

## Quantitative Klemmkornbestimmung mittels Bildauswertung am Beispiel der Siebung von Abfallfeinfraktionen

**Abstract:** Das Recycling feinkörniger, metallhaltiger Abfälle ist eine komplexe Aufgabe. Aufgrund unbekannter Materialzusammensetzungen gehen Betriebe, die diese Fraktionen aufbereiten, ein wirtschaftliches Risiko ein. Ein schnelles und zuverlässiges Analyseverfahren für die Input- bzw. Outputströme existiert bisher nicht.

Mit Hilfe einer teilautomatisierten Probenvorbereitung soll eine Analyse ermöglicht werden, jedoch stellt bereits die Siebung, unter anderem durch Klemmkornbildung, eine Herausforderung dar. Zur Optimierung der Siebung soll daher die Bildung und Ausprägung von Klemmkörnern in Abhängigkeit von der Siebdauer untersucht werden.

Unter Zuhilfenahme einer digitalen Bildauswertung können Klemmkörner, anhand von Bildaufnahmen des Siebbodens, quantifiziert und die belegte Siebfläche bestimmt werden. Aufnahmen nach bestimmten Zeitintervallen ermöglichen Aussagen über die Ausprägung der Klemmkörner in Abhängigkeit von der Siebdauer.

### 1 Hintergrund

Die Aufbereitung von Abfällen hat zum Ziel die enthaltenen Wertstoffe anzureichern und diese in Form von Sekundärrohstoffen dem Ressourcenkreislauf zuzuführen. Neben den gewonnenen Wertstoffkonzentraten fallen Restfraktionen, sogenannte Sekundärrohstoffe, an. Diese werden in der Regel nicht beim anfallenden Betrieb aufbereitet, sondern entsprechenden Verwertungswegen zugeführt.

Die Zusammensetzung der Feinfraktionen (< 20 mm), beispielsweise aus Shredderanlagen, ist maßgeblich von der Prozesskettengestaltung der jeweiligen Anlage abhängig. Aufgrund der Heterogenität und Partikelgrößen der vorliegenden Abfallströme, stehen Aufwand, Effektivität und Nutzen bzw. Kosten der bisherigen Aufbereitungsverfahren in keinem wirtschaftlichen Verhältnis. In Deutschland werden diese Abfallströme nur von wenigen spezialisierten Anlagen behandelt, die mit der Aufbereitung ein wirtschaftliches Risiko eingehen. Zusammensetzung oder Wertstoffgehalte sind in der Regel unbekannt und somit ist eine angepasste Prozessführung sowie eine Prozessbewertung nur schwer möglich.

Seit Oktober 2019 arbeitet das Institut für Aufbereitung und Recycling im Rahmen des FuE-Projekts „PROBE“ an der Entwicklung eines Verfahrens zur Analyse feiner, metallhaltiger Abfälle (< 20 mm). Mittels teilautomatisierter Probenvorbereitung für ein bildauswertendes Verfahren, soll die Bestimmung der Qualitäten von Sekundär- bzw. Tertiärabfällen sowie die effiziente Kontrolle von Prozessketten zur Wertstoffgewinnung ermöglicht werden. Aufgrund der schwankenden, heterogenen Zusammensetzung sowie einer

Vielzahl unterschiedlicher Kornformen stellt bereits die Siebung, zur Probenvorbereitung, eine Herausforderung dar. Erste Versuche zeigen, dass sich nach kurzer Siebdauer Klemmkorn bildet. Diese Klemmkörner können zur Verschlechterung des Siebwirkungsgrads führen. Aus diesem Grund soll im Rahmen dieses Beitrags die Klemmkornbildung in Abhängigkeit von der Siebdauer untersucht werden.

## 2 Material und Methode

Unter Klemmkörnern werden Körner eines zu siebenden Gutes verstanden, welche aufgrund ihrer Korngröße  $x$  eine Sieböffnung der Maschenweite  $w$  blockieren ( $w < x \leq 1,2 w$ ) [1]. Neben der Korngröße wird die Klemmkornbildung von weiteren Materialeigenschaften wie z. B. der Kornform beeinflusst. Blockierte Sieböffnungen reduzieren die offene Siebfläche und verschlechtern dadurch das Siebergebnis.

Die entwickelte Auswertungsmethode ermöglicht eine quantitative Aussage über die Klemmkornbildung. Durch eine Bildauswertungssoftware wird die Bildaufnahme eines klemmkornbehafteten Siebbodens (Vergleichsbild) mit der Aufnahme eines klemmkornfreien Siebbodens (Referenzbild) verglichen, um u. a. Anzahl und Flächen blockierter Sieböffnungen vollautomatisch zu bestimmen.

### 2.1 Untersuchte Abfallfeinfraktionen

Die entwickelte Auswertungsmethode soll am Beispiel der Siebung dreier Abfallfeinfraktionen demonstriert werden: Shredderleichtfraktionen (SLF) und Shredderschwerfraktionen (SSF) fallen als Sekundärabfälle in Shredderanlagen, Rostasche (RA) als anorganischer Rückstand in Müllverbrennungsanlagen an. [2] Aus den drei Stoffströmen SLF, SSF und RA wurden in entsprechenden Anlagen repräsentative Proben nach LAGA PN 98 entnommen. Für jede der drei Gesamtproben wurde mittels Siebung eine Feinfraktion  $< 10$  mm erzeugt, welche für nachfolgende Untersuchungen verwendet wurde (s. Abbildung 1). Durch Probeentteilung wurden anschließend Teilproben für einzelne Siebintervalle erzeugt.



Abbildung 1: Untersuchte Abfallfeinfraktionen  $< 10$  mm

### 2.2 Siebversuche und Bildauswertung

Die Siebversuche erfolgten bei einem Siebschnitt von 4 mm auf einem Kastensieb mit kreisrunden Sieböffnungen. Zu Beginn wurde eine Referenzaufnahme des klemmkornfreien Siebbodens erzeugt. Die Siebung erfolgte intervallweise (s. Abbildung 2A): Zu Beginn eines Intervalls wurde eine Teilprobe aufgegeben (1), gefolgt von einer 15-sekündigen Siebung auf dem Kastensieb (2). Anschließend wurde der Siebboden umgedreht und der Siebrückstand aufgefangen (3). Durch zweimaliges Fallenlassen des Siebbodens auf eine harte Unterlage (4) wurde der Siebboden anschließend von losem Steckkorn befreit (vgl. DIN 66165-2 [3]).

Abschließend wurde der Siebboden inklusive Klemmkorn (Vergleichsbild) aufgenommen (5). Das nächste Siebintervall startete mit dem Siebboden inklusive des Klemmkorns der vorherigen Siebintervalle und der Aufgabe einer neuen Teilprobe. Insgesamt wurden je Durchgang sechs Siebintervalle nacheinander gesiebt, woraus sich eine kumulierte Siebdauer von 90 s ergibt. Je untersuchter Gesamtprobe wurden jeweils drei unabhängige Versuchsdurchläufe vollzogen.

Die Aufnahme des Siebbodens vor einem weißen Hintergrund erfolgte durch eine Farbkamera von oben (s. Abbildung 2B). Der Siebboden war an drei der vier Ecken mit farbigen, kreisrunden Markern versehen.

In der Auswertungssoftware wurden Referenz- und Vergleichsbild basierend auf den detektierten Markern ausgerichtet, kalibriert und miteinander verglichen. Durch den Vergleich entstand ein Überlagerungsbild, das den Siebboden, die freie Siebfläche und das entstandene Klemmkorn zeigt. Abschließend wurden Flächen, Anzahl und Bedeckungsgrad der einzelnen Sieböffnungen aus dem Überlagerungsbild errechnet.

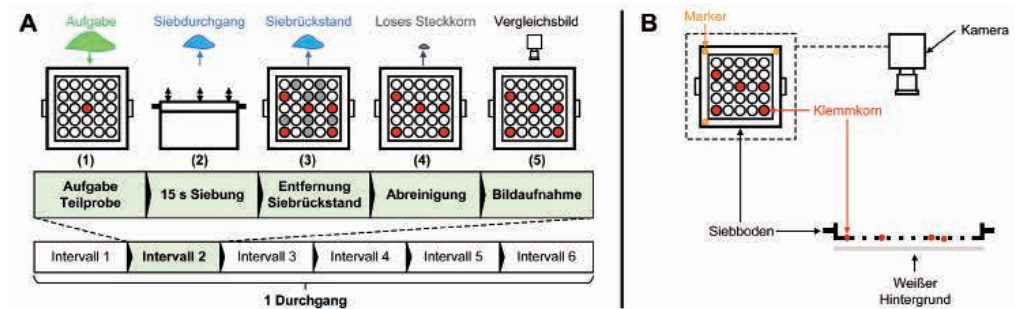


Abbildung 2: A) Ablauf der Siebversuche B) Messstand zur Bildaufnahme

### 3 Ergebnisse und Diskussion

Abbildung 3 zeigt den Anteil (jeweils Mittelwert der drei Versuchsreihen) der durch Klemmkorn betroffenen Sieböffnungen für die unterschiedlichen Versuchsmaterialien in Abhängigkeit der kumulierten Siebdauer. Dabei kann nach Bedeckungsgrad (< 25 %; 25 – 75 %; > 75 %) der einzelnen Sieböffnungen unterschieden werden. Bezogen auf die Anzahl der durch Klemmkorn betroffenen Sieböffnungen zeigen SLF und SSF einen ähnlichen Verlauf. Nach 15 Sekunden sind ca. 3 ‰ der Sieböffnungen durch Klemmkörner bedeckt, mit steigender Siebdauer (SSF: 75 s, SLF: 90 s) sind bis zu ca. 8,5 ‰ der Sieböffnungen von einem Klemmkorn blockiert. Bei der Rostasche liegt der Höchstwert bei ca. 2 ‰.

Unterschiede zeigen sich jedoch beim Bedeckungsgrad der einzelnen Sieböffnungen. So weist die SSF mehr Klemmkörner auf, die bis zu 25 %, jedoch weniger, die mehr als 75 % der Sieböffnung bedecken, als die SLF. Bei Klemmkörnern, die 25 – 75 % bedecken, ist kein klarer Unterschied zwischen SLF und SSF zu erkennen. Während bei den Shredderfraktionen etwa die Hälfte der Klemmkörner zwischen 25 – 75 % der Sieböffnungen bedecken, werden durch die Rostasche mehr Sieböffnungen mit weniger als 25 % oder mehr als 75 % bedeckt (ca. 73 % der betroffenen Sieböffnungen).

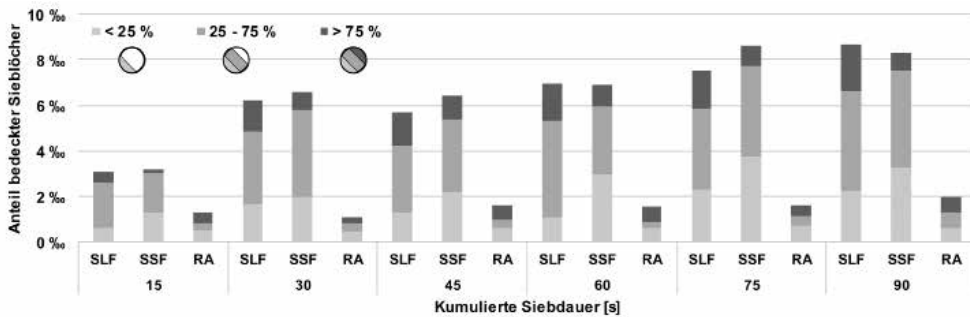


Abbildung 3: Anteil der durch Klemmkörner betroffenen Sieböffnungen inkl. Bedeckungsgrad

Da die Versuchsreihen alle auf 90 s ausgelegt waren, kann nicht bestimmt werden, inwieweit sich der Klemmkornanteil bei längeren Siebungen erhöhen würde. Jedoch kann festgestellt werden, dass nur wenige Klemmkörner dauerhaft die gleiche Sieböffnung bedecken. Abbildung 4 zeigt die Aufnahmen der Siebböden von einer der SSF Versuchsreihen. Es ist deutlich zu sehen, dass die meisten Klemmkörner des vorhergehenden Zeitintervalls gelöst und sich neue Klemmkörner gebildet haben (weiße Punkte). Nur wenige Klemmkörner (rote Punkte) bleiben dauerhaft auf dem Siebboden zurück.

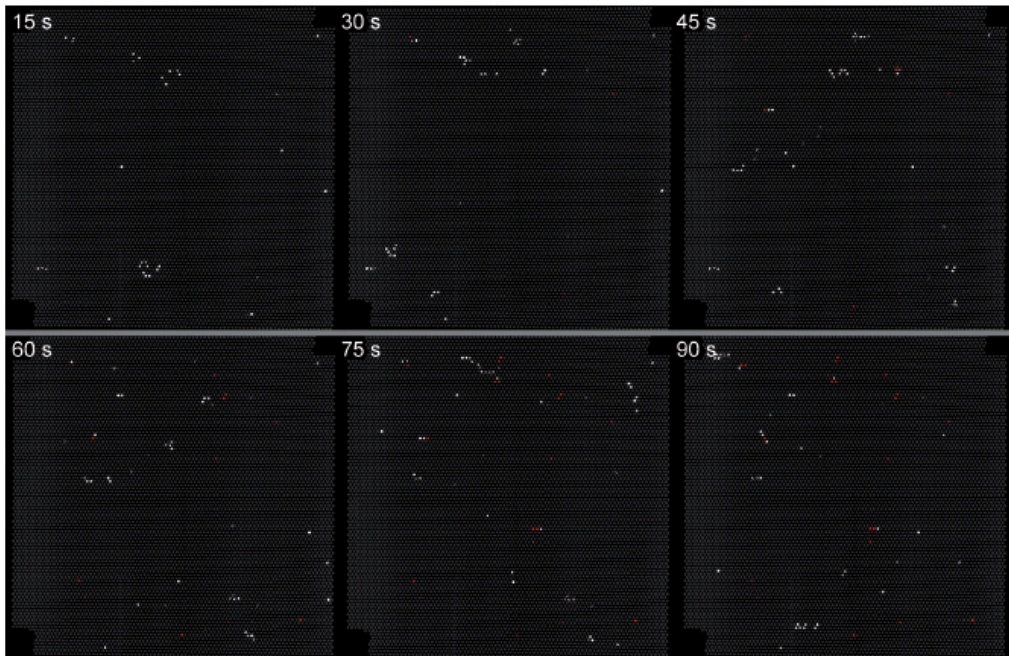


Abbildung 4: Klemmkörner je Zeitintervall

## 4 Zusammenfassung und Ausblick

Die Ergebnisse zeigen, dass es bezogen auf die betroffenen Sieböffnungen keine Unterschiede zwischen den Shredderfraktionen gibt. Wird jedoch die Fläche der Sieböffnungen, die durch ein Klemmkorn überdeckt werden, betrachtet, können Unterschiede zwischen der SLF und der SSF erkannt werden. Die Klemmkornbildung der Rostasche unterscheidet sich deutlich von der der Shredderfraktionen: Zum einen entstehen bei der Siebung der Rostasche weniger Klemmkörner und zum anderen werden die Sieböffnungen unterschiedlich stark von den Klemmkörnern bedeckt.

Da mit der entwickelten Methodik nicht nur die Quantifizierung (Anzahl der Klemmkörner) und der Bedeckungsgrad, sondern auch die örtliche Ausprägung der Klemmkörner auf dem Siebboden in Abhängigkeit von der Siebdauer bestimmt werden kann, konnte festgestellt werden, dass nur wenige Sieböffnungen dauerhaft von Klemmkörnern bedeckt bleiben. Ein Großteil der Klemmkörner, die nach einem Siebintervall vorlagen, wurden im nächsten Siebintervall gelöst und es haben sich neue Klemmkörner an einer anderen Stelle des Siebbodens gebildet.

In weiteren Versuchsreihen kann die Klemmkornbildung über längere Siebdauern (> 90 s) untersucht werden. Da die Klemmkörner sieböffnungsgenau erkannt werden können, ist es ebenfalls möglich potentielle „Hotspots“ von Klemmkörnern auf einem Siebboden sowohl qualitativ als auch quantitativ zu bestimmen. Aufgrund der gewonnenen Erkenntnisse getroffene Gegenmaßnahmen, zur Verringerung der Klemmkörner, können anschließend quantitativ bewertet und verglichen werden.

## Literatur/Quellen

- [1] Schmidt, P.; Körber, R.; Coppers, M. (2003): Sieben und Siebmaschinen. Weinheim: Wiley-VCH Verlag.
- [2] Feil, A.; Pretz, T.; Julius, J.; Go, N.; Bosling, M.; Johnen, K. (2019): Chapter 10 - Metal Waste. In: Waste (2. Auflage) (Editoren: Letcher, T.; Vallerio, D.), S. 211-224. Academic Press.
- [3] DIN 66165-2:2016-08, Partikelgrößenanalyse – Siebanalyse – Teil 2: Durchführung

## Kontakt

*Kay Johnen, M. Sc., wissenschaftlicher Mitarbeiter*  
Institut für Aufbereitung und Recycling (I. A. R.), RWTH Aachen  
Tel.-Nr.: +49 (0) 241 80-99346  
E-Mail: [kay.johnen@iar.rwth-aachen.de](mailto:kay.johnen@iar.rwth-aachen.de)  
Homepage: [www.iar.rwth-aachen.de](http://www.iar.rwth-aachen.de)