965 die in den Jahren 1937–1939 für die Reichsautobahn gebaute erste Brücke ersetzt hatte [2]. Anlässlich der Besichtigung der aktuellen Neubaumaßnahmen im April 2016 erfuhr das FEhS-Institut davon, dass sich im südlichen Widerlager der Brücke von 1965 noch das Widerlager der ersten, ansonsten komplett abgerissenen Brücke befand. Da bekannt war, dass diese Brücke aus Beton mit Thurament, einem seit den 1920er Jahren hergestellten

Betonzusatzstoff aus Hüttensand und Sulfatträger [3, 8], errichtet worden war, bat das FEhS-Institut darum, den alten Widerlagerbeton beproben zu dürfen. Nachfolgend werden diese Arbeiten beschrieben und die Ergebnisse der betontechnischen Untersuchungen vorgestellt.

## DIE REICHAUTOBAHNBRÜCKE

Für den Ende der 1920er Jahre beginnenden und seit 1933 forcierten Reichsautobahnbau wurden zahlreiche Brückenbauwerke benötigt. Bereits 1937 waren 3.223 Brücken fertiggestellt und weitere 884 im Bau oder in der Vorbereitung [4]. Zum architektonischen Anspruch an diese Bauwerke hieß es [4]: „Es sollten Straßen entstehen, die sich samt ihren Brücken harmonisch und als ein Kulturdenkmal in die deutsche Landschaft einfügen. Da galt es, Brücken zu schaffen, die bis ins Kleinste sauber durchgebildet sind und die den Anspruch erheben können, als Baudenkmäler angesehen zu werden.“ Diesem Anspruch stellte sich der Architekt Paul Bonatz, u. a. für die Brücke bei Limburg. Zu dieser sagte er später in seiner Autobiografie: „... hier war einmal Vollkommenheit erreicht“ [5].

Der Entwurf der Brücke begann 1936 und 1937 starteten die von den Firmen Grün & Bilfinger AG und Dyckerhoff & Widmann KG ausgeführten Arbeiten. Die Brückenkonstruktion bestand aus einem Natursteingewölbe auf natursteinverkleideten Pfeilern



Bild 1: Bau der Lahntalbrücke 1937–1939. Oben: am Grund der Lahn; Mitte: zweifach verwendete Lehrgerüste aus Holz; unten: Limburger Dom im Hintergrund [7]

in Stampfbeton [6] (Bild 4 und 5). Der Fotograf Willy Heinz aus Limburg wurde beauftragt, den Bau der Brücke zu begleiten. Drei seiner über 700 im Diözesanarchiv Limburg archivierten Aufnahmen zeigt Bild 1.

Einige der für den Reichsautobahn-bau benötigten Brückenbauwerke (Pfeiler und Widerlager) wurden mit Beton hergestellt, deren Bindemittel aus einer Mischung von Portlandzement und Thurament bestand. Der Betonzusatzstoff Thurament wurde seit 1923 von der Zementfabrik Thuringia, die zur Sächsisch-Thüringischen Portland-Zement-Fabrik Prüssing & Co. gehörte, hergestellt. Hierzu nutzte man den Hüttensand der benachbarten Maxhütte in Unterwellenborn, dem etwas Sulfatträger zugemahlen wurde. Insbesondere massige Bauwerke wurden, u. a. aufgrund der niedrigeren Hydratationswärmeentwicklung und geringen Schwindneigung sowie der zwar langsameren, aber stetigen Festigkeitsentwicklung, mit Thurament erstellt (z. B. Brückenbauwerke, Talsperren, Schleusen). Im Zuge des Autobahnbaus wurde Thuramentmörtel auch zum Vermauern der Verblendsteine genutzt, wobei Mischungen von 25–40 M.-% Portlandzement und 75–60 M.-% Thurament Verwendung fanden [3, 8]. Die konkrete Rezeptur für den in der Lahntalbrücke verwendeten Stampfbeton liegt nicht vor. Aber aus einem von der Obersten Bauleitung der Reichsautobahnen 1938 heraus-

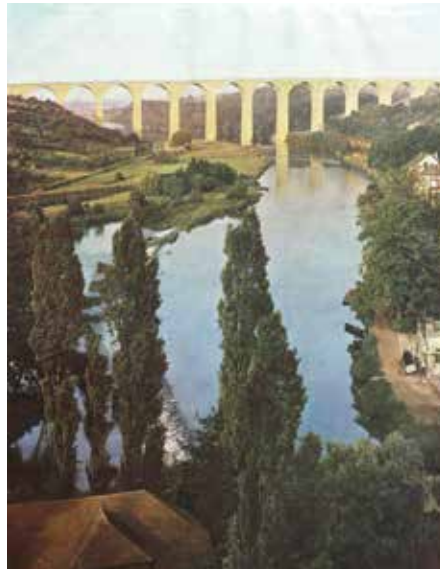


Bild 2: Die 1937–1939 errichtete Lahntalbrücke [12]



Bild 3: Behelfsbrücke von 1949 [13]



Bild 4: Probemauerwerk für die Steinverkleidung [6]



Bild 5: Bauzustand 1938 [8]

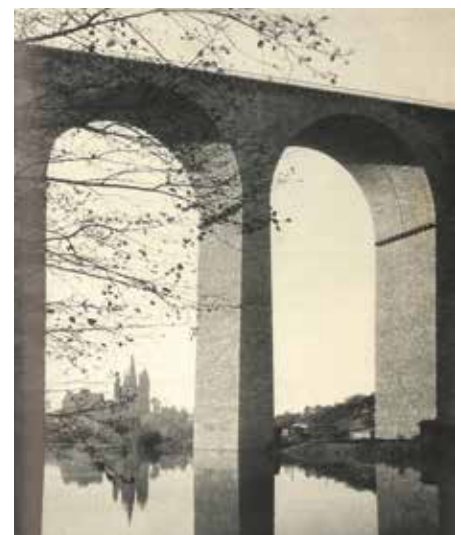


Bild 6: Die Lahntalbrücke mit dem Limburger Dom [5]



Bild 7: Südliches Widerlager der Brücke von 1965



Bild 8: Natursteinverkleidung (Westseite) der Brücke von 1939



Bild 9: Mitarbeiter des FEhS-Instituts bei der Probenahme am südlichen Widerlager der Brücke von 1939



Bild 10: Neue Autobahnbrücke im April 2016

gegebenen „Merkblatt für die Verwendung von Thurament“ wird für Stampfbetonmischungen für Bauwerksteile mit Natursteinverkleidungen eine Mischung aus 90–110 kg/m<sup>3</sup> Portlandzement und 135–165 kg/m<sup>3</sup> (60 %) Thurament genannt [9].

Es entstand ein imposantes, auf 13 eingespannten Bögen ruhendes, rd. 514 m langes und rd. 60 m hohes Bauwerk. Die am 23.09.1939 für den Verkehr freigegebene, sehr eindrucksvolle Brücke zeigen Bild 2 und 6. Das hessische Landesamt für Denkmalpflege spricht von „optisch umgesetzten Ewigkeitsansprüchen“ [10]. Aber nur sechs Jahre nach Inbetriebnahme wurde der Mittel-

teil der Brücke im März 1945 von deutschen Truppen gesprengt. Die Lücke wurde 1949 nur auf der östlichen Seite mit einer Stahlkonstruktion behelfsmäßig geschlossen (Bild 3). Der zunehmende Verkehr machte später einen Neubau erforderlich, der 1960 zunächst auf der westlichen, ungenutzten Seite begann und mit der Verkehrsfreigabe 1963 bzw. 1965 endete. Nach [11] waren 1966 noch Sprengarbeiten an Pfeilerresten in der Lahn notwendig. In einem Artikel der Nassauischen Landeszeitung vom 23.07.1966 heißt es dazu: „Beim Bau der ersten Brücke, so stellten Fachleute fest, hat man ganz offensichtlich eine für ewige Zeit vorgesehene Betonmischung in den Pfeilergründungen versenkt.“

Die der früheren Lahntalbrücke sehr ähnliche Theißtalbrücke der BAB 3 bei Niedernhausen existiert noch heute, wurde in den 1970er Jahren um ein Parallelbauwerk ergänzt und steht heute unter Denkmalschutz [10].

#### DIE PROBENAHE AM 15.06.2016

Das südliche Widerlager der Reichsautobahnbrücke befand sich innerhalb des Widerlagers des Ersatzbaus aus den 1960er Jahren (Bild 7). In Bild 9 ist am neueren Beton (im Bild links und oben) erkennbar, dass diese Brücke breiter und auch etwas höher war als die alte Brücke. In der Mitte des Widerlagers war die vertikale Trennfuge des in zwei Abschnitten errichteten



Bild 11: 20-cm-Bohrkern

Bild 12: 2 cm dicke  
Scheibe aus dem  
10-cm-Bohrkern Nr. 2

Bauwerks der Reichsautobahnbrücke deutlich erkennbar. Aus der östlichen Hälfte wurden vier Bohrkern mit 10 cm Durchmesser und ein Bohrkern mit 20 cm Durchmesser entnommen. Eine Probenahme an den zur Verkleidung und als Schalung verwendeten, rund 45 cm dicken, 20–40 cm hohen und 80–110 cm langen Natursteinen (Bild 8) musste, auch aus Arbeitsschutzgründen, leider unterbleiben.

#### BETONTECHNISCHE UNTERSUCHUNGEN

Die bekannte Blaufärbung hütten-sandhaltigen Betons war bei den Bohrkernen ab einer Tiefe von einigen Zentimetern noch sehr ausgeprägt, was auf ein sehr dichtes Gefüge hinweist. Nur an Stellen,

an denen aufgrund von Rissen oder Kiesnestern Luftzutritt erfolgt war, war die Blaufärbung verschwunden (Bild 11).

Bereits aus dem hohen Bohrwiderstand war auf eine hohe Betonfestigkeit zu schließen gewesen. Am 10-cm-Bohrkern Nr. 2 wurde an dem Abschnitt der oberen 100 mm eine Druckfestigkeit von 51,9 N/mm<sup>2</sup> ermittelt. Der darunter liegende Abschnitt aus 100–200 mm Tiefe wies eine Druckfestigkeit von beachtlichen 86,1 N/mm<sup>2</sup> auf. Legt man die Mindestfestigkeit nach 28 Tagen in Höhe von 110–140 kg/cm<sup>2</sup> (11–14 N/mm<sup>2</sup>) zugrunde, die in dem zitierten Merkblatt [9] genannt wird, so wird die sehr große Nacherhärtung des Betons offensichtlich.

Aus dem Bohrkern Nr. 2 wurde auch eine 2 cm dicke Scheibe aus der Tiefe 200–220 mm präpariert (Bild 12). Am Bindemittelstein dieser Probe, die ebenfalls noch überwiegend die oben beschriebene Blaufärbung aufwies, wurde die Porengrößenverteilung mittels Hg-Druckporosimetrie, getrennt nach blauem und entfärbtem Betonbereich, bestimmt. Bild 13 zeigt die zugehörigen Porengrößenverteilungen. Im entfärbten, also bereits aufgrund der oben genannten Ursachen mutmaßlich poröseren Betonbereich, wurde mit 32 Vol.-% eine höhere Gesamtporosität ermittelt als im noch blauen Bereich (20 Vol.-%). Gleichzeitig war das Verhältnis von Gel- zu Kapillarporen nahezu konstant (14 zu

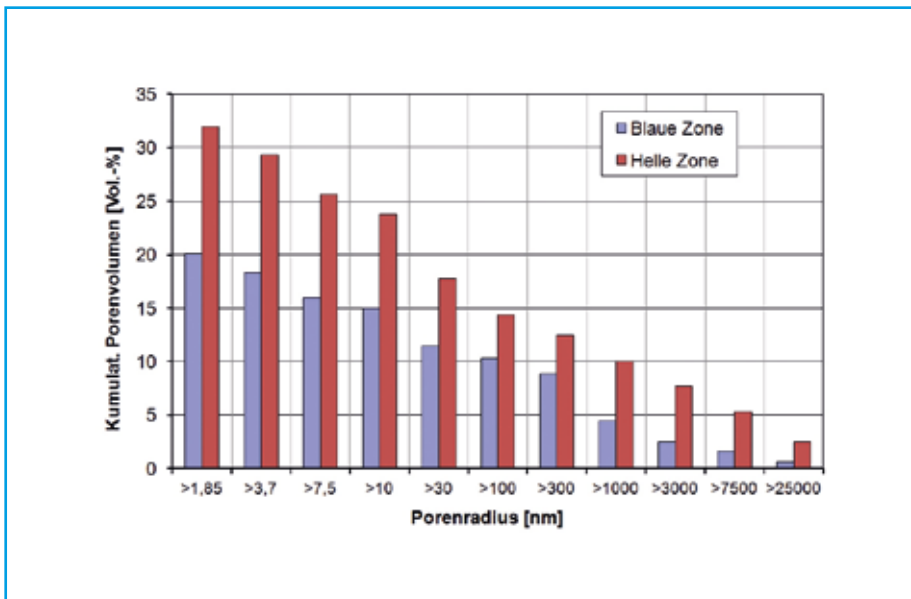


Bild 13: Porengrößenverteilungen des Bindemittelsteins

18 Vol.-% bzw. 9 zu 11 Vol.-%). Die Werte decken sich recht gut mit alten Messwerten, die nach 20 Jahren für den Kernbereich eines HOZ-Betons mit HOZ 35 L mit 65 M.-% Hüttensand, einem Zementgehalt von  $360 \text{ kg/m}^3$  und einem w/z-Wert von 0,50 ermittelt worden waren (9 Vol.-% Gelporen, 14 Vol.-% Kapillarporen) [14]. Ein seinerzeit parallel untersuchter Beton mit PZ 35 F hatte einen Gelporenanteil von 7 Vol.-% und einen Kapillarporenanteil von 22 Vol.-% aufgewiesen.

Hohe Nacherhärtung und dichtes Betongefüge sind typisch für hüttensandhaltige Betone und lassen sich auch an dieser rd. 80 Jahre alten Probe nachweisen, bei der Hüttensandmehl als Betonzusatzstoff verwendet wurde.

Röntgenbeugungsaufnahmen an Bruchstücken der Natursteinverkleidung wiesen ausschließlich verschiedene Feldspäte nach. Für die baugleiche Theißalbrücke wird Melaphyr aus der Pfalz als Ver-

blendungsgestein genannt. Für die Gesteinskörnung im Beton ergab die Röntgenbeugungsanalyse ein quarzitisches Kies-Sand-Gemisch.

#### AUSBLICK

Bald werden die Brücke von 1965 und damit die letzten Reste der Reichsautobahnbrücke von 1939 verschwunden sein. Jedoch wurden auch die schlanken Pfeiler und der Oberbau der neuen, ebenfalls rund 60 m hohen Brücke mit Hüttensand in Form von Hochofenzement- bzw. Portlandhüttenzementbeton errichtet (Bild 10). Daher kann man davon ausgehen, dass sich auch diese Brücke über viele Jahrzehnte als dauerhaft erweisen wird.

An dieser Stelle sei dem Ingenieurbüro Bechert + Partner für die Informationen, der Deutschen Einheit Fernstraßenplanungs- und -bau GmbH (DEGES) für die Freigabe und dem mit den Abrissarbeiten beauftragten Unternehmen Hörnig für die Unterstützung bei der Probenahme gedankt! <<<

#### LITERATUR

- [1] BMVI: Bundesverkehrswegeplan 2030. Berlin, 2016
- [2] Nusch, A., Franz, S.: Der Ersatzneubau der Lahntalbrücke Limburg. 26. Dresdener Brückenbausymposium, 14.-15.03.2016
- [3] Ehrenberg, A.: Hüttensandmehl als Betonzusatzstoff – Aktueller Stand in Deutschland und Europa. Beton-Informationen 60 (2010) 3/4, S. 48-63
- [4] Wucher, W.: Vier Jahre Arbeit an den Straßen Adolf Hitlers. Berlin, 1937
- [5] Bonatz, P.: Leben und Bauen. Stuttgart, 1950
- [6] May, R.: Pontifex Maximus – Der Architekt Paul Bonatz und die Brücken. Münster, 2011
- [7] Hessisches Landesamt für geschichtliche Landeskunde: Bau der Autobahnbrücke bei Limburg 1937-1939
- [8] Zementfabrik Thuringia: Thurament. 3. Auflage, Unterwellenborn, 1938
- [9] Oberste Bauleitung der Reichsautobahnen Linz (Donau): Merkblatt für die Verwendung von Thurament. 25.10.1938
- [10] Landesamt für Denkmalpflege Hessen: <http://denkweb.denkmalpflege-hessen.de/14033/>, 02.05.2016
- [11] Nieder, F.-K.: Autobahnbrücken in Limburg. <http://franz-karl-nieder.de/index.php/geschichte/limburg/65-auto-bahnbruecken-in-limburg>, 08.05.2017
- [12] Harz, H.: Das Erlebnis der Reichsautobahn. München, 1943
- [13] SLUB Dresden / Deutsche Fotothek / Wolf Strache, vor 1960
- [14] FEhS-Institut (Hrsg.): Abschlussbericht zum AiF-Forschungsvorhaben Nr. 8361 „Untersuchung oberflächennaher Bereiche von Betonen nach 20-jähriger Auslagerung“. Duisburg, 1993

# VON DER SPURENANALYSE ZUR ULTRASPURENANALYSE – EIN GROSSER SCHRITT

Dr. rer. nat. D. Lohmann



*ICP-Massenspektrometer iCAP RQ*

Mit der Installation des neuen ICP-Massenspektrometers iCAP RQ von ThermoFisher Scientific (Bild oben) in den chemischen Laboratorien ist dem FEhS-Institut ein großer Schritt in Richtung schneller Ultraspurenanalyse gelungen. Vor dem Hintergrund von immer niedriger angesetzten und von verschiedenen Richtlinien und Institutionen geforderten Bestimmungsgrenzen in der Schwermetallanalytik reichte die bisherige Spurenanalytik mittels der seit 15 Jahren eingesetzten ICP-OES-Analysentechnik in einigen Fällen nicht mehr aus. Die geforderten Bestimmungsgrenzen konnten mit dieser Messtechnik nicht mehr erreicht werden. Zudem mussten Elemente, wie z. B. Antimon, Selen oder Thallium, mit der aufgrund von Einzelementmessungen zeitlich deutlich aufwendigeren AAS-Grafitrohrtechnik gemessen werden. Diese beiden Probleme können jetzt mit

dem neu installierten ICP-MS einfach bewältigt werden.

Zum einen werden mit dieser neuen Messtechnik Bestimmungsgrenzen mit einem Faktor von bis zu 50 niedriger erreicht und zum anderen können die bisher mit der AAS zu messenden Elemente in einem Durchgang mit dem ICP-MS analysiert werden. Die dadurch erreichte Zeitersparnis ist enorm. Ein angeschlossenes intelligentes Autosamplersystem ermöglicht dazu einen sehr hohen, automatisierten Probendurchsatz.

Darüber hinaus bietet diese neue Technik, neben der normalen Elementanalytik, die Möglichkeit der quantitativen Erfassung von Isotopenverhältnissen, ein in vielen Fällen ideales Hilfsmittel für die Zuordnung von Analysenproben zu deren Herkunftsquellen. <<<

# **BINDEMittelBEHANDLUNG FEINKÖRNIGER STAHLWERKSSCHLACKEN ZUR REDUZIERUNG DER AUSLAUGUNG UMWELTRELEVANTER BESTANDTEILE**

Dipl.-Geogr. M. Leson, Dr.-Ing. R. Bialucha

## **EINLEITUNG UND ZIELSETZUNG**

Bei der Stahlerzeugung entstehen in Deutschland jährlich rund 5 Mio. t Stahlwerksschlacken (SWS) [1]. Davon wird ein Großteil zu Stückschlacken verarbeitet, die heute überwiegend im Bauwesen, z. B. für den Straßen-, Wege-, Erd- und Wasserbau, Anwendung finden. Ein weiterer Teil von ca. 1 Mio. t Stahlwerksschlacken liegt, bedingt durch Zerfallsmechanismen während des Abkühlungsprozesses oder durch Hydratationsreaktionen bei der Zwischenlagerung, in feinkörniger Form vor. Es existieren zwar Methoden, den Zerfall von Stahlwerksschlacken zu verhindern, z. B. durch Behandlung im flüssigen Zustand [2, 3]. Diese Maßnahmen erfordern aber hohe Investitionskosten, so dass sie nur in Ausnahmefällen zur Anwendung kommen. Feinkörnige Schlacken entstehen beispielsweise bei der Nachbehandlung des Rohstahls (SEKS) oder bei der Erzeugung von Edelstählen (EDS).

Um den Einsatz von feinkörnigen Schlacken im Bauwesen, vorzugsweise im Straßen-, Wege- und Erdbau in Betracht ziehen zu können, muss nachgewiesen werden, dass neben der technischen Eignung vor allem das Umweltverhalten nach Einbau und Verdichtung den anerkannten Regeln der Technik und Umwelt entspricht. Feinkörnige Schlacken können, bedingt durch die große Kornoberfläche, höhere Konzentrationen an umweltrelevanten Schwermetallen und Salzen auslaugen.

Ziel eines nun abgeschlossenen AiF-Forschungsvorhabens [4] war es, feinkörnige Baustoffe, die umweltrelevante Inhaltsstoffe aufweisen, so mit Bindemitteln zu behandeln, dass diese Inhaltsstoffe nachhaltig eingebunden werden. Damit sollte erreicht werden, dass die behandelten Baustoffe ohne weitere Sicherheitsmaßnahmen im Straßen-, Wege- und Erdbau eingesetzt werden können. Sofern diese Einsatzmöglichkeit nicht gegeben ist, beispielsweise

weil der Markt nicht genügend große Mengen solcher Materialien aufnehmen kann, wurde angestrebt, die Baustoffe mit Bindemitteln im Sinne der Deponieverordnung „vollständig zu stabilisieren“, so dass sie als Deponieersatzbaustoff verwendbar sind.

## **UNTERSUCHUNGSPROGRAMM**

Für die Untersuchungen wurden drei Schlacken aus der Erzeugung sonderlegierter Stahlqualitäten ausgewählt. Alle drei Schlacken wiesen eine Körnung von 0/10 mm auf. Im Fokus stand die Auslaugung der Parameter Chrom, Fluorid und Molybdän. Der Materialauswahl kam eine besondere Bedeutung zu, da für eine sinnvolle Untersuchung nur Schlacken mit hohen, gut messbaren Konzentrationen in den Eluaten in Frage kamen, um eine Verbesserung der Auslaugbarkeit zu erreichen. Insofern sind die hohen Konzentrationen der in diesem Forschungsprojekt untersuchten Schlacken nicht als typisch für die jeweiligen Schlackentypen zu betrachten. Als Regelwerke zur Bewertung der Schlacken im Originalzustand sowie nach der Bindemittelbehandlung wurden herangezogen: TL BuB E-StB [5], Deponieverordnung – DepV [6], EBV-Entwurf [7]. Um diese Bewertungen durchführen zu können, kamen unterschiedliche Auslaugverfahren zum Einsatz. Neben den Schüttelversuchen mit einem L/S-Verhältnis von 10:1 (DIN EN 12457-4 [8]) bzw. 2:1 (DIN 19529 [9]) waren dies das Trogverfahren (TP Gestein-StB 7.1.2 [10]) sowie ein pH-stat-Verfahren (LAGA EW 98p [11]). Anhand einer Basischarakterisierung, bestehend aus Feststoffanalysen, Auslaugversuchen und technischen Untersuchungen, wurden die grundlegenden Eigenschaften der Proben aufgezeigt.

Als Bindemittel wurden neben dem Referenzmaterial Portlandzement (CEM I) alternative Bindemittel aus gemahlenem Hüttensand (HSM) sowie Gemische aus HSM mit Braunkohlenflugasche (BFA) bzw. REA-Gips (REA) ausgewählt. Die Bindemittel wurden





Bild 1: Untersuchte Körnungen/Probekörper am Beispiel der Probe B. Links: Originalkörnung 0/10 mm; Mitte: intakter Probekörper (Probe B + HSM); rechts: behandelte und anschließend gebrochene Probe in der Körnung 0/10 mm

grundlegend untersucht, um auszuschließen, dass sie umweltrelevante Parameter auslaugen, die einen Einfluss auf die Bewertung bzw. Einstufung der behandelten Schlacken haben könnten. Dazu wurden u. a. aus den Bindemitteln Prismen hergestellt, 28 Tage feucht gelagert und in Trogversuchen sowohl als intakte Probekörper als auch im gebrochenen Zustand ausgelaugt. Die Konzentrationen der umweltrelevanten Parameter waren dabei sehr niedrig, so dass durch die Bindemittel kein negativer Einfluss auf die Bewertung der behandelten Schlacken zu befürchten war.

Zur Ermittlung der optimalen Bindemittelmenge wurden den Schlacken alle vier Bindemittel in drei verschiedenen Mengen (3, 10, 15 %) zugegeben. Mit diesen Mischungen wurden Probekörper hergestellt, 28 Tage feucht gelagert und anschließend deren Druckfestigkeit geprüft. Die Druckfestigkeit sollte mindestens einen Wert von 6 N/mm<sup>2</sup> aufweisen, um den Anforderungen gemäß TP BF-StB [12] zu entsprechen. Gleichzeitig sollte der Bindemittelseinsatz so gering wie möglich gehalten werden. Auf Basis dieser Vorversuche wurde eine Bindemittelmenge von 9 % ausgewählt und für alle Schlacke-Binde-

mittel-Mischungen verwendet, um eine möglichst gute Vergleichbarkeit der Versuchsergebnisse zu ermöglichen. Aus diesen Mischungen wurden für die folgenden Untersuchungen Probekörper hergestellt und 28 Tage feucht gelagert.

Um eine langfristige Einbindung der umweltrelevanten Inhaltsstoffe durch die Bindemittelbehandlung untersuchen zu können, wurden die feucht gelagerten Proben mit den oben genannten Auslaugverfahren ausgelaugt und mit den Grenzwerten bzw. Zuordnungswerten der TL BuB E-StB, des EBV-Entwurfs (hilfsweise für die Materialgruppen EDS bzw. SEKS) und DepV verglichen. Neben der Prüfung der intakten Probekörper im Trogverfahren wurden die Proben für alle Verfahren auf eine Körnung von 0/10 mm gebrochen. Bei dem Aufbereiten der verfestigten Probekörper wurde eine Prüfkörnung erzeugt, die deutlich gröber war als diejenige der Originalprobe (vgl. Bild 1). Zusätzlich wurden die Mischungen aus Schlacke und Bindemittel vor und nach der feuchten Lagerung in Triaxialzellen auf ihre Durchlässigkeit getestet.

**ERGEBNISSE UND DISKUSSION  
DER AUSLAUGVERSUCHE**

**Eignungsuntersuchung**

In Tabelle 1 sind die aus Doppelversuchen berechneten mittleren Konzentrationen ausgewählter Parameter für die beiden Schüttelverfahren sowie für das Trogverfahren aufgelistet, die mit den ungebundenen Originalmaterialien durchgeführt wurden. Waren in den Doppelversuchen die pH-Werte unterschiedlich, so sind hier beide Werte angegeben. Die drei Versuchsschlacken weisen durchweg sehr basische pH-Werte von über 12 auf, wobei die höchsten Werte bei der Probe B gemessen wurden. Die Probe B laugt darüber hinaus bei allen drei Verfahren die höchsten Konzentrationen an Chrom und Molybdän aus. Eine weitere Besonderheit der Probe B ist, dass sich in den Eluaten der drei verschiedenen Verfahren gemessenen Konzentrationen nicht sehr stark voneinander unterscheiden. Dies ist ungewöhnlich, da verfahrensbedingt bei den Eluaten des Trogverfahrens im Allgemeinen mit niedrigeren Konzentrationen zu rechnen ist, da die mechanische Beanspruchung fehlt, der die Proben bei den Schüttelverfahren unterliegen. Die Probe A zeigt genau dieses Verhalten. Bei der Probe C weicht vor allem die Chromkonzentration von dieser Systematik ab, da sie im Trogeluat am höchsten ist. Die Ergebnisse zeigen, dass bei allen Schlacken mindestens ein Parameter in ausreichend hoher Konzentration ausgelaugt wird, so dass eine Verbesserung der Zuordnung bezüglich TL BuB E-StB, EBV-Entwurf oder DepV durch die Behandlung mit einem Bindemittel angestrebt werden kann.

**Auslaugung im Trogverfahren**

Die Messung der Durchlässigkeitsbeiwerte zeigte, dass die mit Bindemitteln behandelten Schlacken schwach bis sehr schwach durchlässig sind, so dass Bauwerke aus solchen Gemischen von Sickerwasser eher umflossen als durchströmt würden. In Trogversuchen mit intakten Probekörpern wurde dieser Sachverhalt genauer untersucht. In Bild 2 sind beispielhaft für die Probe A die Konzentrationen ausgewählter Parameter vergleichend für die Elution im Originalzustand (unverfestigt) sowie mit den gebrochenen (A) bzw. den intakten (B) Probekörpern der mit Bindemitteln behandelten Schla-

cke im Trogverfahren dargestellt. Wie zu erwarten war, treten aufgrund der veränderten zur Verfügung stehenden auslaugbaren Oberfläche deutliche Unterschiede bei der Auslaugung der intakten Probekörper auf. Während bei den Parametern Chrom, Molybdän und Fluorid deutliche Konzentrationsabnahmen nach der Bindemittelbehandlung zu messen sind, nehmen die pH-Werte in der Regel nur leicht ab. Berechnungen gemäß FGSV-Merkblatt [13] ergaben, dass für die in den TL BuB E-StB geregelten umweltrelevanten Parameter die maximal zulässigen Werte von den intakten Probekörpern deutlich unterschritten

	Probe A	Probe B	Probe C
<b>Schüttelverfahren L/S = 10:1, (DIN EN 12457-4)</b>			
pH	12,3	12,6/12,7	12,2
el. Leitfähigkeit $\mu\text{S/cm}$	7475	8555	2215
Chrom $\text{mg/l}$	0,28	0,41	0,093
Molybdän $\text{mg/l}$	0,53	1,5	0,38
Fluorid $\text{mg/l}$	5,8	3,6	25
<b>Schüttelverfahren L/S = 2:1, (DIN 19529)</b>			
pH	12,3	12,7	12,6
el. Leitfähigkeit $\mu\text{S/cm}$	7625	8905	6640
Chrom $\text{mg/l}$	0,43	0,57	0,10
Molybdän $\text{mg/l}$	0,97	2,2	0,32
Fluorid $\text{mg/l}$	6,3	4,0	9,0
<b>Trogverfahren L/S = 10:1, (TP Gestein-StB 7.1.2)</b>			
pH	12,0/12,1	12,6	12,0
el. Leitfähigkeit $\mu\text{S/cm}$	3075	7465	1417
Chrom $\text{mg/l}$	0,15	0,44	0,26
Molybdän $\text{mg/l}$	0,24	1,3	0,41
Fluorid $\text{mg/l}$	2,4	3,2	2,9

Tabelle 1: Mittelwerte der Eluatkonzentrationen ausgewählter Parameter für die Auslaugversuche gem. DIN EN 12457-4, DIN 19529 bzw. TP Gestein-StB 7.1.2 an den Originalschlacken

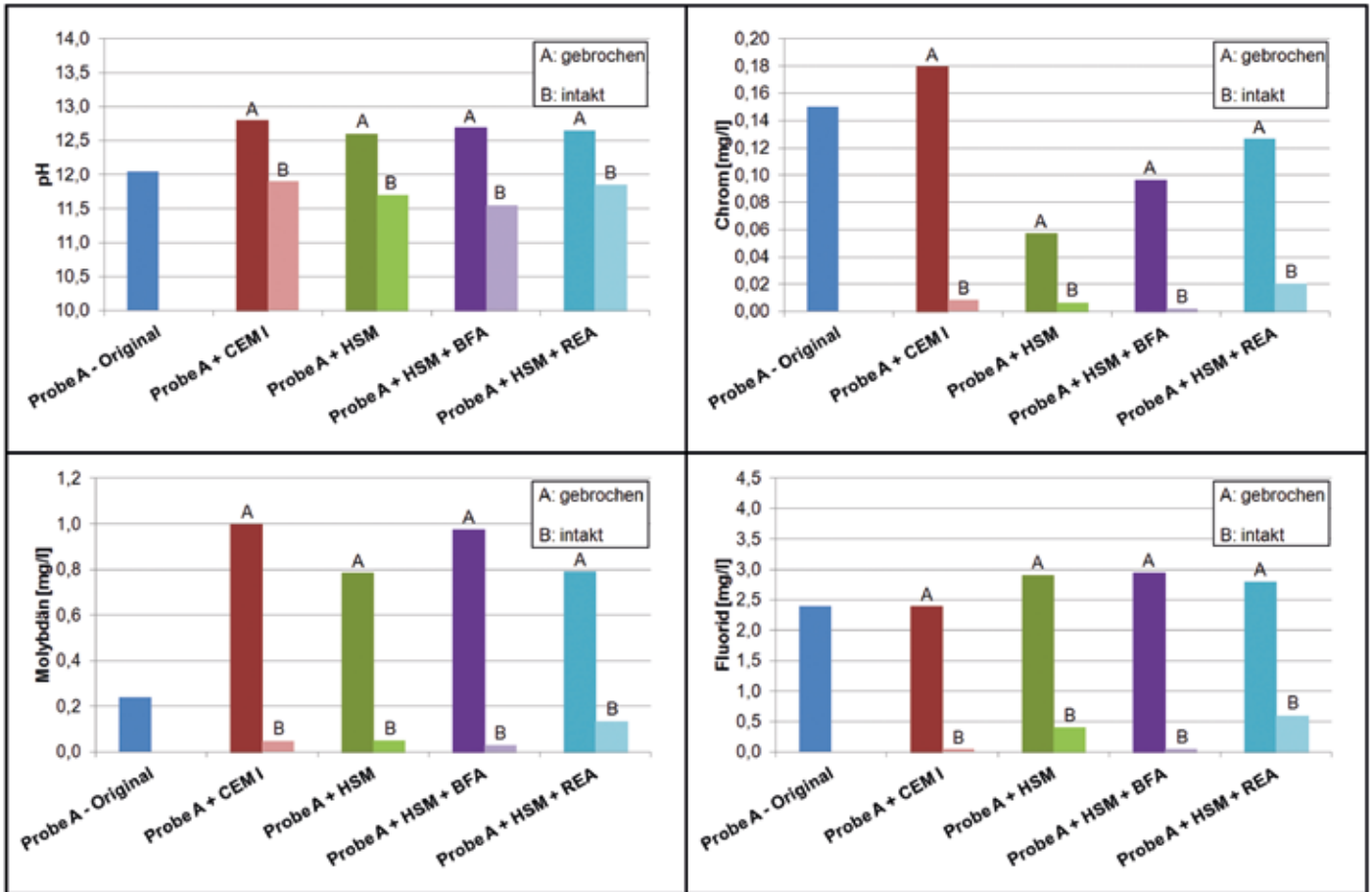


Bild 2: Trogversuche mit dem Original der Probe A sowie mit den gebrochenen bzw. intakten Probekörpern mit einem Bindemittelgehalt von 9 %

werden. Die Trogversuche mit den intakten Probekörpern der behandelten Probe B oder Probe C zeigten vergleichbare Ergebnisse.

Bei den Trogversuchen mit den gebrochenen Probekörpern kann bei dem Parameter Chrom eine Verringerung der Konzentrationen bei den Mischungen aus Probe A und einem alternativen Bindemittel, basierend auf HSM, beobachtet werden. Mit dem Referenzbindemittel CEM I steigt dagegen die Konzentration an. Bei den weiteren Parametern steigen die Werte an oder bleiben auf dem Niveau der Originalprobe A.

Bei den Mischungen mit Probe B bzw. Probe C sind ebenfalls Kon-

zentrationenverringern bei Chrom, aber auch bei den anderen Parametern möglich. Ein Bindemittel, welches umweltrelevante Parameter bei allen Schlackentypen gleich gut einbindet, konnte nicht ermittelt werden.

### Auslaugung umweltrelevanter Bestandteile aus verfestigten und wieder gebrochenen Probekörpern

In den Tabellen 2 bis 4 werden die Veränderungen der Parameter pH-Wert, Chrom, Molybdän und Fluorid in den Schüttelversuchen 10:1 übersichtlich dargestellt. Dabei werden die Ergebnisse der Auslaugversuche mit den behandelten und anschließend auf eine Körnung von 0/10 mm gebroche-

nen Proben mit den Werten der Originalproben ohne Bindemittel verglichen. Ein roter Pfeil nach oben bedeutet, dass ein eindeutiger Anstieg der Werte nach der Behandlung im Vergleich zum Original beobachtet werden kann. Ein grüner Pfeil nach unten bedeutet einen eindeutig niedrigeren Wert, und ein waagerechter blauer Pfeil heißt, dass es keinen eindeutigen Unterschied gibt.

Die Auswertung zeigt, dass keins der in diesem Projekt verwendeten Bindemittel bei jeder Schlacke und bei jedem Auslaugverfahren die Konzentrationen aller betrachteten umweltrelevanten Bestandteile vermindert. Der pH-Wert wird entweder leicht erhöht oder

er bleibt auf dem Niveau der Originalschlacke. Eine Veränderung von mehr als einer pH-Wert-Einheit kann aber nicht beobachtet werden.

Die Übersichten geben für die hier im Fokus stehenden Parameter Chrom, Molybdän und Fluorid einen ersten Hinweis, dass Verminderungen der Konzentrationen durch die Bindemittelbehandlung vor allem bei den Parametern Chrom oder Fluorid zu erwarten sind. Allerdings ist eine sichere Voraussage für die verschiedenen Schlacken nicht möglich. Es muss für jede Schlacke getestet werden, ob eine Einbindung möglich ist. Oftmals ist allerdings auch ein Anstieg der Konzentration zu beobachten, obwohl die zur Verfügung stehende Kornoberfläche bei den gelagerten und anschließend gebrochenen Proben geringer ist als bei dem Originalmaterial.

Die Versuche mit dem Schüttelverfahren 2:1 zeigen bei den Mischungen aus Probe A und einem Bindemittel, dass die grundlegenden Tendenzen die gleichen sind, während es bei den Mischungen aus Probe B bzw. Probe C geringfügige Unterschiede gibt.

Die Bewertung der Bindemittelbehandlung bezüglich der Einstufung gemäß TL BuB EStB ist in Tabelle 5 beispielhaft für die Probe A im Originalzustand und nach der Behandlung mit einem Bindemittel, feuchter Lagerung und anschließender Zerkleinerung aufgelistet. Bei der unbehandelten Schlacke lagen die Werte für Fluorid und Chrom über den Anforderungen für EDS 2. Nach der Behandlung ist mit jedem der untersuchten Bindemittel eine Einstufung in

EDS 1 bzw. EDS 2 möglich. Die besten Ergebnisse wurden mit den alternativen Bindemitteln HSM oder HSM + BFA und nicht mit dem Referenzbindemittel CEM I erzielt, so dass eine Einstufung als EDS 1 möglich wäre. Bei den anderen beiden Bindemitteln wäre aufgrund einer nicht ausreichenden Reduzierung der Chromkonzentration nur eine Einstufung als EDS 2 möglich. Mit den anderen beiden hier untersuchten feinkörnigen Schlacken konnten zum Teil ebenfalls Verbesserungen bei der Einstufung erzielt werden, allerdings war dies nicht mit allen Bin-

demitteln möglich. Ein Bindemittel, welches bei allen Schlacken gleich gut funktioniert, konnte nicht ermittelt werden.

Für die Bewertung der Bindemittel anhand des EBV-Entwurfs von 2016 müssen zusätzlich noch die Parameter Sulfat und Molybdän berücksichtigt werden, und die Einstufung bezieht sich auf die Auslaugversuche mit dem Schüttelverfahren 2:1. Für dieses Forschungsprojekt wurden bewusst Schlacken ausgewählt, die sehr hohe Konzentrationen umweltrelevanter Parameter auslaugen.

Bindemittel	Probe A			
	CEM I	HSM	HSM + BFA	HSM + REA
pH	↑	↑	↑	↑
Chrom	↓	↓	↓	↓
Molybdän	↑	↑	↑	↑
Fluorid	↓	↓	↓	↓

Tabelle 2: Veränderungen in den Eluaten der behandelten und gebrochenen Probekörper im Vergleich zum Original der Probe A in Schüttelversuchen 10:1

Bindemittel	Probe B			
	CEM I	HSM	HSM + BFA	HSM + REA
pH	↔	↔	↔	↔
Chrom	↓	↓	↓	↓
Molybdän	↔	↔	↔	↔
Fluorid	↔	↓	↔	↔

Tabelle 3: Veränderungen in den Eluaten der behandelten und gebrochenen Probekörper im Vergleich zum Original der Probe B in Schüttelversuchen 10:1

Bindemittel	Probe C			
	CEM I	HSM	HSM + BFA	HSM + REA
pH	↑	↔	↑	↔
Chrom	↑	↑	↑	↑
Molybdän	↔	↑	↑	↑
Fluorid	↓	↓	↓	↓

Tabelle 4: Veränderungen in den Eluaten der behandelten und gebrochenen Probekörper im Vergleich zum Original der Probe C in Schüttelversuchen 10:1

Alle drei Originalschlacken könnten daher nicht als Bauprodukt eingesetzt werden, da sie nicht alle Werte für EDS-3 einhalten würden. In Tabelle 6 sind die Werte aus den Schüttelversuchen 2:1 sowie die Einstufung gem. EBV-Entwurf beispielhaft für die behandelte Probe A aufgelistet. Bei der Probe A kann mit den Bindemitteln CEM I, HSM und HSM + BFA eine Einstufung in die Klasse EDS-3 erzielt werden, da die Auslaugung sowohl von Fluorid als auch von Chrom verringert wurde. Eine Verringerung der Molybdänkonzentration war dabei nicht möglich. Auch bezüglich der Einstufung gem. EBV-Entwurf ist für jede Schlacke ein passendes Bindemittel zu finden, da diese nicht in jeder Mischung gleich wirken.

Ist ein Einsatz als Baustoff im Straßenbau nicht möglich, so kann alternativ eine Verwendung als Deponieersatzbaustoff in Betracht gezogen werden. Im Fall der DepV ist eine vollständige Stabilisierung der umweltrelevanten Parameter nötig, so dass diese unter Worst-Case-Bedingungen (bei Säurezutritt) nicht wieder gelöst werden. Diese Bedingungen sollen gem. DepV mit dem pH-stat-Verfahren bei konstanten pH-Werten von 4 bzw. 11 untersucht werden. Im vorliegenden Fall wurde auf eine Einstellung des pH-Werts auf 11 verzichtet und stattdessen ein Versuch mit dem natürlichen basischen pH-Wert der Baustoffe durchgeführt. In Tabelle 7 sind wieder beispielhaft für die Probe A die Ergebnisse der drei umweltrelevanten Parameter Chrom, Fluorid und Molybdän und die jeweiligen Zuordnungswerte der DepV dargestellt. Vor allem bei dem Parameter Fluorid ist durch

die Säurezugabe eine starke Mobilisierung zu beobachten, und zwar sowohl bei der Originalprobe als auch bei den behandelten Mischungen. Die hohen, bei pH 4 gemessenen Fluoridkonzentrationen würden zu einer Einstufung in die DK III führen. Auch bei den anderen behandelten Schlacken (Probe B, Probe C) wurde festgestellt, dass der Parameter Fluorid durch die Säurezugabe gut gelöst wird und eine vollständige Stabilisierung gem. DepV mit den hier untersuchten Bindemitteln nicht erreicht werden kann.

Bei der Probe A liegt die Chromkonzentration ohne pH-Einstellung genau auf der Grenze zwischen

DK I und DK II. Nach der Säurezugabe sinkt die Chromkonzentration bei der Originalschlacke leicht. Nach der Behandlung mit einem Bindemittel verringern sich im Vergleich zur Originalprobe A die Konzentrationen in den nicht angesäuerten Lösungen. Und auch nach der Säurezugabe sind die Konzentrationen so niedrig, dass diese die Zuordnungswerte von DK I noch klar einhalten würden. Auch bei den anderen beiden Schlacken wurden oftmals die Chromkonzentrationen durch die Behandlung mit einem Bindemittel verringert, so dass Verbesserungen der Einstufungen möglich waren. Allerdings wurde dies nicht mit jedem Bindemittel erreicht.

	Probe A					Grenzwerte nach TL BuB E-StB	
	Original	+ CEM I	+ HSM	+ HSM + BFA	+ HSM + REA	EDS 1	EDS 2
pH	12,3	12,8	12,7	12,8	12,6	11-13	11-13
Lf $\mu\text{S/cm}$	7475	7270	5085	6230	4800	10000	10000
F mg/l	6	3	4	4	4	5	5
Cr $\mu\text{g/l}$	283	160	52	70	126	100	200

Tabelle 5: Mittlere Eluatkonzentrationen in Schüttelversuchen (10:1) und Einstufung gem. TL BuB E-StB für die Probe A im Originalzustand sowie nach der Bindemittelbehandlung

	Probe A					Grenzwerte gem. EBV		
	Original	+ CEM I	+ HSM	+ HSM + BFA	+ HSM + REA	EDS-1	EDS-2	EDS-3
pH	12,3	12,9-13,0	12,8-12,9	12,8-12,9	12,7-12,8	11-13	11-13	11-13
Lf $\mu\text{S/cm}$	7625	8745	7745	8545	7605	10000	10000	10000
F mg/l	6,3	3,5	4,4	4,6	4,2	1,1	4,7	8,7
SO <sub>4</sub> mg/l	3,5	1,1	<1,0	<1,0	101	810	1000	1200
Cr $\mu\text{g/l}$	427	151	58	89	287	110	110	250
Mo $\mu\text{g/l}$	970	1270	1365	1395	1765	55	220	2000

Tabelle 6: Mittlere Eluatkonzentrationen in Schüttelversuchen (2:1) und Einstufung gem. EBV-Entwurf für die Probe A im Originalzustand sowie nach der Bindemittelbehandlung

	Probe A										Zuordnungswerte nach DepV			
	Original		+ CEM I		+ HSM		+ HSM+BFA		+ HSM+REA		DK 0	DK I	DK II	DK III
Ziel-pH-Wert	4	nat.	4	nat.	4	nat.	4	nat.	4	nat.				
pH-Wert*	4,6-4,8	12,3	4,7-4,8	12,8	4,4	12,6	4,4-4,9	12,6	4,2-4,5	12,6				
F mg/l	22	5,6	25	2,3	33	2,8	26	3,4	24	3,9	≤ 1	≤ 5	≤ 15	≤ 50
Cr <sub>ges.</sub> mg/l	0,20	0,30	0,20	0,18	0,24	0,058	0,10	0,09	0,26	0,12	≤ 0,05	≤ 0,3	≤ 1	≤ 7
Mo mg/l	0,36	0,49	0,20	0,98	0,45	0,79	0,25	0,90	0,34	0,85	≤ 0,05	≤ 0,3	≤ 1	≤ 3

Tabelle 7: Veränderungen in den Eluaten der behandelten und gebrochenen Probekörper im Vergleich zum Original der Probe A in pH-stat-Versuchen und die dazugehörige Einstufung gem. DepV – Mittelwerte aus Doppelversuchen

\*Gemessen im filtrierten Eluat

Bei dem Parameter Molybdän liegen die Konzentrationen in den pH-4-Eluaten teilweise deutlich niedriger als in den basischen Eluaten ohne pH-Einstellung. Das würde bei der Probe A für die Mischung mit dem Referenzbindemittel CEM I bzw. mit dem alternativen Bindemittel HSM + BFA zu einer Verbesserung von DK II auf DK I führen, wenn alleine dieser Parameter betrachtet würde. Bei den Mischungen mit den anderen beiden Schlacken können zum Teil ebenfalls Verbesserungen beobachtet werden, allerdings sind auch Varianten mit gleichbleibenden oder schlechteren Werten zu messen.

## FAZIT

Die Gesamtheit der Auslaugversuche mit Schlacke-Bindemittel-Gemischen zeigt, dass eine Einbindung bestimmter umweltrelevanter Parameter mit einem alternativen Bindemittel möglich ist und zum Teil vergleichbare oder bessere Ergebnisse liefert als das Referenzmaterial CEM I. Die hier untersuchten Schlacken weisen im Originalzustand hohe Auslaugraten bei mehreren Parametern gleichzeitig auf, was bei vielen Baustoffen nicht der Fall ist. Eine Einbindung eines einzelnen Parameters wie Chrom erscheint daher erfolgversprechend. Allerdings muss für jeden Baustoff zunächst das passende alternative Bindemittel ausgewählt werden.

## DANKSAGUNG

Das IGF-Vorhaben Nr. 18236 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 Energie (BMWi) aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages gefördert. <<<

## LITERATUR

- [1] Merkel, Th.: Produktion und Nutzung von Eisenhüttenschlacken im Jahr 2015. Report des FEhS – Instituts für Baustoff-Forschung e.V., 23 (2016) Nr. 1, S. 22
- [2] Steffes, B.: Absenkung der Freikalkgehalte von LD-Schlacken durch Nachbehandlung im flüssigen Zustand. Dr.-Ing.-Dissertation, TU Clausthal (1984)
- [3] Kühn, M.; Schrey, H.: Untersuchungen zur Erzeugung raumbeständiger Mineralstoffe aus Stahlwerksschlacken. EG-Forschungsvorhaben Nr. 7210-CB/112/113, Abschlussbericht (1998)
- [4] Bialucha, R.; Leson, M.: Behandlung von Baustoffen mit Bindemitteln zur Reduzierung der Auslaugung umweltrelevanter Bestandteile, Schlussbericht zum AiF-Forschungsvorhaben Nr. 18236 N (2017)
- [5] Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (Hrsg.): Technische Lieferbedingungen für Böden und Baustoffe im Erdbau des Straßenbaus TL BuB E-StB 09 (2009)
- [6] Verordnung über Deponien und Langzeitlager (Deponieverordnung – DepV), 2009, geändert Mai 2013
- [7] 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 Ersatzbaustoffen und zur Neufassung der Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung – Entwurf 2015
- [8] DIN EN 12457-4: Charakterisierung von Abfällen – Auslaugung; Übereinstimmungsuntersuchung für die Auslaugung von körnigen Abfällen und Schlämmen – Teil 4: Einstufiges Schüttelverfahren mit einem Flüssigkeits-/Feststoffverhältnis von 10 l/kg für Materialien mit einer Korngröße unter 10 mm (ohne oder mit Korngrößenreduzierung), Januar 2003
- [9] DIN 19529: Elution von Feststoffen – Schüttelverfahren zur Untersuchung des Elutionsverhaltens von anorganischen Stoffen mit einem Wasser/Feststoff-Verhältnis von 2 l/kg, Januar 2009
- [10] Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (Hrsg.): Technische Prüfvorschriften für Gesteinskörnungen im Straßenbau. TP Gestein-StB, Teil 7.1.2 Trogverfahren, Ausgabe 2008
- [11] Mitteilung der Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Abfall (LAGA) 33, LAGA EW 98: Richtlinie für das Vorgehen bei physikalischen und chemischen Untersuchungen von Abfällen, verunreinigten Böden und Materialien aus dem Altlastenbereich; Herstellung und Untersuchung von wässrigen Eluaten, Stand November 2012
- [12] Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (Hrsg.): Technische Prüfvorschriften für Boden und Fels im Straßenbau TP BF-StB, Teil B 11.1: Eignungsprüfungen für Bodenverfestigungen mit hydraulischen Bindemitteln (FGSV 591/B 11.1), Ausgabe 2005
- [13] Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (Hrsg.): Merkblatt über die Behandlung von Böden und Baustoffen mit Bindemitteln zur Reduzierung der Eluierbarkeit umweltrelevanter Inhaltsstoffe, 2009

# ERZEUGUNG UND NUTZUNG VON EISENHÜTTENSCHLACKEN 2016

Dr.-Ing. Th. Merkel

Die bei der Erzeugung von Roheisen und Stahl als Nebenprodukte hergestellten Eisenhüttenschlacken (Hochofen- und Stahlwerksschlacken) werden seit vielen Jahrzehnten als bewährte Baustoffe und Düngemittel eingesetzt. Die in Deutschland im Jahr 2016 erzeugten Mengen und ihre Verwendungsgebiete wurden bei den Unternehmen abgefragt. Ein Abgleich der gemeldeten Daten mit der Erfassung durch das Statistische Bundesamt bzw. die Wirtschaftsvereinigung Stahl zeigt, dass bei den Hochofenschlacken eine vollständige Erfassung gelungen ist. Bei den Stahlwerksschlacken wurden bisher „nur“ 94,5 % gemeldet – nachdem in den vergangenen Jahren jeweils eine vollständige Erfassung möglich war, mag das als Rückschritt empfunden werden, im Vergleich mit anderen Produktionsstatistiken ist das aber immer noch ein sehr guter Wert. Die erfassten Daten sind in Tabelle 1 (für Hochofenschlacke) und Tabelle 2 (für Stahlwerksschlacke) zusammengestellt.

Analog zum Rückgang der Erzeugung von Rohstahl (42,1 Mio. t, nach 42,7 Mio. t im Jahr 2015) sind im Vergleich zum Jahr 2015 auch die Erzeugungszahlen für Hochofen- und (auf Basis der vorliegenden Daten) von Stahlwerksschlacke zurückgegangen. Auffällig ist bei der Hochofenschlacke, dass trotz des insgesamt zu beobachtenden Produktionsrückgangs die Erzeugung von Hüttensand nicht nur prozentual (die Granulationsrate lag 2016 bei 87 %) sondern sogar in absolu-

ten Zahlen zugenommen hat. Auch auf der Nutzungsseite ist bei der Verwendung von Hüttensand für die Zementindustrie eine deutliche Steigerung zu sehen. Recht deutlich abgenommen hat die Verwendung von Hochofenstückschlacke für den Einsatz in Baustoffgemischen – eigentlich ist die Verwendung für Frostschutz- und Schottertragschichten das klassische Einsatzgebiet für die Stückschlacke.

Obwohl die Erzeugung von Stahlwerksschlacke im vergangenen Jahr insgesamt etwas niedriger lag als im Vorjahr, konnten die Lagerbestände per Saldo nicht abgebaut werden, sondern sind sogar etwas aufgebaut worden. Entsprechend den zurückgegangenen Erzeugungsmenge sind in allen Einsatzgebieten von Stahlwerksschlacken auch die vermarkteten Mengen zurückgegangen. Dies gilt sowohl für die Nutzung als Baustoff als auch den Einsatz als Düngemittel sowie die Rückführung als Kalk- und Eisenträger in den metallurgischen Kreislauf. Der Einsatz von Schlacke basierten Baustoffen steht immer auch in Zusammenhang mit der Verfügbarkeit größerer Baumaßnahmen. Grundsätzlich zeigt sich im Straßenbau eine Verlagerung vom Neubau zur Erhaltung. Dementsprechend werden die weiter unten im Straßenaufbau liegenden Tragschichten seltener ausgebaut und erneuert. Das bewirkt Verschiebungen bei den eingesetzten Baustoffen. <<<

Erzeugung	2016	2015
Schlacke aus Stahlroheisenerzeugung	<b>7,46</b>	7,82
Schlacke aus sonstiger Roheisenerzeugung	<b>0,08</b>	0,10
<b>Summe</b>	<b>7,54</b>	7,92
davon: HS 6,58 HOS 0,96		
Lagerabbau	<b>0,55</b>	0,34
<b>Summe</b>	<b>8,09</b>	8,26

Nutzung	2016	2015
HOS für Gesteinskörnungen	<b>0,17</b>	0,13
HOS für Baustoffgemische	<b>0,39</b>	0,94
HS zur Zementherstellung	<b>7,24</b>	6,82
HS für andere Einsatzgebiete	<b>0,17</b>	0,17
Eigenverbrauch der Werke	<b>0,12</b>	0,20
<b>Summe</b>	<b>8,09</b>	8,26

Tabelle 1: Erzeugung und Nutzung von Hochofenschlacke 2016 (2015 zum Vergleich, alle Angaben in Mio. t)

Erzeugung	2016	2015
Schlacke aus Oxygenstahlerzeugung	<b>3,11</b>	3,14
Schlacke aus Elektrostahlerzeugung	<b>1,53</b>	1,61
Schlacke aus Sonderverfahren	<b>0,48</b>	0,63
<b>Summe</b>	<b>5,12</b>	5,38

Nutzung	2016	2015
Metallurg. Kreislaufführung	<b>0,56</b>	0,64
Düngemittel	<b>0,35</b>	0,46
Baustoffe (Straßenbau, Erdbau, Wasserbau etc.)	<b>2,74</b>	2,85
Sonstiges	<b>0,24</b>	0,48
Deponie	<b>0,76</b>	0,71
Zwischenlager	<b>0,47</b>	0,24
<b>Summe</b>	<b>5,12</b>	5,38

Tabelle 2: Erzeugung und Nutzung von Stahlwerksschlacke 2016 (2015 zum Vergleich, alle Angaben in Mio. t)

**Impressum // Herausgeber:** FEHS-Institut e. V. , Duisburg // **Verantwortlich:** Thomas Reiche, Geschäftsführer // **Gestaltung:** del din design

FEHS – Institut für Baustoff-  
Forschung e.V.  
Bliersheimer Straße 62  
47229 Duisburg

Telefon: 02065 9945-0  
Telefax: 02065 9945-10  
E-Mail: [fehs@fehs.de](mailto:fehs@fehs.de)  
[www.fehs.de](http://www.fehs.de)



INSTITUT FÜR  
BAUSTOFF  
FORSCHUNG

FEHS