

# Projekt MissingLink

Symbiose zwischen der Kunststoff- und der Stahlindustrie zur Optimierung des Kunststoffrecyclings

**AUTOREN:** Johannes Rieger, K1-MET, Bernhard Baumberger, Walter Kunststoffe, Hannes Meier, M2 Consulting, Uwe Bornmann, TenCate Geosynthetics Austria, Mattäus Diermayr, DiKatech, Nina Kieberger, voestalpine Stahl, Thomas Bürgler, K1-MET und voestalpine Stahl. [www.k1-met.com](http://www.k1-met.com)

**DARUM GEHT'S:** Beim post-consumer-Recyclingprozess von Kunststoffen entsteht oftmals eine mit Thermoplasten angereicherte Fraktion mit einer hohen Restfeuchte (durchschnittlich ca. 10 %). Im Projekt „MissingLink“ soll die Restfeuchte kostenschonend reduziert und anschließend eine stoffliche Verwertung ermöglicht werden, wobei granuliert Hochofenschlacke als spezieller Zuschlag-/Füllstoff eingesetzt wird.

**K**reislaufwirtschaft, d.h., ein möglichst vollständiges Schließen von Stoffkreisläufen ist eine der wichtigsten Säulen zur Erreichung nachhaltiger und klimaschonender produzierender Industrien. Im Fall der Stahlindustrie stellen feste und flüssige Nebenprodukte aus den Prozessen zur Eisen- und Stahlerzeugung wertvolle Sekundärressourcen mit teils beträchtlichen Anteilen an metallischen, aber auch mineralischen Bestandteilen dar. Die Symbiose zwischen der Kunststoff- und der Stahlindustrie ist ein Paradebeispiel für

## Mittlere Zusammensetzung von Hochofenschlacke

Calciumoxid und Siliziumdioxid dominieren

Verbindung (Oxid)	Anteil in Gew. %
Calciumoxid CaO	35
Siliziumdioxid SiO <sub>2</sub>	35
Magnesiumoxid MgO	13
Aluminiumoxid Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	12
Eisenoxid FeO	1
Manganoxid MnO	1
Spuren von Natrium-, Kalium-, Titandioxid (Na <sub>2</sub> O, K <sub>2</sub> O, TiO <sub>2</sub> )	Rest

Tabelle 1 [1]

Kreislaufwirtschaft. Seit einigen Jahrzehnten werden beispielsweise aufbereitete Kunststoffabfälle als Ersatzreduktionsmittel im Hochofen zur Roheisenerzeugung eingesetzt und können so fossile Energieträger und Reduktionsmittel wie feinkörnige Einblaskohle oder den Stückkoks teilweise ersetzen [1]. Koordiniert von Walter Kunststoffe GmbH und mit den weiteren Partnern DiKatech GmbH, M2Consulting GmbH, TenCate Geosynthetics Austria Gesellschaft m.b.H., voestalpine Stahl GmbH und K1-MET GmbH soll im aktuellen Projekt „MissingLink“, finanziert durch die österreichische Forschungsförderungsgesellschaft (kurz FFG) Hochofenschlacke als funktioneller Füllstoff für das post-consumer

Kunststoffrecycling genutzt werden. Pro Tonne erzeugtem Roheisen entstehen im Hochofen zwischen 150-350 kg/t Hochofenschlacke (Zusammensetzung siehe Tabelle 1) [1]. Anzumerken ist hier, dass die oxidischen Komponenten in der Hochofenschlacke in den Mineralphasen Melilith und Merwinit und im Hüttensand glasig vorliegen, d.h., im Fall von SiO<sub>2</sub> nicht als Quarz.

## Aktuelle Verwertungswege von Hochofenschlacke

Derzeit wird Hochofenschlacke in der Europäischen Union hauptsächlich zur Zementherstellung sowie zu einem geringeren Teil im Straßenbau eingesetzt, weitere Einsatzgebiete mit minimalem Anteil sind Düngemittel oder Dämmstoffe (siehe Abbildung 1 [2]).

## Erforschung innovativer alternativer Verwertungswege von Hochofenschlacke beim Kunststoffrecycling

Der für eine nachhaltige Kunststoff-Kreislaufwirtschaft bedeutende post-consumer-Recyclingprozess (siehe Abbildung 1) erzeugt einen Abfallstrom von ca. 20 % des Inputs.

Ein Großteil des Kunststoffabfallstroms enthält immer noch einen hohen Anteil an thermoplastischen Kunststoffen (Polyethylen, Polypropylen). Durch den Waschprozess in einer Waschstraße ist der geschredderte Abfallstrom mit einer Wasserbelastung von rund 10 Gew. % behaftet. Für die thermische Verwertung beispielsweise in einer Müllverbrennungsanlage impliziert

## Produktionsmenge und Verwertungswege von Hochofenschlacke in der EU für 2018

Faktisch nur zwei Anwendungsbereiche

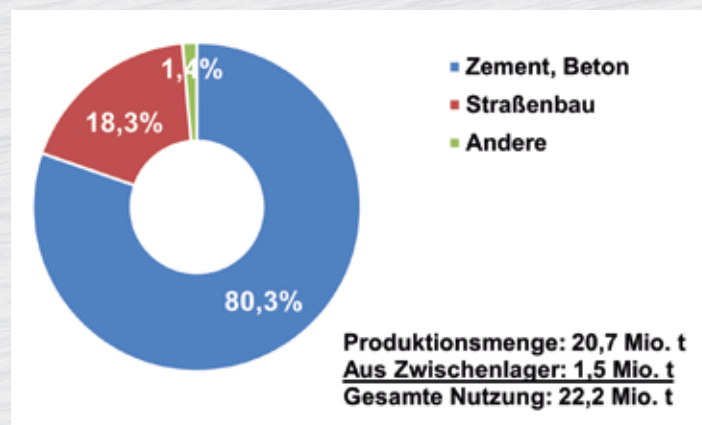
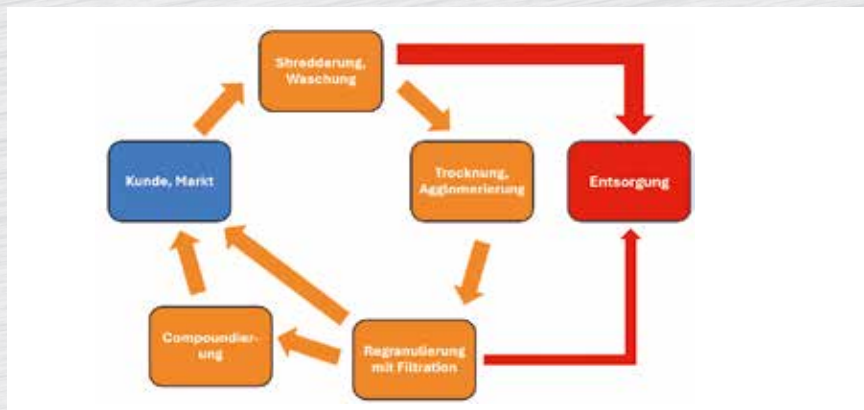


Abbildung 1 [2]

## Aufbereitung und Wiederverwertung von post-consumer Kunststoff

Ein Teil benötigt eine massive Zuzahlung



**Abbildung 2:** Der im gegenständlichen Projekt betrachtete Prozess zur Aufbereitung und Wiederverwertung von post-consumer Kunststoff besteht aus den Stufen Waschstraße, Vortrocknung, Agglomerierung, Regranulierung und abschließender Compoundierung (Verwertung). Dabei wird ein Abfallstrom mit ungefähr 20 Gew.% (bezogen auf den Input) erzeugt, der wegen seiner beträchtlichen Restfeuchte (durchschnittlich ca. 10 Gew.%) zurzeit nur unter massiver Zuzahlung thermisch über eine Verbrennung verwertet werden kann.

Quelle: Walter Kunststoffe GmbH

dies massive Zuzahlungen seitens des Kunststoffaufbereiters.

### Die Lösung: Hydraulische Aktivität von Hochofenschlacke

Das österreichische Förderprojekt „Missing-Link“ soll einen Ansatz erproben, die Restfeuchte durch eine latente Trocknung kostenschonend zu reduzieren und anschließend eine stoffliche Weiterverwendung der Abfallfraktion zu ermöglichen (siehe **Abbildung 2**). Hier kommt die Hochofenschlacke als hydraulisch aktives Reagenz ins Spiel. Bei Durchmischung des feuchten Kunststoffs mit gemahlener Hochofenschlacke nimmt die Schlacke langsam Feuchte aus der Umgebung auf und baut die Wassermoleküle in die Schlackenmatrix ein. Die getrockneten und agglomerierten Kunststoffpellets aus dem Abfallstrom können in unterschiedlichen Anwendungen effizienter wiederverwertet werden. Trockene Pellets lassen sich gut transportieren bzw. fördern und können so in Kunststoffverarbeitungsanlagen genauer dosiert und damit direkt umgeformt oder indirekt über Compounding-Anlagen regranuliert werden (stoffliche Weiterverwendung). Die trockenen Pellets können aber auch im Hochofen als Ersatzreduktionsmittel eingesetzt werden zum partiellen Ersatz von Stückkoks und Einblaskohle.

### Untersuchte physikalische Eigenschaften der verwendeten Hochofenschlackenproben

Im Zuge des Projektes wurden mehrere Proben (u.a. reiner Hüttensand sowie eine

Mischung aus Hüttensand und Talk im Verhältnis 50/50 untersucht) auf relevante physikalische Eigenschaften wie Dichte, Korngrößenverteilung und Schüttguteigenschaften untersucht. Neben Dichte und Korngröße sind Schüttguteigenschaften (Spannungskreis mit Scher- und Schubspan-

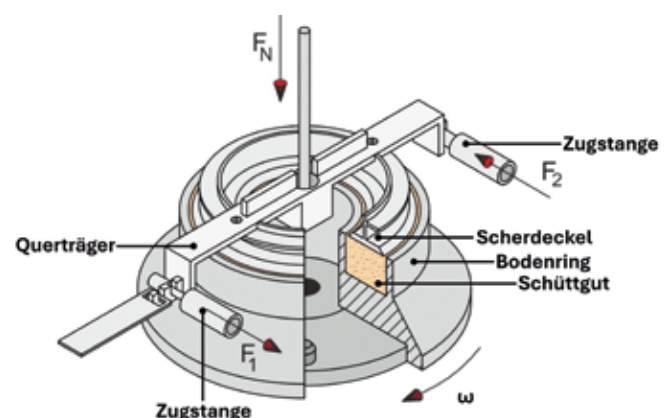
nung, Fließfähigkeit, Wandreibungswinkel) nicht nur wesentlich bei der Auslegung von Silosystemen (Bunker), sondern auch dann, wenn generell eine gewisse Freifließfähigkeit von Vorteil ist, wenn also eine Zeitverfestigung auftreten soll (Agglomeration nach einer bestimmten Zeitspanne infolge von Spannungseinflüssen [3]). Für Hochofenschlacke als Füllstoff in Kunststoffen sollten gewisse Fließigenschaften gelten, um die Wirkung als latent hydraulischer Füllstoff optimal zu nutzen. Im Zuge des Projektes wurden Schüttguteigenschaften von Hochofenschlackenproben mittels einem automatischen Ringschergerät RST-01.pc nach Schulze untersucht [3]. Dieses System kann Schüttgüter im Korngrößenbereich <1mm messen (auch sehr feine Produkte bis in den Mikrometerbereich messbar[4]). **Abbildung 3** zeigt den schematischen Aufbau. Die Schüttgutprobe befindet sich in einer ringförmigen Scherzelle. Über einen ringförmigen Deckel wird eine Normalkraft auf die Probe ausgeübt. Um die Probe zu scheren, dreht sich die Scherzelle relativ zum Deckel. Das dazu notwendige Drehmoment wird gemessen [4]. Aus Normalspannung  $\sigma$  und gemessener Schubspannung  $\tau$  werden die vorhin erwähnten Kenngrößen computerunterstützt ausgewertet. Dies geschieht über den Mohrkreis der Verfestigung ( $\sigma$ - $\tau$ -Diagramm, auch als Fließort bezeichnet), aus dem die Kennwerte ermittelt werden.

### Prinzipskizze eines Ringschergeräts RST-01.pc nach Schulze

Das System kann Schüttgüter im Korngrößenbereich messen

#### Abbildung 3 [4]:

Die Normallast  $N$  (Normal- oder Vertikalspannung), die auf die Schüttgutprobe wirkt, wird rechnergesteuert eingestellt. Dies geschieht über einen Hebelarm, auf dem ein Gewicht von einem Motor verschoben wird. Die Drehung  $\omega$  der Scherzelle ist ebenfalls motorgesteuert. Die Scherbeanspruchung erfolgt über Zugstangen ( $F_1$ ,  $F_2$ ). Mit einem Wegaufnehmer wird die Vertikalbewegung des Scherdeckels erfasst, sodass der Rechner stets die aktuelle Schüttguldichte kennt und aufzeichnet. Aus der Normalspannung und der gemessenen Schubspannung werden diverse Parameter, wie Druckfestigkeit, Fließfähigkeit, innere Reibung und die Schüttguldichte mittels Computersoftware bestimmt.





## Gemessene Schüttguteigenschaften der untersuchten Schlackenproben

Rohdichte	[kg/m <sup>3</sup> ]	~2.900
Korngrößenverteilung	d50 [µm] d90 [µm]	5-6 14-16
Schüttdichte	[kg/m <sup>3</sup> ]	750 - 1.100
Fließfähigkeit	[-]	1,9 - 6,1
Wandreibungswinkel	[°]	32-38

Stabile Spannungsverläufe

Tabelle 2:  
Auszug der Ergebnisse

Tabelle 2 fasst die wesentlichen ermittelten Eigenschaften der untersuchten Schlackenproben zusammen.

Die Schüttgutmechanischen Eigenschaften der Schlackenproben zeigten stabile Spannungsverläufe. Die Fließfähigkeiten liegen ungefähr im Bereich zwischen 2 bis 6, d.h., kohäsiv (Fließfähigkeitsbereich zwischen 2-4) bis frei fließend (Fließfähigkeitsbereich 4-10). Bei allen Proben zeigt sich ein Trend zu höherer Fließfähigkeit mit zunehmender Verfestigungsspannung ( $\sigma$ ). Die Schüttdichten der untersuchten Proben teilen sich in zwei Bereiche (750 bis 850 kg/m<sup>3</sup> bzw. 1.000 bis 1.100 kg/m<sup>3</sup>). Die Verdichtbarkeiten sind bei allen Proben ähnlich mit einer Zunahme der Schüttdichte von rund 10 % im für die Messungen gewählten Spannungsbereich. Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass die ermittelten Schüttguteigenschaften (vor allem Fließfähigkeit, Schüttdichte) der gemahlten Hochofenschlackenproben die Ergebnisse anderer Untersuchungen hinsichtlich der latent hydraulischen Wirkung (z.B. Feuchteaufnahme, Festigkeitszunahme) bestätigte.

### Einsparungspotenziale beim Einsatz von Hochofenschlacke im Kunststoffrecycling

Eine stoffliche Verwertung von granulierter und gemahlener Hochofenschlacke als latent hydraulischer Füllstoff in der Kunststoffproduktion bzw. beim Kunststoffrecycling bringt einige entscheidende Einsparungspotenziale mit sich. Zunächst ergibt sich eine Energieeinsparung durch den geringeren Trocknungsaufwand von Altkunststoffen, da die Hochofenschlacke Feuchte in die Schlackenmatrix aufnimmt und somit die Restfeuchte des Kunststoffes reduziert. Darüber hinaus ergeben sich CO<sub>2</sub>-Einsparungsmöglichkeiten, wenn eine thermische Verwertung der Altkunststoffe in einer Müllverbrennungsanlage durch eine stoffliche Verwertung ersetzt wird oder wenn der Altkunststoff als Ersatzreduktionsmittel im Hochofen eingesetzt wird, und somit fossile Einblaskohle ersetzt.

### Pelletier- und Regranulierungsprozess mit Hochofenschlacke

Die Effektivität der Hochofenschlacke als nachhaltiger und irreversibler Feuchtebindeur wurde in einem Pelletierprozess herausgearbeitet (siehe Abbildung 4 [5]).

Sofern die eingesetzten Altkunststoffe, vorgemahlen als Flakes mit max. 20 mm Kantenlänge, schon mit Hochofenschlacke vermischt und „vorgetrocknet“ wurden, konnte eine Pelletierung beim Projektpartner Dikatech GmbH gut vorgenommen werden. Direktes Dosieren der Hochofenschlacke beim Pelletieren brachte hingegen keinen ausreichenden Effekt im Prozess selbst. Bereits mehrere Stunden mit Hochofenschlacke versetzte Altkunststoffe aus der Sinkfraktion der post-consumer - Recyclingsinkfraktion des Projektpartners Walter Kunststoffe GmbH konnten aber nun ausreichend gut pelletiert und die Restfeuchte dabei weiter verringert werden. Schließlich konnten sogar Abfallfraktionen mit 20 % Wassergehalt ausreichend gut zu Pellets mit Restfeuchten unter 5 % verarbeitet werden.

Auch ihre Kombinierbarkeit mit anderen Altkunststoffen war nach Vortrocknung mit Hochofenschlacke sehr gut und ermöglicht viel größere Flexibilität in der Verarbeitung von weiteren, sonst nicht mehr stofflich verwertbaren Kunststoff-Abfallfraktionen. Als Konsequenz wäre für einen nachhaltigen Recycling-Kreislauf abzuleiten, dass Pelletierprozesse mit Abfallfraktionen und Hochofenschlacke eine vielseitige stoffliche Verwertung verschiedener, auch kleinerer und kombinierbarer Mengenströme zulassen könnten.

Ein ähnliches Bild zeigte die Compoundierung bei Walter Kunststoffe GmbH. Aus den

#### Förderhinweis

Gefördert wird das Projekt MissingLink durch das österreichische Bundesministerium für Arbeit und Wirtschaft und wird koordiniert von der Österreichischen Forschungsförderungsgesellschaft mbH (kurz FFG, Projekt Nr. 895489, Fördervertrag Nr. FO999895489).

Abbildung 4: Pelletierpresse (System Ekokraft Pelletierpresse LP22 der Firma Dikatech GmbH. Während des Pelletierens mit einem 22kW Motor unterstützen ein



System zur Materialhomogenisierung sowie eine Metallabscheidung mittels Magneten die Pelletproduktion. Dieses System ist auch modular ausbaubar. Der Mahlvorgang verläuft nach dem Koller-Prinzip, bei dem ein bis zwei aufrechtstehende Scheiben, die Läufer, sich auf einer Bodenplatte um eine senkrechte Achse drehen und so den Inhalt zermahlen [5].

deutlich feuchtereduzierten Pellets konnten über einen einfachen Einschnecken-Regranulierungsprozess mit guter Entgasung und Schmelzefiltration sogar Regranulate mit Feuchtegehalten unter 0,1 % hergestellt werden. Die mechanischen Kenndaten lagen zwar unter den herkömmlichen Regranulaten aus üblicherweise verwerteten post-consumer – Schwimmfraktionen, durch geschicktes Kombinieren mit anderen, auch bis dato stofflich nicht verwertbaren Abfallströmen konnten aber sogar vergleichbare Ergebnisse erzielt werden.

### Fazit

Im Rahmen des Förderprojektes „Missing-Link“ konnte erfolgreich gezeigt werden, dass in Zukunft eine nachhaltige stoffliche Verwendung der post consumer recycling-Sinkfraktion ableitbar ist. Es wurde demonstriert, dass Hochofenschlacke als feuchtebindender Füllstoff einsetzbar ist. Die erzeugten Regranulate könnten sogar im Hinblick auf Verwendung im Elektrolichtbogenofen der Stahlindustrie interessant werden. Bis dorthin sind aber weitere Entwicklungsschritte nötig, die noch im Regranulierungsprozess selbst beginnen müssen. ■

#### Nachweise / Quellen

- [1] Europ. Kommission, Joint Research Centre, Best Available Reference (BAT) document for iron and steel production, Sevilla (Spanien), 2013
- [2] Euroslag statistics 2018, <https://www.euroslag.com/research-library-downloads/downloads/>, Zugriff am 09.02.2024
- [3] Dietmar Schulze, Pulver und Schüttgüter – Fließfähigkeiten und Handhabung, Springer Verlag Berlin, ISBN 3-540-34082-3, 2006
- [4] Dr. -Dietmar Schulze Schüttgutmesstechnik GmbH, [https://www.dietmar-schulze.de/ringschergeraete\\_d.html](https://www.dietmar-schulze.de/ringschergeraete_d.html), Zugriff am 19.06.2024
- [5] Dikatech GmbH, <https://www.dikatech.at/wp-content/uploads/2020/04/DIKATECH-LP.pdf>, Zugriff am 04.07.2024