

Products made by EAF-slag for Applications in Road Construction and Earth Works – Potential and Obstacles –

Susanne Schüler and Dirk Mudersbach

In Germany, more than 20 electric arc furnaces (EAF) produce every year more than 11 million tonnes of steel [19], but also approximately 2 million tonnes of EAF slag [9]. In Bavaria, the Lech-Stahlwerke GmbH (LSW) produce more than 1.1 million tonnes of steel and also 10 % of the complete German EAF slag, more than 200.000 tonnes. Unfortunately, in Bavaria the politicians and authorities prefer dumping of EAF slag instead of sustainable utilization. Therefore, the research and development department of the slag processor Max Aicher GmbH (MAU) in Meitingen – in the direct neighbourhood to the steel work – have to find solutions for the dilemma between the potential of the EAF slag and the obstacles of the regulations and handicap of the politics [3].

The research and development (R&D) of MAU is partner in different bilateral, national and European research projects with the acronyms: PROEOS, ERDEOS, ERDSEKS, MiLeSlag, Fines2EAF, ECOSLAG, AskeOS, ChromEOS, DepGPS, POS2DüMi, EOS-2Beet, Fines2SAF, KreisH2O, MOLY, RAZ, WIPHEOS and STRAHLEOS. Meanwhile PROEOS is a trademark [14] and a synonym for the successful research concerning optimization of EAF slag production and sustainable utilization.

An invaluable advantage in Meitingen is the close contact between steel work and environmental department of LSW and the R&D of MAU. Therefore, the quality of the product EAF slag can be optimized straightforward during the complete production chain => feedstock to the EAF => metallurgy in the EAF => treatment during tapping => solidification in the slag yard => processing of EAF slag.

Nevertheless, the real fight is not for the quality of EAF slag but the persuasion against the sceptics for sustainable slag utilization, this *fight against windmills* starts against the Bavarian EAF slag regulation and German cycle management act and ends to convince the authorities and the potential user of the EAF slag.

Herstellung von Produkten aus Elektroofenschlacke für den Einsatz im Straßen-, Industrie- und Deponiebau – Potentiale und Grenzen –

Susanne Schüler und Dirk Mudersbach

1.	Nachhaltiges Recycling vom Schrott zu marktfähigen Produkten.....	323
2.	Grenzen der Nutzung von Stahlwerksschlacken	325
3.	Potentiale für den Einsatz von Elektroofenschlacken	326
3.1.	PROEOS I (01.09.2015 bis 31.08.2017) und PROEOS II (01.04.2019 bis 31.03.2021)	326
3.2.	MiLeSlag (01.03.2016 bis 28.02.2019)	328
3.3.	ERDEOS und ERDSEKS (01.04.2016 bis 31.03.2019 und 01.08.2015 bis 31.01.2018)	329
3.4.	Fines2EAF (01.07.2017 bis 31.12.2020)	330
3.5.	ECOSLAG (01.06.2018 bis 30.11.2021)	330
4.	Schlussfolgerungen, Potentiale und Grenzen.....	331
5.	Quellen	332

1. Nachhaltiges Recycling vom Schrott zu marktfähigen Produkten

Die Summe aller Elektrostahlwerke Deutschlands mit insgesamt mehr als 20 Elektrolichtbogenöfen haben in den vergangenen Jahren zusammen immer über 15 Millionen Tonnen Stahlschrott pro Jahr recycelt und damit über 11 Millionen Tonnen Rohstahl [19] und etwa 2 Millionen Tonnen Elektroofenschlacke pro Jahr [9] produziert. Dabei rangiert die Lech-Stahlwerke GmbH (LSW) in Meitingen im Ranking der Standorte je nach Bezugsjahr auf Platz zwei oder drei der Elektrostahlwerke in Deutschland in Bezug auf die Rohstahlproduktionsmenge. Darüber hinaus kommen über 10 % der produzierten Elektroofenschlacke Deutschlands, also mehr als 200.000 Tonnen pro Jahr, aus Meitingen. In Bezug auf die Forschung und Entwicklung zur Produktion, Qualität und nachhaltigen Nutzung der Elektroofenschlacke nimmt die Max-Aicher-Unternehmensgruppe allerdings – mit einer eigenen Forschungsabteilung speziell für diesen Bereich – eine Sonderstellung im Vergleich der Elektrostahlwerke ein und dies in ganz enger Kooperation mit dem Stahlwerk und der Umweltabteilung der LSW.

Dies ist alleine den speziellen Randbedingungen für die Nutzung bzw. den Einschränkungen einer nachhaltigen Nutzung der Nebenprodukte der Stahlproduktion in Bayern geschuldet, die im Vergleich zu den anderen Bundesländern besonders ungünstig sind. So darf Elektroofenschlacke nicht in den gleichen hochwertigen Anwendungen eingesetzt werden, wie dies in anderen Bundesländern ganz selbstverständlich ist. Die bayerischen Behörden- und Politikvertreter präferieren eine Deponierung dieser hochwertigen sekundären Baustoffe anstelle einer nachhaltigen Nutzung [3].

Deswegen ist es ein besonderes Anliegen der Max Aicher Unternehmensgruppe, auch bei Forschung und Entwicklung im Bereich der Nebenprodukte der Elektrostahlproduktion eine Vorreiterrolle einzunehmen. Ein Zeichen dieser Bemühungen, die Elektroofenschlacke auch in Bayern *salonfähig* zu machen, ist, dass die Max Aicher Umwelt GmbH (MAU) die nwg-Einstufung (Nicht-Wasser-Gefährdung) dieses Materials für ganz Deutschland im *Rigoletto* [17] am 24. August 2015 erreicht hat und die beiden Schlackentypen aus der Stahlherstellung (Elektroofen- und Pflannenofen-Schlacke) seit dem 10. August 2017 unter Kennnummer 9147 und 9148 auch im Bundesanzeiger [4] veröffentlicht sind.

Ausdruck des wissenschaftlichen Engagements ist die Teilnahme der Forschungs- und Entwicklungsabteilung an europäischen und nationalen Forschungsprojekten im Rahmen von RFCS-, FFG-, BMBF-, BMWi-, AiF-, DBU-, BFS- und INNO-KOM-Ostgeförderten Vorhaben. Diese Forschungsvorhaben werden mit folgenden speziellen Akronymen bezeichnet, z.B. PROEOS, ERDEOS, ERDSEKS, MiLeSlag, Fines2EAF oder ECOSLAG.

PROEOS [14] ist inzwischen sogar eine europäisch geschützte Marke sowie Sinnbild für die Aktivität des Schlackenaufbereiters und -vermarkters gemeinsam mit dem Stahlwerk, die nachhaltige Nutzung von Nebenprodukten aus dem Elektrostahlherstellungsprozess voranzutreiben.

Meitingen hat für den Bereich der Schlackennutzung nicht nur eine eigene, unabhängige Forschungs- und Entwicklungsabteilung mit international anerkannten Fachingenieuren und Technikern, sondern darüber hinaus steht für die Forschungsarbeit ein eigenes Laboratorium zur Verfügung; aber noch wichtiger ist der direkte Zugriff zur Produktion der Elektroofenschlacke im Stahlwerk. So kann jederzeit in der gesamten Produktionskette der Schlacke

- Einsatzstoffe im metallurgischen Aggregat,
- Metallurgie im Elektrolichtbogenofen,
- Konditionierung bei Abstich,
- Erstarrung im Schlackenbeet und
- physikalische Aufbereitung

ein positiver Einfluss auf die Qualität der Elektroofenschlacke (ELOMINIT), genommen werden, um für jede Anwendung die spezifischen Produkteigenschaften gezielt einstellen zu können.

Die MAU forscht im Zeichen der Nachhaltigkeit und des Ressourcenschutzes und gewährleistet damit auch in Zukunft einen behutsamen Umgang mit natürlichen Ressourcen sowie die umweltverträgliche Nutzung des Baustoffs Elektroofenschlacke, wenn die Behörden und die Politik es zulassen.

2. Grenzen der Nutzung von Stahlwerksschlacken

Die Einhaltung von in verschiedenen Regelwerken festgelegten Parametern ist für den Einsatz der Schlacken im Bauwesen ausschlaggebend. Seit Langem erfüllen Elektroofenschlacken (auch in Bayern) die Grenzwerte der aktuell bundesweit gültigen (15 von 16 Bundesländern) Regelwerke, wie der TL Gestein-StB [10], und stellen im Sinne der Ressourceneffizienz *eigentlich* eine nachhaltige Alternative zu Naturmaterialien dar.

Warum *eigentlich*? Weil in Bayern die bundesweit gültigen Regelwerke nicht gelten, sondern beispielsweise für die Untersuchung nach DepV [18] ergänzende Parameter gefordert werden bzw. noch gravierender die umweltfachlichen Kriterien (UfK) [2] angewandt werden sollen, die aber nicht wie bundeseinheitlich drei Qualitätsklassen für die Elektroofenschlacke definieren, sondern nur eine und zwar – im Vergleich zur bundeseinheitlichen Regelung – die schlechteste Qualitätsklasse Z 2 bzw. SWS-3. Dies ist erstens ein Ausschluss der Elektroofenschlacke von hochwertigen Anwendungen und zweitens wird das Stahlwerk und der Schlackenproduzent nicht dafür belohnt, wenn eine *erstklassige* Schlacke hergestellt wird, aber genau dies verhindert die Politik in Bayern, ein Straßenbaustoff gehört nicht auf die Deponie.

Durch die vorgesehene Einführung eines neuen Regelwerks, der Ersatzbaustoffverordnung (EBV) [5], kann nicht mehr auf die jahrzehntelang gesammelten Erfahrungen der deutschen Stahlindustrie zurückgegriffen werden, da dieses Regelwerk einmal eine Änderung des Elutionsverfahrens vorsieht und gleichzeitig die Parameterliste im Vergleich zur heutigen TL-Gestein-StB 04 [10] entscheidend erweitert sowie geänderte Grenzwerte für eine Nutzung von Nebenprodukten als Baustoffe festschreibt.

Es existiert wenig Literatur, die sich auf einflussnehmende Parameter der Elution bei den neuen nach der EBV vorgeschriebenen Elutionsverfahren bezieht. Es gibt jedoch die Möglichkeit, bekannte Mechanismen zu adaptieren, wie beispielsweise unterschiedliche Abkühlungsmethoden [11, 16] oder Konditionierungsmaßnahmen [7, 15] Einfluss auf die Qualität der Elektroofenschlacke nehmen. Der Autor hat zwar u.a. für die reduzierten Elektroofenschlacken der Edelstahlherstellung ein metallurgisches Verfahren entwickelt, die schmelzflüssigen Schlacken zu konditionieren [12], diese Behandlung ist zur verbesserten Chromeinbindung entwickelt worden, lässt sich aber nicht auf die oxidierten Elektroofenschlacken aus der Beton-, Bau- und Qualitätsstahlerzeugung adaptieren.

Der aktuelle Entwurf der EBV sieht vor, dass die sekundären Baustoffe nur dann als Nebenprodukt eingestuft werden können, wenn sie die Anforderungen der höchsten Qualitätsklasse erfüllen. Dies ist bei den Stahlwerksschlacken für den Typ SWS-1 der Fall. Voruntersuchungen für verschiedene Stahlwerke haben gezeigt,

dass Elektroofenschlacken die Klassifizierung als Typ SWS-1 unter den neuen gesetzlichen Rahmenbedingungen nicht immer sicher erreichen können. Daher müssen Möglichkeiten erforscht werden, damit die Elektroofenschlacken auch in Zukunft mindestens auf dem heutigen Niveau und in Bayern dann endlich auch auf bundesweitem Niveau vermarktet werden können.

Ziel der gegenwärtigen Untersuchungen in Meitingen innerhalb von internen Projekten sowie auch national und international geförderten Forschungsvorhaben in Kooperation mit unterschiedlichen Forschungspartnern ist es daher, durch weitere Verbesserung des in Bayern immer noch verkannten und in Deutschland anerkannten Produktes Elektroofenschlacke eine gesteigerte nachhaltige Nutzung zu erreichen, damit zukünftige gesetzliche Auflagen (EBV) erfüllt werden und dieser Baustoff auch als Produkt eingesetzt werden kann. Anderenfalls würde durch die erforderliche Deponierung ein Bruch in der Kreislaufwirtschaft entstehen, sofern diese Deponierung aufgrund fehlender Deponiekapazitäten überhaupt möglich wäre. Hierzu gehört aber auch endlich, dass das Bundes-Kreislaufwirtschaftsgesetz zwingend vorgibt, dass industrielle Nebenprodukte und Recyclingbaustoffe bevorzugt zu Naturgestein verwendet werden müssen, zwei Bundesländer haben dies kürzlich in ihren Landes-Kreislaufwirtschaftsgesetzen vorgemacht, hoffentlich nimmt der Bund sich schnellstmöglich ein Beispiel daran.

3. Potentiale für den Einsatz von Elektroofenschlacken

Nachfolgend werden einige aktuelle Beispiele für öffentlich geförderte Forschungsvorhaben unter Beteiligung der Forschungs- und Entwicklungsabteilung der MAU mit Unterstützung des Stahlwerks und der Umweltabteilung der LSW kurz vorgestellt:

3.1. PROEOS I (01.09.2015 bis 31.08.2017) und PROEOS II (01.04.2019 bis 31.03.2021)

Aus dem werksinternen Projekt zum Status quo der Elektroofenschlackenqualität in Meitingen aus dem Jahr 2011 mit dem Akronym PROEOS (**P**rodukt **E**lektro**o**fenschlacke) entwickelte sich im Laufe der letzten acht Jahre das zwischenzeitlich auch durch die AiF geförderte Forschungsvorhaben PROEOS I [1] und jüngst auch das Nachfolgeprojekt PROEOS II. Zum Abschluss des Nachfolgeforschungsvorhabens feiert PROEOS sogar sein zehnjähriges Jubiläum, dies zeigt zum einen die Kontinuität der Schlackenforschung in Deutschland, aber zum anderen auch den scheinbar unendlichen Kampf gegen die Windmühlen der Politik, Behörden und Schlackenskeptiker. Die innerhalb PROEOS weiterentwickelte Elektroofenschlacke aus Meitingen wird inzwischen unter den rechtlich geschützten Warennamen ELOMINIT, ELOBASALT und ELOGRANIT vermarktet.

Neben einer Vielzahl an Ergebnissen zur Charakterisierung der Elektroofenschlacke im Rahmen von PROEOS (Bild 1) wurden auch Behandlungsmaßnahmen an der schmelzflüssigen Schlacke sowie Maßnahmen in der Aufbereitung und Nachbehandlung der erstarrten Elektroofenschlacke entwickelt und teilweise schon in die Betriebspraxis des Stahlwerks überführt.

Als Beispiele für diese bereits umgesetzten Entwicklungen seien an dieser Stelle nur zwei Maßnahmen kurz erwähnt: erstens die Konditionierung der schmelzflüssigen Schlacke direkt beim Abstich aus dem Elektrolichtbogenofen und zweitens das *Schlackenwaschen* sowie die Konditionierung des Betriebswassers auf der Schlackenaufbereitungsanlage.



Bild 1: Probennahme direkt im Schlackenbeet im Rahmen der Charakterisierung der Elektroofenschlacke nach Optimierungsmaßnahmen

Schon vor über 20 Jahren wurde von der FEhS im Auftrag der heutigen thyssenkrupp Steel Europe AG in Duisburg ein Verfahren zur Konditionierung der dortigen LD-Schlacke entwickelt und auch in der Betriebspraxis realisiert, die sogenannte *Sand- und-Sauerstoff-Behandlung* (Erst-Inbetriebnahme der Behandlungsanlage in Duisburg war der 24.01.1994). Das so behandelte Material wird heute von der tkMSS unter dem Warennamen LiDonit insbesondere als Gesteinskörnung für den Asphalt vermarktet. Aufgabe der Konditionierung der schmelzflüssigen Schlacke ist es, eine Veränderung der chemischen und damit auch der mineralischen Zusammensetzung zu erreichen und damit die – in diesem Fall physikalischen – Eigenschaften der Schlacke zu verbessern, indem insbesondere der Freikalk der LD-Schlacke aufgelöst wird und sich neue Mineralphasen bilden [6, 8].

Genau die Bildung neuer Mineralphasen – diesmal aber für die Elektroofenschlacke – war auch das Ziel der Forschung und Entwicklung innerhalb von PROEOS. Am Ende der umfänglichen Untersuchungen konnte nachgewiesen werden, dass sich die etwa 10 % Zugabe von tonerdehaltigem Quarzsand zur schmelzflüssigen Schlacke beim Abstich auch ohne den zusätzlichen Einsatz von Sauerstoff zu 100 % auflöst und sich damit nicht nur die einfache CaO/SiO_2 -Basizität deutlich verringert, sondern sich auch neue Mineralphasen bilden, die dafür verantwortlich sind, dass bestimmte Bestandteile der Schlacke nach Erstarrung fest eingebunden werden und damit nicht mehr

wasserlöslich sind. Damit kann bezüglich der Auslaugung nicht nur die von den UfK geforderte Qualitätsklasse Z 2 (SWS-3), sondern darüber hinaus auch Z 1.2 (SWS-2) und *teilweise* sogar Z 1.1 (SWS-1) eingehalten werden. Warum *teilweise*? Weil es sich durch die Restriktion der UfK nicht lohnt noch mehr zu investieren, da die Elektroofenschlacke in Bayern sowieso nur als Z 2 eingestuft wird, dies ist in Bayern die Perversion des Regelwerks und verhindert nicht nur die best-case Produktoptimierung, sondern auch massiv die Kreislaufwirtschaft, da die Qualität Z 2 ein indirekter Ausschluss von hochwertigen Baumaßnahmen – z.B. im Straßenbau – ist.

Nach Optimierung und Erstarrung der schmelzflüssigen Schlacke wird das Material in einem Vormateriallager künstlich bewittert – auch Auflage der Behörden zur Einbindung von möglichem Staub – und danach zu Produktkörnungen aufbereitet. Das Betriebswasser, das an verschiedenen Stellen der Aufbereitungsanlage in Kontakt mit der Roh- und Produktschlacke kommt, wird komplett im Kreislauf geführt und reichert sich insbesondere mit Ca-Ionen an. Dieses *kalkreiche* Betriebswasser führt zu hohen Wartungs- und Reparaturkosten im Wasserkreislauf, sodass das VDEh-Betriebsforschungsinstitut in Düsseldorf beauftragt wurde, Gegenmaßnahmen zu entwickeln. Nach unzähligen Labor-, Technikums- und Betriebsversuchen auf der Schlackenaufbereitungsanlage wird die Konditionierung des Betriebswassers Mitte 2019 in die Betriebspraxis überführt. Kernstück dieser Betriebswasserkonditionierung ist die Adsorption mit einem granulierten Eisenhydroxid (GEH). Der Vorteil dieser Methode ist neben der Betriebssicherheit und den geringen Betriebskosten der Wiedereinsatz des verbrauchten Adsorptionsmaterials als Eisen- und Legierungsmittelquelle im Elektrolichtbogenofen.

3.2. MiLeSlag (01.03.2016 bis 28.02.2019)

Um die Mechanismen zu verstehen, wie und warum z.B. eine Konditionierung einer schmelzflüssigen Elektroofenschlacke und damit eine Veränderung der chemischen Zusammensetzung und des Mineralbestandes zu besseren physikalischen Eigenschaften und einer verbesserten Umweltverträglichkeit führt, war die MAU auch Projektpartner in dem von der Österreichischen Forschungsförderungsgesellschaft mbH (FFG) im Rahmen des Bridge-Programms geförderten Projekts *Mineralogy and Leachability of Steel Slags*. Ziel des Projektes MiLeSlag war es, den Zusammenhang zwischen der Mineralogie und dem Auslaugverhalten von Stahlwerksschlacken und hier insbesondere von Elektroofenschlacken zu verstehen und Grundlagen für eine Optimierung des Auslaugverhaltens zu erarbeiten. Dazu wurden zunächst die chemische Zusammensetzung, die Mineralogie und das Auslaugverhalten der Elektroofenschlacke aus Bayern und im Vergleich dazu einer österreichischen Elektroofenschlacke untersucht. Die Auswertung der Ergebnisse fand mit statistischen Methoden im Hinblick auf Korrelationen statt, um diese durch physikalisch-chemische Modellierungen auf Kausalität zu überprüfen. Ebenso wurden bei der Erklärung der mineralischen Eigenschaften die metallurgischen Randbedingungen mit einbezogen, sodass ein fundiertes Modell erstellt werden konnte, welches das Auslaugverhalten von Elektroofenschlacken über die Mineralogie auf die metallurgischen Ursachen zurückführen lässt. Danach wurden

die gewonnenen Erkenntnisse eingesetzt, um Labor- und Technikumsversuche zur Optimierung des Auslaugverhaltens durch eine pyrometallurgische Behandlung der schmelzflüssigen Elektroofenschlacke zu simulieren, die langfristig eine höherwertige und breite Nutzung der Elektroofenschlacke als qualifizierter Baustoff ermöglicht.

3.3. ERDEOS und ERDSEKS

(01.04.2016 bis 31.03.2019 und 01.08.2015 bis 31.01.2018)

Die Notwendigkeit der Forschungsarbeiten im Rahmen der beiden Projekte *Nachhaltige Baustoffverwendung im Erdbau – Einsatz von Eisenhüttenschlacken bei Erdbauwerken mit technischen Sicherungsmaßnahmen (MTSE)* und *Substitution von natürlichen mineralischen Baustoffen durch Ersatzbaustoffe im Erd- und Tiefbau*, gefördert u.a. durch die Bayerische Forschungsförderung (BFS) unter Projektkoordination des Lehrstuhls und Prüfamtes für Grundbau, Bodentechnik, Felsmechanik und Tunnelbau der TU München ergibt sich aus dem nach wie vor herrschenden Widerspruch zwischen den Zielen der Politik – geschlossene Kreislaufwirtschaft und nachhaltige, möglichst hochwertige Materialverwendung – und der aktuellen Gesetzeslage – Pflicht zur ordnungsgemäßen und schadlosen Verwertung mit Vorrang der Verwertung gegenüber der Beseitigung – gegenüber dem derzeitigen Verfahren in der Praxis – Verfüllung und Deponierung von mineralischen Ersatzbaustoffen (MEB) anstatt hochwertiger Wiederverwertung. Dies gilt gleichermaßen für RC-Baustoffe und Stahlwerksschlacken. Die Gründe für den mangelnden Einsatz und die geringe Akzeptanz gegenüber MEBs liegen dabei vornehmlich in mangelnder Erfahrung beim Umgang mit mineralischen Ersatzbaustoffen und in Vorbehalten gegenüber ihrer bau- und umwelttechnischen Gleichwertigkeit zu natürlichen Baustoffen. Großen Einfluss auf den zögerlichen Einsatz von MEBs hat auch das komplexe und bundesweit uneinheitliche Regelwerk im Hinblick auf die Zulässigkeit aus umweltfachlicher Sicht. Das Forschungsvorhaben ERDEOS war in drei Arbeitsphasen aufgeteilt, deren Bearbeitung teilweise parallel erfolgt:

In der ersten Arbeitsphase wurden an relevanten MEBs Versuche zur erdbautechnischen Klassifizierung sowie zu weiteren erdbautechnisch relevanten Eigenschaften im Labor durchgeführt. Letztere umfassten insbesondere Versuche zur Scherfestigkeit und zum Kompressionsverhalten – Eigenschaften, die vor allem im Hinblick auf die Standsicherheit und die Gebrauchstauglichkeit eines Erdbauwerks von großer Relevanz sind.

Die zweite Arbeitsphase befasste sich mit der Entwicklung innovativer Einsatzmöglichkeiten von RC-Baustoffen und Elektroofenschlacke sowie den Möglichkeiten einer optimierten Aufbereitung von Materialien definierter technischer und stofflicher Beschaffenheit.

In der dritten Arbeitsphase wurden zur Schaffung von positiven Referenzen Praxis- und Demonstrationstestfelder, bei denen unterschiedliche RC-Baustoffe und zwei Produktkörnungen aus der Elektroofenschlacke aus Meitingen zum Einsatz kamen, messtechnisch und wissenschaftlich begleitet. Das Ziel dieser Untersuchungen im Großmaßstab lag zum einen darin, die erdbautechnischen Eigenschaften bei großtechnischer Verdichtung – vibrierend und oszillierend mit Hamm-Walzen – aufzuzeigen, und zum anderen, die Übertragbarkeit der Verdichtungsanforderungen und Prüfver-

fahren des erdbautechnischen Regelwerks für natürliche Böden auf RC-Baustoffe und Elektroofenschlacken zu überprüfen. Die Ergebnisse der beiden Testfelder (jeweils 50 m x 10 m) innerhalb der Feldversuche im Juli 2017 mit den Körnungen 0/4 und 0/32 mm der Elektroofenschlacke, im Vergleich zu unterschiedlichen RC-Materialien ergab für die verschiedenen untersuchten Parameter mindestens eine Gleichwertigkeit und oft auch bessere Eigenschaften der Elektroofenschlacke gegenüber den RC-Materialien.

3.4. Fines2EAF (01.07.2017 bis 31.12.2020)

In dem europäischen RFCS-Projekt (research fund for coal and steel) *Cement-free brick production technology for the use of primary and secondary raw material fines in EAF steelmaking* unter Projektkoordination des IOB-Departments for Industrial Furnaces and Heat Engineering der RWTH Aachen mit weiteren Partnern aus Deutschland, Österreich, Spanien, Italien und Finnland beweist der Standort Meitingen in Bayern, dass sich Nachhaltigkeit in Meitingen nicht nur auf die Nutzung der Elektroofenschlacke beschränkt, sondern der ganze Wertstoffkreislauf eines Stahlwerkes geschlossen werden soll. Insbesondere mehlfine und feinkörnige Reststoffe müssen heute noch vielfach aufgrund ihrer Korngröße extern entsorgt werden, anstatt intern recycelt werden zu können, obwohl noch wertvolle Inhaltsstoffe vorhanden sind. Im Forschungsprojekt Fines2EAF wurden geeignete (Inhaltsstoffe, Korngrößenverteilung und Aufschmelzverhalten) Reststoffe aus drei europäischen Elektrostahlwerken identifiziert und Rezepturen für die zementfreie Agglomeration entwickelt. Anschließend sollen in Betriebskampagnen genügend große Mengen Reststoffsteine hergestellt und nachfolgend in den drei europäischen Elektrostahlwerken jeweils die Reststoffsteine aus den internen Quellen im Elektrolichtbogenofen wiedereingesetzt werden. In Meitingen konzentrieren sich die Versuchskampagnen im metallurgischen Aggregat auf die Substitution von natürlichen Schlackenbildnern durch CaO- und MgO-haltige Hüttenreststoffe.

3.5. ECOSLAG (01.06.2018 bis 30.11.2021)

Im Rahmen des RFCS-Projekts *Eco-friendly steelmaking slag solidification with energy recovery to produce a high quality slag product for a sustainable recycling*, gefördert durch die Europäische Kommission unter der Projektkoordination der Abteilung SEKROHMET des FEhS-Instituts mit weiteren Projektpartnern aus Deutschland, Spanien, Italien, Schweden und Finnland, wird ein anderer Aspekt der nachhaltigen Elektrostahlproduktion betrachtet: die Einsparung von Energie. In den letzten Jahrzehnten sind weltweit sehr viele Forschungsaktivitäten unternommen worden, um bei der Erstarrung von Eisenhütten Schlacken eine Wärmerückgewinnung zu integrieren. Bis heute gibt es aber weltweit kein kontinuierlich betrieblich eingesetztes Verfahren, das zuverlässig Energie während der Erstarrung von Schlacken zurückgewinnt. Die Gründe sind mannigfach [13]. Das Projekt ECOSLAG beschreitet hierzu nun einen ganz neuen Ansatz, der Wärmeinhalt der noch heißen sekundärmetallurgischen Schlacke und des Reststahls soll beim Wiedereinsatz im Elektrolichtbogenofen direkt genutzt werden und nicht – wie bisher immer untersucht – in Abwärme oder einen anderen Energieträger umgewandelt werden, denn dies ist immer auch mit Temperatur- und Energieverlusten verbunden.

Zusätzlich zu den beschriebenen Forschungsvorhaben ist die Forschungs- und Entwicklungsabteilung der MAU gemeinsam mit dem Stahlwerk in Meitingen in einigen anderen bilateralen oder Multi-Partnern-Forschungsprojekten mit u.a. den Akronymen (in alphabetischer Reihenfolge) AskEOS, ChromEOS, DepGPS, EOS2Beet, Fines2SAF, KreisH2O, MOLY, POS2DüMi, RAZ und WIPHEOS aktiv. So wurde beispielsweise innerhalb des Inno-KOM-Ost-Projektes STRAHLEOS *Wirkung von salzigen Strahlmittelrückständen im Korrosionsschutz* im Rahmen des Kompetenznetzwerkes Strahlmittel unter Projektkoordination des Instituts für Korrosionsschutz Dresden GmbH die Eignung von Eisenhüttenschlacken als Strahlmittel nachgewiesen, unter anderem auch für die Elektroofenschlacken aus Meitingen. Alle diese Projekte – teilweise mit Schnittmengen untereinander – verfolgen das Ziel, die Stahlproduktion und die Schlacken- und Reststoffverwertung am Standort Meitingen und darüber hinaus auch an anderen Standorten in Europa ökonomisch und ökologisch nachhaltig zu gestalten, um die eigene Stahlproduktion und damit auch den Standort und die Arbeitsplätze im internationalen Wettbewerb sicher zu gewährleisten.

4. Schlussfolgerungen, Potentiale und Grenzen

Die Nutzung der nun seit Jahrzehnten deutschlandweit in vielen Anwendungen etablierten Produkte aus Elektroofenschlacke ist in Bayern durch ungeeignete Regelwerke eingeschränkt. Erschwerend kommt in Bayern noch dazu, dass vonseiten der Politik eine Deponierung der Elektroofenschlacke der nachhaltigen Nutzung vorgezogen wird – trotz Eignungsnachweis bezüglich der Umweltverträglichkeit. Dies ist weder im Sinne der Nachhaltigkeit noch im Sinne der Ressourcenschonung. Die Schlacke wird in Bayern diskriminiert, der Vertrieb von regionalen Produkten wird inzwischen in allen Bereichen von der Gesellschaft gefordert und gerne gesehen, nur die Nutzung von Elektroofenschlacke ist in Bayern regional verpönt.

Im vorstehenden Beitrag wurden unterschiedliche Forschungsprojekte u.a. zur weiteren Verbesserung der Qualität der Elektroofenschlacken vorgestellt. Sie zeigen deutlich die intensive Auseinandersetzung und Anstrengung, auch weiterhin Schlackenprodukte anbieten zu können, die den steigenden Anforderungen an ihre Umweltverträglichkeit im Sinne einer Kreislaufwirtschaft Rechnung tragen – sofern Politik und Behörden dies grundsätzlich überhaupt zulassen.

Die hohen Aufwendungen, die die hier geschilderten Maßnahmen mit sich bringen, können vom Produkt Elektroofenschlacke allein nicht geschultert werden, da sich die Elektroofenschlacke stets im Wettbewerb mit anderen mineralischen Produkten bzw. Baustoffen anthropogener oder natürlicher Herkunft befindet. Die Umwälzung dieser Kosten auf das Produkt Stahl führt jedoch, neben beispielsweise Emissionshandel und EEG-Auflagen, zu einer weiteren Verschärfung der Wettbewerbssituation in Deutschland ansässiger Elektrostahlerzeuger gegenüber der europäischen und weltweiten Konkurrenz und erschwert damit das Bestehen im internationalen Wettbewerb. Eine weitere Verschärfung der Gesetzes- und Verordnungslage kann daher zu einer Standortfrage für die deutschen Elektrostahlwerke werden.

Dem Anspruch der Forschung und Entwicklung, die nachhaltige Nutzung der Elektroofenschlacke auf einem hohen Niveau zu halten bzw. in Bayern zu etablieren, steht leider die Realität gegenüber. Realität ist, dass z.B. Bauherren bzw. Bauausführende durch die Politik und Behörden so verschreckt werden, dass de facto keine Gleichstellung zwischen der Elektroofenschlacke in Bayern auf der einen und den Elektroofenschlacken in den restlichen 15 Bundesländern auf der anderen Seite und fernerhin zwischen den Elektroofenschlacken im Allgemeinen und den primären Baustoffen besteht.

Dies ist nicht im Sinne einer föderalen Gleichberechtigung und insbesondere nicht im Sinne der Kreislaufwirtschaft. So können Nachhaltigkeit und Ressourcenschonung durch Nutzung von Sekundärrohstoffen nicht gelebt werden, obwohl die deutsche Stahlindustrie die Voraussetzungen dafür schon lange geschaffen hat.

Wann werden die Grenzen abgebaut und die Schlacke kann endlich ihr Potential zeigen?

5. Quellen

- [1] AiF-Forschungsvorhaben 18812N. PROEOS – Nachhaltige Produktion, Aufbereitung und Nutzung von Elektroofenschlacken aus dem Stahlherstellungsprozess durch metallurgische Maßnahmen und einen neuartigen, geschlossenen Waschprozess (FEhS, BFI, LSW, MAU).
- [2] Bayerisches Landesamt für Umwelt: Umweltfachliche Kriterien zur Verwertung von Elektroofenschlacke (EOS), Stand März 2013.
- [3] Brief des Staatssekretärs Gerhard Eck, MdL (Bayerisches Staatsministerium des Innern, für Bau und Verkehr) an den Landrat des Landkreises Augsburg, Martin Sailer vom 20. Januar 2014 (München IID9-43437-002/13): Einsatzmöglichkeiten von Elektroofenschlacke (EOS) im Straßenbau
- [4] Bundesministerium der Justiz und für Verbraucherschutz (Hrg.): Bundesanzeiger, veröffentlicht am Donnerstag den 10. August 2017. BAnz AT 10.08.2017 B5 Seite 144 von 156. Online: www.bundesanzeiger.de.
- [5] Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit Artikel 2 der 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 BundesBodenschutz- und Altlastenverordnung (Ersatzbaustoffverordnung), 3. Arbeitsentwurf, Stand: 23.07.2015
- [6] Dohlen, M. (2016). LiDonit – Erfahrungen aus drei Jahrzehnten vom Straßenbau bis zur Kunst, Schlacken-Symposium 2016: Kreislaufwirtschaft stabil weiterentwickeln, Freilassing Oktober 2016, S. 29-40
- [7] Drissen, P.; Kühn, M.: Verbesserung der Eigenschaften von Stahlwerksschlacken durch die Behandlung flüssiger Schlacken; Schriftenreihe des Forschungsinstituts, Heft 6, 2000, S. 287-302.
- [8] Drissen, P.; Kühn, M.; Schrey, H.: Successful Treatment of Liquid Steel Slag at Thyssen Krupp Steel Works to Solve the Problem of Volume Stability. In: Proceedings of the 3rd European Oxygen Steelmaking Conference, Birmingham, UK, 30.10.-01.11.2000.
- [9] Fachverband Eisenhüttenschlacken e.V., Statistische Erhebungen
- [10] Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen: Technische Lieferbedingungen für Gesteinskörnungen im Straßenbau (TL Gestein-StB) Edition 2004/Version 2007
- [11] Gelfi, M.; Cornacchia, G.; Roberti, R.: Investigations on leaching behavior of EAF steel slags, EuroSlag, Madrid, 2010.

- [12] Mudersbach, D.: Verbesserung der Eigenschaften von Elektroofenschlacken aus der Herstellung von nichtrostenden Stählen zur Nutzung dieser Schlacken im Verkehrsbau. In: Schriftenreihe des FEHS-Instituts für Baustoff-Forschung, Heft 11
- [13] Mudersbach, D.; Motz, H.: Wärmerückgewinnung aus Stahlwerksschlacken. In: Schlacken aus der Metallurgie, Band 3, Chancen für Wirtschaft und Umwelt, Oktober 2014, S. 149-165.
- [14] M151032EM, Marke in der Europäischen Union, Eintragungs-Nr. 014 431 688, Wortmarke PROEOS – Klasse 19, 42 -. Anmelderin: RA Dr. Albrecht Rau (für Max Aicher GmbH & Co. KG), eingetragen am 20/05/2016, Amt der Europäischen Union für geistiges Eigentum, www.euipo.europa.eu
- [15] Schüler, S.; Algermissen, D.; Markus, H.-P.; Mudersbach, D.: Einfluss der Metallurgie auf die Umweltverträglichkeit von Elektroofenschlacke. In: Schlacken aus der Metallurgie, Band 3, 2014, S. 109-125.
- [16] Tossavainen, M. et al.: Characteristics of steel slag under different cooling conditions, Waste Management, Vol. 27, Nr. 10, 2007, S. 1335-1344.
- [17] Umweltbundesamt, Rigoletto, online: <https://webrigoletto.uba.de/rigoletto/public/welcome.do>
- [18] Verordnung über Deponien und Langzeitlager (Deponieverordnung – DepV) vom 27. April 2009 (BGBl. I S. 900).
- [19] Wirtschaftsvereinigung Stahl, online: <http://www.stahl-online.de/index.php/statistiken/2/> mit Stand: Februar 2016 (Bedeutendste Standorte_2016_dt).

Ansprechpartner



Susanne Schüler, B. Eng.
Max Aicher Umwelt GmbH
Leiter Produktentwicklung
Forschung und Entwicklung
Industriestraße 1
86405 Meitingen, Deutschland
+49 8271 4263016
s.schueler@max-aicher.de



Dr.-Ing. Dirk Mudersbach
Max Aicher GmbH & Co. KG
Max Aicher Umwelt GmbH
Geschäftsführer
Industriestraße 1
86405 Meitingen, Deutschland
+49 8271 4263015
d.mudersbach@max-aicher.de

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.dnb.de> abrufbar

Stephanie Thiel, Elisabeth Thomé-Kozmiensky,
Thomas Pretz, Dieter Georg Senk, Hermann Wotruba (Hrsg.):

Mineralische Nebenprodukte und Abfälle 6
– Aschen, Schlacken, Stäube und Baurestmassen –

ISBN 978-3-944310-47-3 Thomé-Kozmiensky Verlag GmbH

Copyright: Elisabeth Thomé-Kozmiensky, M.Sc., Dr.-Ing. Stephanie Thiel
Alle Rechte vorbehalten

Verlag: Thomé-Kozmiensky Verlag GmbH • Neuruppin 2019
Redaktion und Lektorat: Dr.-Ing. Stephanie Thiel, Dr.-Ing. Olaf Holm,
Elisabeth Thomé-Kozmiensky, M.Sc.
Erfassung und Layout: Elisabeth Thomé-Kozmiensky, Claudia Naumann-Deppe, Sarah Pietsch,
Janin Burbott-Seidel, Ginette Teske, Roland Richter,
Cordula Müller, Gabi Spiegel
Druck: Universal Medien GmbH, München

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

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

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