
Duisburg, 21.03.2022

A. Ehrenberg

PROTOKOLL

zur **108. Sitzung des Arbeitskreises "Baustoffe" am 10. November 2021**

(Teams-Meeting)

Teilnehmer

Die Teilnehmerliste liegt dieser Niederschrift bei (Anlage 1).

TAGESORDNUNG

TOP 1: Geschäftliches

TOP 2: Genehmigung des Protokolls über die 107. Sitzung des Arbeitskreises
am 12. Mai 2021 (Teams-Meeting)

TOP 3: Stand der aktuellen Diskussion zur CO₂-Allokation

TOP 4: Kurzberichte über ausgewählte laufende Arbeiten

TOP 5: Verschiedenes

- Kurzbericht zum 7. Slag Valorisation Symposium
- Aktuelle Publikationen
- Konferenzen 2022/2023
- Termine der nächsten Sitzungen

Anlage 2 zu dieser Niederschrift beinhaltet die während der Sitzung gezeigten Präsentationen des FEhS-Instituts.

Im Text dieser Niederschrift wird auf Informationen, die erst nach der Arbeitskreissitzung verfügbar waren, gesondert mit "→" hingewiesen.

TOP 1 Geschäftliches

Hr. Höppner eröffnete als Obmann um 10:00 Uhr die 108. Sitzung des Arbeitskreises "Baustoffe", die pandemiebedingt erneut online als Teams-Meeting stattfand.

Hr. Zantz (Peute Baustoff GmbH) nahm für Hr. Waltemathe und Hr. Palm (VDZ) nahm für Hr. Müller teil. Als neue Teilnehmer am AK "Baustoffe" wurden von thyssenkrupp Steel Hr. Ellerik, Hr. Krieg und Hr. Steffen benannt. Letzterer konnte an der Sitzung jedoch nicht teilnehmen. Hr. Bartsch ist im Ruhestand und die Friedrich Rohstoff GmbH wird künftig von Fr. Wunderlich vertreten. Für das FEhS-Institut nahm zum ersten Mal Hr. Verhaag teil, der derzeit eines der Forschungsprojekte der Abteilung "Baustoffe" betreut.

Hr. Höppner machte die Anwesenden darauf aufmerksam, dass die Arbeit in den Gremien des FEhS - Instituts für Baustoff-Forschung e.V. unter strikter Beachtung der kartellrechtlichen Vorschriften zu erfolgen hat und damit insbesondere weder der Schaffung noch der Förderung von Gelegenheiten dienen darf, Verhalten in wettbewerbswidriger Weise abzustimmen oder wettbewerbswidrige Absprachen zu treffen. Dies gelte insbesondere für Preis- und Mengenabsprachen.

TOP 2 Genehmigung des Protokolls über die 107. Sitzung des Arbeitskreises

Zum Protokoll über die 107. Sitzung am 12.05.21, die online stattgefunden hatte, gab es keine Anmerkungen.

TOP 3 Stand der aktuellen Diskussion zur CO₂-Allokation

Hr. Ehrenberg berichtete über das Ergebnis des Enquiry zu prEN 17662 "Execution of steel structures and aluminium structures - Environmental Product Declarations - Product category rules complementary to EN 15804 for steel, iron and aluminium products for use in construction works", das vom CEN/TC 135 eingeleitet worden war (06.05.-29.07.21). Problematisch an diesem Entwurf war u.a., dass die von Worldsteel entwickelte und in verschiedenen EPDs für Stahlbauprodukte genutzte Methode des "Physical partitioning" zur Aufteilung der ökologischen Lasten zwischen Haupt- und Nebenprodukten (hier primär Hüttensand) als einzige Methode vorgegeben worden war. Diese Methode führt bei der Hochofenschlacke zu einer hohen ökologischen (rechnerischen) Vorbelastung von im Mittel 527 kg CO₂ je Tonne, die sich im Hinblick auf die

Verwendbarkeit von Hüttensand als Bestandteil von Zement und Beton signifikant negativ auswirken würde. Die Verwendbarkeit von Hochofenstückschlacke als Gesteinskörnung würde durch den Vergleich mit nahezu unbelasteten natürlichen Gesteinskörnungen de facto unterbunden. Das FEHS-Institut erhob daher am 22.06.21 beim DIN verschiedene Einsprüche und stellte diese auch diversen Unternehmen zur Verfügung. Gleichzeitig wurden verschiedene europäische Organisationen und Unternehmen informiert, die ihrerseits auf nationaler Ebene aktiv wurden. Der DIN-Spiegelausschuss akzeptierte in der Einspruchssitzung am 07.07.21 den Normentwurf dennoch weitestgehend. Es wurde lediglich die geringe Veränderung vorgenommen, aus der "Muss"- eine "Soll"-Vorgabe bzgl. der auszuwählenden Methode festzulegen. Insgesamt stimmten 16 Länder dem Normentwurf zu, nur 2 nicht (Luxemburg und Spanien) und 14 Länder enthielten sich (z.B. Polen, Tschechien, Rumänien). Von großer Bedeutung war jedoch, dass die CEN/TC 350/WG 3 "Sustainability of construction works- product level", die seinerzeit die Rahmennorm DIN EN 15804 definiert hatte, den Entwurf am 16.06.21 gegenüber TC 135 ablehnte.

Hr. Ehrenberg verwies darauf, dass die Position verschiedener Stahlunternehmen zu der Frage, welche Methode zur Aufteilung der ökologischen Lasten zwischen Haupt- und Nebenprodukten anzuwenden ist, sehr unterschiedlich ist. Während Unternehmen wie ArcelorMittal, Thyssenkrupp, LSW oder GMH die ökonomische Allokation präferieren, verfolgen Dillinger, Tata, Voestalpine und SSAB das Physical Partitioning. In der Diskussion im Arbeitskreis zeigte sich, dass die Position von Salzgitter (Physical Partitioning), das dem FEHS-Institut derzeit nicht mehr angehört, offensichtlich derzeit überdacht wird. Hr. Reiche wies darauf hin, dass der Vorstand des FEHS-Instituts wie auch das EUROSLAG-Board die ökonomische Allokation klar bevorzugen. Er forderte die Stahlerzeuger dazu auf, ihre Position auch im bauforumstahl zu formulieren, das sich sowohl im CEN/TC 135 als auch im zugehörigen nationalen Spiegelausschuss sehr engagiert und das die Methode des Physical Partitioning ebenfalls bevorzugt.

Nach der ablehnenden Haltung des TC 350 erarbeitete die TC 135/WG 17 einen neuen Entwurf (20.10.21), zu dem bis zum 11.11.21 zunächst nur die TC 350/WG 3-Experten intern Kommentare abgeben konnten bzgl. der Frage "Is the draft compliant to EN 15804 + A2? - Yes/No + short explanation". Der neue Entwurf enthielt nun zwar grundsätzlich auch die Methode der ökonomischen Allokation. De facto wurde aber die Methode des "Physical Partitioning" weiterhin eindeutig präferiert. Darüber hinaus gab es eine Reihe von weiteren Kritikpunkten.

- ➔ CEN/TC 350 lehnte im Januar 2022 den Normentwurf nach einer Umfrage in seinen nationalen Spiegelausschüssen erneut mit sehr großer Mehrheit ab. Nun muss das CEN-CENELEC Management Centre (CCMC) die Entscheidung treffen, welches TC das maßgebende Gremium ist.

- Für das FEhS-Institut besteht derzeit kein Handlungsbedarf. Aber EUROSLAG hat im März 2022 über das FEhS-Institut beim TC 350 einen Observerstatus beantragt, um die Weiterentwicklung der EN 15804 sowie weiterer relevanter Normen künftig unmittelbar begleiten zu können.

Hr. Ehrenberg verwies auf die zunehmende ökonomische Bedeutung ökologischer Aspekte auf die Auswahl von Baustoffen und Bauweisen. Diese spiegelt sich u.a. in den Roadmaps der deutschen Zementindustrie und des DAfStb wider. Auch soll der neu konstituierte DAfStb-Unterausschuss "Grundsätze" bis Ende 2022 die "Grundsätze des nachhaltigen Bauens mit Beton" (Entwurf 2014) aktualisieren. Das FEhS-Institut wird daran mitarbeiten.

TOP 4 Kurzberichte über ausgewählte laufende Arbeiten

1.24 Hydraulizität von Hüttensand

Hr. Ehrenberg stellte Analysenergebnisse vor, die an einem alten Hüttensand aus Siegen vorgenommen wurden. Er stammte aus Bodenuntersuchungen in rd. 6 m Tiefe, die für DEW Siegen wegen geplanter Baumaßnahmen erforderlich waren. Das Stahlwerk Siegen-Geisweid existierte an dieser Stelle von 1846-1978. Aus chemischer Sicht waren hohe Schwefel- und MnO-Gehalte hervorzuheben, da hier offenbar manganreiches Roheisen erzeugt worden war. Alterungsbedingt waren die Gehalte an chemisch gebundenem H₂O und CO₂ sehr hoch. Der Glasgehalt des Hüttensands lag mit 99,6 Vol.-% ebenfalls sehr hoch, was aber auch für sehr alte Hüttensande nicht untypisch ist. Nach Aufbereitung des Hüttensands auf einen sehr hohen Blainewert, aber eine dennoch für die "Hüttensand-Datei" eigentlich noch zu grobe Korngrößenverteilung, bestätigte die Hydratationswärmemessung an einer Kombination aus je 50 M.-% Hüttensand und Portlandzement CEM I 42,5 R bekannte Effekte: Die gemahlene inerten Feinstanteile, die aus den Vorhydratationsprodukten resultierten, beschleunigten und verstärkten die Klinkerreaktion, wohingegen aufgrund der eher geringen Basizität das Auftreten des typischen Hüttensandpeaks unterblieb. Für Festigkeitsuntersuchungen lag nicht genug Probenmaterial vor.

1.46 Thermische Vorgeschichte von Hochofenschlacke

Hr. Ehrenberg berichtete über Ergebnisse von Untersuchungen, bei denen noch einmal trocken erzeugte DSG-Pellets ("Dry Slag Granulation") mit der im Rahmen des AiF-FV 19416 erarbeiteten Methode der glastechnischen Analyse zur Beschreibung der thermischen Vorgeschichte von Hüttensand analysiert worden waren. Während im Verlauf des FFG-FV "FORWÄRTS 2.0" dem FEhS-Institut stets nur Mischproben aus DSG-Pellets, Hüttensand und Agglomeraten bereitgestellt worden waren, stand nun eine Probe zur Verfügung, die fast ausschließlich aus DSG-Pellets bestand. Somit entfiel die aufwendige Separierung aus einer Mischprobe. Während die unter Standardbedingungen ermittelte Glastransformationstemperatur T_g für Hüttensand und DSG-

Pellets sehr ähnlich war, da sie primär von der chemischen Zusammensetzung abhängt, lagen die Fiktive Temperatur T_f und die Überschussenthalpie ΔH_{ex} zum einen für die DSG-Pellets niedriger als bei Hüttensand, da sie generell langsamer gekühlt werden, und zum anderen waren sie bei größeren Partikel niedriger als bei feineren, da größere Partikel ebenfalls langsamer gekühlt werden. Da DSG-Pellets gröber vorliegen als Hüttensand, wird der enthalpiesenkende Effekt der langsameren Luftabkühlung somit noch verstärkt. Der zementtechnische Vergleich mit dem chemisch sehr ähnlichen Hüttensand 13 c bestätigte weitestgehend die früheren Erkenntnisse, dass DSG-Pellets bei gleicher Feinheit eine geringere Reaktivität als wassergranulierte Hüttensande aufweisen. Der negative Effekt ist dabei für größere Partikel stärker ausgeprägt als für feinere Partikel. Der Reaktivitätsabfall ist jedoch kein Ausschlusskriterium für eine zementtechnische Nutzung der DSG-Pellets.

Im Rahmen des von ArcelorMittal koordinierten und Ende 2021 auslaufenden RFCS-Projekts Nr. 749809 "New activation routes for early strength development of granulated blast furnace slag - ActiSlag" wurde im FEhS-Institut ein weiterer optimierter Hüttensand "Acti 12" hergestellt, der sich im Vergleich zu der auf der 107. Sitzung vorgestellten Probe "Acti 10" nur durch den Verzicht auf eine Anhebung des K_2O -Gehalts auszeichnete. Signifikant erhöhte Basizität und Al_2O_3 -Gehalt bewirkten signifikant höhere 1- und 2-Tage-Festigkeiten, die allerdings etwas unter denen der Probe "Acti 10" lagen. Mit dieser "Upstream"-Modifikation war es möglich, dass für "ActiSlag" gesteckte Festigkeitsziel zu erreichen.

Im Rahmen von "ActiSlag" waren bei ArcelorMittal auch Versuche zur Al_2O_3 -Erhöhung im betrieblichen Maßstab geplant, deren Ergebnisse jedoch noch nicht vorlagen. Hr. Mundersbach fragte, ob derzeit derartige, bzgl. der Wirkungsweise nicht neuen Maßnahmen bei Hüttensanderzeugern stattfinden. Hr. Ehrenberg verneinte dies und wies auf den sehr leistungsfähigen Hüttensand des früheren Hüttenwerks Rheinhausen hin, der mit rd. 19 M.-% einen sehr hohen Al_2O_3 -Gehalt hatte. Hr. Höppner verwies auf frühere Aktivitäten in Salzgitter, die aber keinen signifikanten Effekt gezeigt hätten. Er betonte hingegen den wesentlichen Einfluss des Zusammenspiels von Klinker und Hüttensand. Hr. Joost teilte mit, dass in Dillingen bei Bedarf gegengesteuert werde, dass aber einerseits beim Hüttensand die Auswirkungen begrenzt und andererseits die Kosten hoch seien. Hingegen sei bei der Mineralphasenbildung der Hochofenstückschlacke ein deutlicher Einfluss erkennbar.

Ergänzend stellte Hr. Ehrenberg noch einige Untersuchungen der Projektpartner vor. So kombinierten die französischen Kollegen des LMDC in Toulouse, z.T. finanziert von ECOCEM, RBA-, RFA- und Tomographiemessungen zwecks raum aufgelöster Phasenanalyse hydratisierender Systeme während der frühen Hydratation zwischen 30 min und 6 h (X-ray diffraction microtomography - XRD-CT). Diese aufwendige Analytik an nur 200 μm dicken zementleimgefüllten Kapillaren basierte auf Messungen am Teilchenbeschleuniger Swiss Light Source des Paul Scherrer

Instituts in der Schweiz und war im September 2021 durchgeführt worden. Die Auswertung der Untersuchungen dauerte noch an.

Ebenfalls von LMDC und ECOCEM wurden zahlreiche "Downstream"-Modifikationen durchgeführt. d.h. es wurde die Wirksamkeit verschiedenster Aktivatoren im Mörtel bzw. Beton insbesondere hinsichtlich der Frühfestigkeitssteigerung untersucht. Diese Untersuchungen wurden nicht an Mörteln nach EN 196-1 durchgeführt, sondern aufgrund der sehr begrenzten Verfügbarkeit der laboroptimierten Hüttensande an 2 cm großen Zementleimwürfeln. Daraus folgt, dass die ermittelten Absolutwerte der Festigkeiten nicht unmittelbar mit Normkennwerten verglichen werden können, sondern nur relativ untereinander. Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass einige Zusätze die Frühfestigkeit hüttensandreicher Systeme signifikant steigern konnten, der Effekt dabei aber durchaus hüttensandabhängig war. Die Festigkeiten nach 28 Tagen wurden nur wenig verändert. Allerdings wies Hr. Ehrenberg darauf hin, dass hinsichtlich des Einsatzes von bestimmten, z.B. chloridhaltigen Aktivatoren Restriktionen im Zement-/Beton-Regelwerk existieren.

Ein letztes Projekttreffen (online) war für den 15.-16.12.21 anberaumt, der Schlussbericht war bis Ende Februar 2022 zu erstellen. Es ist geplant, auf der nächsten Europäischen Schlackenkonferenz in Köln (04.-07.10.22) einen Überblick über die Ergebnisse des gesamten "ActiSlag"-Projekts zu geben.

- ➔ Am 31.01.22 fand ein kurzfristig auf Drängen der zuständigen RFCS-Beauftragten organisiertes Webinar zu den Ergebnissen von "ActiSlag" statt. Erfreulicherweise konnten auch einige Mitglieder des Arbeitskreises "Baustoffe" daran teilnehmen.

1.49 Europäische Prüfverfahren

Hr. Feldrappe erläuterte den Stand des AiF-Projekts 21835 "Dauerhaftigkeit von Beton nach dem Performance-Prinzip – Bewertung von Laborprüfverfahren zum Karbonatisierungs-, Chlorid-, Frost-/Frost-Tausalz- und Säurewiderstand", das seit dem 01.05.21 gemeinsam mit der Ruhruniversität Bochum und dem Karlsruher Institut für Technologie bearbeitet wird. Bisher wurde durch das FEHS-Institut überwiegend das AP 1 "Auswahl und Charakterisierung der Ausgangsstoffe" bearbeitet. bei der Auswahl der Zemente wurde Wert gelegt auf eine Mischung aus etablierten Zementen (um an Erfahrungen anzuknüpfen) und einem "neuen" Zement (als ein Beispiel für künftig erforderliche Performancetests, die ggf. auch bei neuen Zementbestandteilen erforderlich sein werden). Der Schwerpunkt im Hinblick auf die Laborprüfverfahren liegt für das FEHS-Institut beim AP 4 "Frost- und Frost-Tausalz-Widerstand". Dabei wird an die positiven Erfahrungen aus dem 2017 vom FEHS-Institut beendeten AiF-FV 18183 "Praxisgerechte Modifikation von Lagerungsbedingungen für die Durchführung von Frostwiderstandsprüfungen" angeknüpft.

Hr. Ehrenberg berichtete über die Aktivitäten des RILEM TC 267-TRM "Tests for reactivity of supplementary cementitious materials". Zwar ist bei RILEM derzeit kein Mitarbeiter des FEHS-Instituts aktiv, jedoch wurde die vom TC 267 entwickelte R3-Schnelltestmethode (R3: Rapid, Reproducible, Relevant) zur ersten Beurteilung der Reaktivität von beliebigen potentiellen SCMs auch zur Normung im Rahmen der EN 196-Reihe vorgesehen. Basierend auf Vergleichsversuchen mit verschiedenen, z.T. bereits genormten Verfahren sowie verschiedenen SCMs mit sehr unterschiedlicher zementtechnischer Leistungsfähigkeit (u.a. Hüttensande, calcinierte Tone, Flugaschen) wurde ein Testprozedere entwickelt, bei dem die reinen gemahlene SCMs mit einer künstlichen Porenlösung und Kalksteinmehl vermischt werden und anschließend die Hydratationswärmeentwicklung dieser Kombinationen in einem Wärmeflusskalorimeter (vgl. DIN EN 196-11) bei einer Prüftemperatur von 40 °C über 24 h bestimmt wird. Hr. Ehrenberg verwies auf verschiedene Nachteile dieser schnellen Screeningmethode. Insbesondere muss man es als fraglich bezeichnen, ob grundsätzlich verschiedenartig (hydraulisch, latent hydraulisch, puzzolanisch) reagierende Systeme die gleiche Hydratationswärme-Druckfestigkeits-Korrelation aufweisen können bzw. müssen.

Im Rahmen von "ActiSlag" waren die 16 industriellen Hüttensande vom LMDC nach einem leicht modifizierten R3-Prozedere (kein Kalksteinmehl) geprüft worden, wohingegen im FEHS-Institut alle Untersuchungen gemäß EN 196-11 (Hydratationswärme) bzw. EN 196-1 (Druckfestigkeit) abliefen. Die Auswertung der Daten zeigt, dass hinsichtlich der 2-Tage-Druckfestigkeit die Verwendung der EN 196-11-Methode zu einer etwas höheren Korrelation führt, dafür jedoch auch mehr Zeit benötigt (48 h statt 24 h). Betrachtet man den gesamten Hydratationszeitraum von 7 Tagen, der üblicherweise in EN 196-11 verwendet wird, dann erkennt man einerseits, dass die vom LMDC postulierte lineare Korrelation unzutreffend ist und dass andererseits für einzelne Hüttensande immer wieder größere Abweichungen von der erwarteten Druckfestigkeit bestanden. Hr. Höppner empfahl eine Kalibration mit den eigenen Methoden der Zementhersteller. Die Ergebnisse wurden 2020 in "Cement and Concrete Research" publiziert (<https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2020.105998>).

1.63 Gesteinskörnungen aus Stahlwerksschlacken

Nach einleitenden Ausführungen zur grundsätzlichen Bedeutung des Projekts durch Hr. Ehrenberg erläuterte Hr. Feldrappe die konkreten Ziele sowie den Stand der Untersuchungen des AiF-Forschungsvorhabens 21567 "Schlacken aus der Stahl- und NE-Metall-Erzeugung als Substitut natürlicher Gesteinskörnungen in Beton", das gemeinsam mit der Abteilung "Umwelt" seit dem 01.12.20 bearbeitet wird. Die operativen Arbeiten übernimmt dabei Hr. Verhaag.

Im Hinblick auf die chemische Zusammensetzung der bisher in das Projekt einbezogenen 3 LDS, 4 EOS und einer CUS ist hervorzuheben, dass bei den SWS nur der Chrom-Gesamtgehalt deutlich

über den Anforderungen der ABuG für industrielle Gesteinskörnungen in wasserberührten Betonen liegt, wohingegen bei der CUS auch weitere Parameter die Grenzwerte überschreiten. Diese Überschreitungen verhindern bekanntermaßen in Deutschland bisher eine Verwendung dieser Schlacken im Beton, obwohl bereits aus früheren Untersuchungen bekannt ist, dass die Anforderungen an die Eluate sowohl aus den Schlacken selbst als auch aus mit ihnen hergestellten Betonen eingehalten werden. Nur letztere sind aus Sicht des FEHS-Instituts als tatsächlich praxisrelevant anzusehen. Auch die Eluatwerte aus den im Projekt verwendeten reinen Schlacken erfüllen problemlos alle Anforderungen der ABuG.

Die mit verschiedenen Methoden bestimmten Gehalte an freien Oxiden, die bzgl. der Raumbeständigkeit problematisch sein können, waren für dasselbe Material erwartungsgemäß sehr unterschiedlich und lassen eine Beurteilung nur auf Basis einer chemischen oder mineralogischen Analyse nicht sicher zu. Hinsichtlich der Entwicklung eines daher benötigten Betonprüfverfahrens zur Raumbeständigkeit zog Hr. Feldrappe aus den ersten Ergebnissen die Schlussfolgerung, dass eine den Test beschleunigende Prüftemperatur von 80 °C zu hoch sein dürfte. Endgültige Aussagen werde man aber erst nach Abarbeitung des kompletten statistischen Versuchsplans machen können, der immerhin 95 Versuche umfasst.

Hr. Mudersbach fragte nach, ob das in zwei früheren, von Hr. Lohmann betreuten AiF-Projekten entwickelte Prüfverfahren des FEHS-Instituts, das insbesondere zur Bestimmung des langsam reagierenden Periklas dient, ebenfalls noch verwendet würde. Hr. Ehrenberg bejahte dies. Auch der klassische Dampftest wird verwendet. Die ersten Versuchsreihen der Dampftests hatten jedoch zu unplausiblen und bisher nicht erklärbaren Resultaten geführt.

Die bisherigen Arbeiten zu den technischen Eigenschaften der Betone mit Schlacken als gebrochener industrieller Gesteinskörnung zeigen, dass die Druckfestigkeiten im Vergleich zu Referenzbeton mit runder natürlicher Gesteinskörnung zu allen Prüfterminen deutlich höher liegen.

Das zweite unter die Aufgabe 1.63 fallende Projekt ist das gemeinsam mit der Forschungsvereinigung Kalk-Sand e.V. in Hannover bearbeitete AiF-Forschungsvorhaben 20268 "Einsatz von metallurgischen Schlacken bei der Kalksandsteinproduktion zur Erhöhung des baulichen Schallschutzes", das im Februar 2021 auslief. Hr. Ehrenberg gab einen Überblick über die Ziele und Ergebnisse des Projekts, bei dem verschiedene LDS, EOS, CUS, Fe Ni-Schlacke und Rutil sand als Ersatz für Basalt als schwerer Gesteinskörnung zur Produktion von Kalksandsteinen mit erhöhter Rohdichte und daher erhöhtem Schallschutz überprüft wurden. Über die negativen Erfahrungen mit SWS (punktuelle Abplatzungen nach der Autoklavierung trotz geringer Gehalte an freien Oxiden) sowohl in Technikums- wie in Werksversuchen war bereits auf der 107. Sitzung des Arbeitskreises berichtet und diskutiert worden. Ein im Sommer 2021 durchgeführter Werksversuch mit CUS-2 0/5 mm war hingegen sehr erfolgreich: Es traten keinerlei Schäden an den

Steinen auf, es wurden mehr als ausreichende Steinfestigkeiten erzielt, die Rohdichte der Steine wurde signifikant erhöht, bei maximaler Substitution von Basalt und darüber hinaus auch Sand (45 M.-% CUS-2 in der Gesteinskörnung) konnte der Kalksatz um 13 % gesenkt werden, was positiv bzgl. Kosten und CO₂-Bilanz der Steine ist, und die Dunkelfärbung der Steine fiel nur moderat aus. Ein geplanter Werksversuch mit dem feinen (< 200 µm) und feuchten Rutilsand, mit dem im Technikum ebenfalls gute Ergebnisse erzielt wurden, konnte aus Gründen des Handlings (Silogängigkeit) nicht durchgeführt werden. Hier müsste zuvor eine Materialtrocknung erfolgen. Dies gilt analog auch für die CUS-1, die prozessbedingt (Flotation) ebenfalls fein und sehr feucht vorlag. Mit SWS konnten im Technikum nur dann gute Ergebnisse erzielt werden, wenn sie zuvor grob gemahlen wurden ($d_{50} \approx 1 \text{ mm}$).

Eluatuntersuchungen an Steinen mit unterschiedlichen industriellen Gesteinskörnungen belegen die Umweltverträglichkeit der Kalksandsteine. Auch die beim Autoklavierungsprozess anfallenden Kondensate erfüllen die Einleitungsbedingungen für derartige Abwässer. Eine korrosive Wirkung der Kondensate war nicht feststellbar. Hr. Ehrenberg stellte zusammenfassend fest, dass mit dem Projekt für die Erzeuger und Aufbereiter verschiedener metallurgischer Schlacken ein neues Anwendungsgebiet und für Hersteller von Kalksandsteinen mit erhöhter Schalldämmung Alternativen zur Verwendung natürlicher Gesteinskörnungen und Kostenreduktionspotentiale aufgezeigt werden konnten. Er benannte jedoch auch einige offene Fragen, wie z.B. die noch ungeklärte Schadensursache bei der Verwendung ungemahlener SWS (Popouts), die Höhe des technischen Potentials nach Grobmahlung von SWS oder die vermutlich positive Wirkung auf weitere, z.B. thermische, Steineigenschaften. Es ist geplant, im Frühjahr 2022 einen weiteren Antrag bei der AiF einzureichen, der sich mit dem Thema industrielle Gesteinskörnungen bei der Kalksandsteinproduktion befassen wird.

- ➔ Im "Report" Nr. 1/2021, der erst Anfang 2022 erscheinen konnte, findet sich eine ausführlichere Darstellung der Projektergebnisse.
- ➔ Im Februar 2022 wurde gemeinsam mit der Forschungsvereinigung Kalk-Sand e.V. eine konkrete Projektskizze erarbeitet. Die Planungen sehen die Antragstellung bei der AiF für Ende April 2022 vor.

1.67 Alkaliaktivierte Bindemittel

Hr. Ehrenberg stellte die ersten Ergebnisse zum dreijährigen BMBF-Forschungsvorhaben "SABINE - Stahlwerksschlacke als Bindemittel für geotechnische Baustoffe" vor, das im Rahmen des "ReMin"-Förderprogramms unterstützt wird und das am 01.02.21 begann. Es wird unter Federführung der Studiengesellschaft für Tunnel und Verkehrsanlagen (STUVA) gemeinsam mit MC-Bauchemie und Porr bearbeitet und von Georgsmarienhütte sowie Max Aicher Umwelt unterstützt. Bisher wurden 4 EOS in das Projekt einbezogen. Während die EOS-1 und die EOS-4 rein

kristallin vorlagen, waren die EOS-2 und -3 für Versuchszwecke wassergranuliert worden und wiesen daher nennenswerte Glasanteile auf. Zwecks Basis-Charakterisierung der latent-hydraulischen oder puzzolanischen Eigenschaften wurden im FEHS-Institut Kombinationen aus je 50 M.-% gemahlener EOS und Portlandzement CEM I 42,5 R zementtechnisch untersucht, so wie es auch für die "Hüttensand-Datei" erfolgt (vgl. Aufgabe 1.24). Erwartungsgemäß zeigten nur die beiden wassergranulierten EOS einen eigenständigen Festigkeitsbeitrag, wohingegen sich die kristallinen Schlacken inert verhielten, vergleichbar zum ebenfalls als inerte Referenz untersuchten gemahlenden Quarzsand.

Im Rahmen des Projekts ist die alkalische Aktivierung der geotechnischen Baustoffe Aufgabe der MC-Bauchemie. Sie stellte fest, dass das von ihr auf Basis eines bereits existierenden Ringspaltmörtels mit Hüttensand und Flugasche ausgewählte Aktivatorsystem, dessen Zusammensetzung auch gegenüber den Projektpartnern geheim gehalten wird, mit kristallinen EOS nicht funktioniert. Diese an sich nicht überraschende Erkenntnis führte dazu, dass der im Projekt ursprünglich angedachte Einbezug von LDS, die im Originalzustand - wie EOS auch - stets rein kristallin vorliegt, verworfen wurde und dass die Arbeiten auf wassergranulierte EOS fokussiert werden. Diese können vermutlich im Rahmen eines anderen Projekts zur Verfügung gestellt werden. Darüber hinaus soll eine wassergranulierte CUS in das Projekt einbezogen werden, die erfahrungsgemäß ebenfalls einen nennenswerten Glasgehalt und daher auch puzzolanische Eigenschaften aufweist.

1.70 Klinker aus Stahlwerksschlacken

Hr. Ehrenberg wies kurz darauf hin, dass zum zweiten im Rahmen des "ReMin"-Förderprogramms unterstützten Projekts "SlagCEM – Hochwertige Zemente und Roheisen aus Stahlwerksschlacken", das unter Federführung der BAM seit dem 01.02.21 gemeinsam mit der Abteilung "Sekrohmet" und mit mehreren Partnern, z.B. ArcelorMittal Eisenhüttenstadt, bearbeitet wird, noch keine Laborwerte vorliegen.

1.85 Eigenschaften von Schlacken aus alternativen Verfahren

Hr. Ehrenberg wies kurz darauf hin, dass das vom BMBF im Rahmen des KlimPro-Programms geförderte Forschungsvorhaben "SAVE CO₂ - Schaffung einer alternativen Verwendung einer auf DRI-Basis erzeugten Elektroofenschlacke für die Zementindustrie zur Verringerung der CO₂-Emissionen" unter Beteiligung von thyssenkrupp Steel Europe und weiteren Partnern zwar am 01.05.21 begonnen hat, bisher aber noch keine Laborwerte vorliegen. Zunächst sieht das Arbeitsprogramm primär Arbeiten der Projektpartner vor, insbesondere den Bau und die Inbetriebnahme eines Elektroofens an der Universität Duisburg-Essen.

Das zweite Projekt zum Thema DRI/Elektroschmelzen wurde im Oktober 2021 unter Federführung von Salzgitter Flachstahl zusammen mit weiteren Partnern, wie z.B. Holcim (Deutschland), beim BMBF beantragt und trägt den Titel "DRI-EOS – Nutzung von auf DRI-Basis erzeugter EAF-Schlacke in der Zementindustrie". Es unterscheidet sich zum vorgenannten Projekt hauptsächlich durch die oxidierende Ofenatmosphäre und die Teilverwendung von Schrott.

Das bereits zweimal erfolglos von Tata Steel in IJmuiden in Kooperation mit ENCI, Heidelberg-Cement und FEhS-Institut beim RFCS beantragte Projekt "HIsIag", das die Wassergranulation und zementtechnische Nutzung von HIsarna-Schlacke zum Ziel hat, soll künftig als reines Industrieprojekt verfolgt werden. Daher wird dazu keine Berichterstattung im Arbeitskreis "Baustoffe" erfolgen.

Top 5 Verschiedenes

Kurzbericht zum 7. Slag Valorisation Symposium

Das Symposium fand online vom 27.-29.04.21 statt. Das FEhS-Institut war mit 2 Vorträgen von Hr. Algermisen und Hr. Ehrenberg vertreten. Die Zahl der Teilnehmer wurde mit 144 angegeben, für die 25 Vorträge erfolgten. Die Veranstaltung war, wie immer, gut organisiert. Die Vorträge waren jedoch z.T. sehr spezifisch oder aber sehr allgemein gehalten. Der eigentlich wichtige individuelle Kontakt zu anderen Teilnehmern kam kaum zustande, trotz "Networking lounge", "Chat boxes" etc.. Der Vorbereitungsaufwand für eigene, 15-minütige "Lecture hall"-Beiträge war vergleichsweise hoch, da eine Vorabveröffentlichung der Präsentationsvideos auf YouTube o.ä. nötig waren. So findet sich z.B. der Beitrag von Hr. Ehrenberg ("Dry and wet granulated blast furnace slag - Comparison of their cementitious properties") unter <https://www.youtube.com/watch?v=6EOMrYW1YhM>. Das 8. Slag Valorisation Symposium ist für das Frühjahr 2023 geplant.

Aktuelle Publikationen

Hr. Ehrenberg wies auf zunächst einige Publikationen hin, die unter Beteiligung der Abteilung "Baustoffe" in 2021 erschienen waren.

Darüber hinaus erschien im Verlag de Gruyter das Buch "Industrial Waste - Characterization, Modification and Applications of Residues" (ISBN 9783110674866), das von Prof. Pöllmann aus Halle herausgegeben wurde. Hr. Ehrenberg verfasste darin den umfangreichen Beitrag "Iron and steel slags: from wastes to by-products of high technical, economical and ecological advantages".

Abschließend verwies Hr. Ehrenberg auf die 2018 an der TU Darmstadt erschienene Dissertation von F. Röser mit dem Titel "Über die Reaktivität von Betonzusatzstoffen - Ein versuchsbasiertes Hydratationsmodell".

Konferenzen 2022/2023

Hr. Ehrenberg wies auf verschiedene angekündigte Konferenzen hin, bei denen schlackenbezogene Themen im Fokus stehen.

- Die für Januar 2022 in Wien geplante 15. Global Slag Conference wurde pandemiebedingt abgesagt. Ein neuer konkreter Termin steht derzeit noch nicht fest.

Termine

Die **109. Sitzung** wird am Mittwoch, **04. Mai 2022 / 10:00-13:30**, planmäßig im **FEhS-Institut** stattfinden.

Die **110. Sitzung** wird am Mittwoch, **09. November 2022 / 10:00-13:30**, entweder im **FEhS-Institut** oder als **Teams-Meeting** stattfinden.

Hr. Joost schlug vor, aufgrund des Zeitbedarfs ggf. Hybridsitzungen zu organisieren. Hr. Reiche verwies auf negative Erfahrungen mit diesem Format, insbesondere den Mangel an Diskussion. Hr. Höppner erwähnte durchaus positive Erfahrungen und schlug vor, bei künftigen Wechseln aus anreisetechischen Gründen die persönlichen Sitzungen im Frühjahr und die Onlinesitzungen im Herbst eines Jahres durchzuführen.

Obmann des Arbeitskreises
gez. Höppner

FEhS - Institut für Baustoff-Forschung e.V.
gez. Reiche

Anlage 1: Teilnehmerliste

Anlage 2: Präsentation zur Arbeitskreissitzung