

Versuchsstand für sensorgestützte Erkennung und Sortierung

Abstract: Am Lehrstuhl für Abfallverwertungstechnik und Abfallwirtschaft (AVAW) der Montanuniversität Leoben wird seit Juni 2017 ein Versuchsstand für sensorgestützte Erkennung und Sortierung in diversen Dissertations- und Masterarbeiten genutzt. Aufgrund des primären Einsatzes als Analysegerät ist das System am AVAW in Form eines Rutschensortierers verwirklicht worden. Hierdurch ergibt sich ein kompakt gebautes sensorgestütztes Aggregat, das für den Einsatz im universitären Bereich optimiert ist.

Der Versuchsstand besteht aus einem Bunker, der ein Probenvolumen von etwa 60 l fassen kann. Von hier aus wird das Material auf einer Vibrationsförderrinne transportiert, sodass sich eine Monoschicht ausbildet.

Anschließend gleiten die Partikel auf einer Glasschurre und werden durch die erhöhte Fördergeschwindigkeit auf der Rutsche vereinzelt. Die einzelnen Objekte im aufgegebenen Probenmaterial werden von verschiedenen Sensoren erkannt, um die daraus gewonnenen Informationen anschließend mit einer Computersoftware auszuwerten, sodass ausgewählte Partikel durch Druckluftstöße ausgetragen werden können. In das Aggregat wurden drei unterschiedliche Technologien zur Erkennung und Unterscheidung von Objekten verbaut: Induktions-, Farb- & Nahinfrarotsensoren.

Während des Gleitens über die Schurre werden Partikel durch den Induktionssensor analysiert. Dieser zeichnet Informationen über die Leitfähigkeit von Objekten auf. Die Partikel werden anschließend auf der Schurre mittels Nahinfrarottechnik (NIR) und VIS-Spektroskopie untersucht. Dabei ermöglicht VIS die Unterscheidung von Objekten anhand ihrer Farbe. So könnten z.B. Kupfer von Aluminium, verschiedenfarbige Kunststoffe oder Erz von taubem Gestein unterschieden werden. Die NIR-Technologie hingegen bietet die Möglichkeit die chemische Zusammensetzung verschiedener Objekte, wie beispielsweise von Kunststoffen, zu untersuchen. Während der Messung wird ein reflektiertes Spektrum aufgezeichnet, das Rückschlüsse auf sortenspezifische Molekülgruppen erlaubt.

Es werden Einblicke in die Versuchsdurchführung bezüglich verschiedener Fragestellungen gegeben. Grundlegend hierfür sind zunächst die Anforderungen, die an das Schüttgut selbst gestellt werden. Hierzu gehören z.B. die Korngrößenverteilung (Verhältnis: Größt- zu Kleinstkorn), der Wassergehalt und z.T. die chemische Zusammensetzung des Aufgabeguts.

Es werden Aspekte wie das Erstellen von Sortierrezepten, die Vorgehensweise während der Versuchsdurchführung und die Auswertung der ausgewählten Daten beleuchtet. Darüber hinaus werden erste Erfahrungen aus verschiedenen Versuchsreihen und Abnahmeversuchen vorgestellt. Hier wird ein Schwerpunkt auf die Quantifizierung und Charakterisierung von Schüttgutproben (Projekt ReWaste4.0) und auf die Untersuchung des Einflusses von Verschmutzungen auf die Klassifizierung von Kunststofffraktionen (Projekt NEW-MINE) gelegt.

The project NEW-MINE has received funding from the European Union's EU Framework Programme for Research and Innovation Horizon 2020 under Grant Agreement No 721185



Das Projekt ReWaste4.0 (Projektnummer: 860884) wurde im Rahmen der sechsten Ausschreibung für die K-Projekte des Kompetenzzentrum-Programms COMET gefördert.

1 Einleitung

Sensorgestützte Sortieraggregate werden industriell bereits seit Jahren in der Recyclingbranche eingesetzt, um komplexe Sortieraufgaben zu lösen. Diese Aggregate sind für die verschiedenen Einsatzgebiete entsprechend groß ausgeführt. Um diese Technologie nutzen und weiter erforschen zu können, wird nun am AVAW der Montanuniversität Leoben ein Versuchsstand für sensorgestützte Erkennung und Sortierung (Vergleiche Abbildung 1) eingesetzt. Dieser enthält drei Sensortypen: Nahinfrarot-, Farbesensor und eine Induktionsleiste. Dieser Aufbau entspricht technologisch dem Industriestandard und bietet sich einerseits zur Analyse von Schüttgütern an und kann andererseits zu Forschungszwecken (z.B. Simulation von Sortierprozessen) genutzt werden.

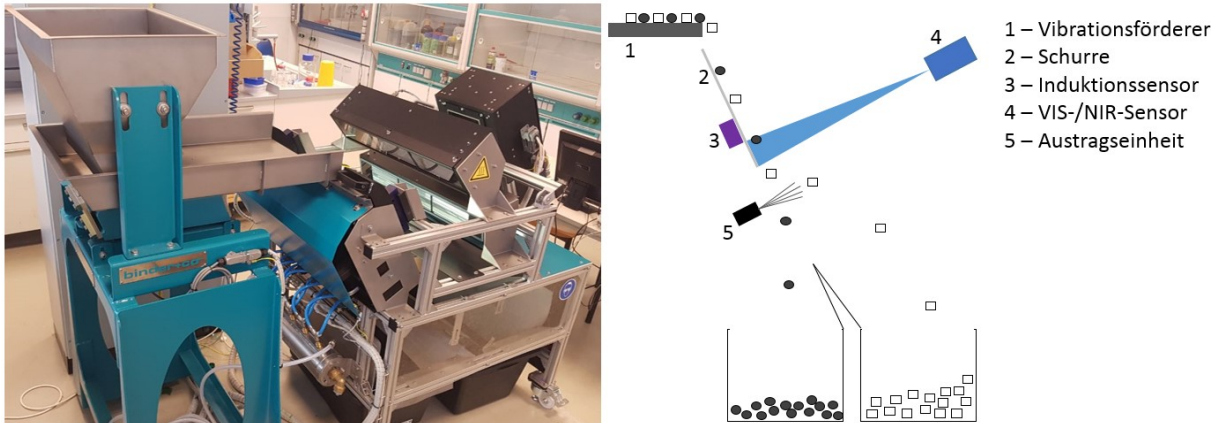


Abb. 1: Versuchsstand für sensorgestützte Erkennung und Sortierung am AVAW (links); Schematische Darstellung des Funktionsprinzips und Sensoranordnung des Sortierers (rechts).

2 Methodik

Um die Arbeitsweise methodisch zu erklären, soll an dieser Stelle die Vorgehensweise bei der Analyse von Schüttgütern vorgestellt werden. Dazu wird ein Beispiel der Kunststoffsortierung mittels Nahinfrarot-Sortierung (NIR) herangezogen. Eine solche Analyse kann dabei in zwei Aspekte unterteilt werden:

1. Das Anlernen der verschiedenen Stoffgruppen im Schüttgut (Sortierrezept erstellen)
2. Die eigentliche Durchführung der Analyse auf Basis des Sortierrezepts

2.1 Erstellen eines Sortierrezepts

Zur Erstellung eines Sortierrezepts werden die spezifischen Spektren der unterschiedlichen Stoffgruppen eines Schüttguts benötigt. Daher müssen einzelne Beispielobjekte vor der eigentlichen Rezepterstellung aus dem Schüttgut entnommen werden. Von diesen Beispielobjekten werden Aufnahmen mit dem NIR-Sensor im Wellenlängenbereich zwischen ca. 990 nm und 1700 nm gemacht. Diese Aufnahmen enthalten jedem Objektpixel zugeordnet ein NIR-Spektrum. Um ein stoffspezifisches NIR-Spektrum hinterlegen zu können, werden die Spektren aus mehreren Pixeln ausgewählt und ein gemittelttes Spektrum erstellt. Dieses Spektrum dient als Referenzspektrum, um unbekannte Objekte den im Rezept hinterlegten Stoffklassen zuzuordnen (Vergleiche Abbildung 2).

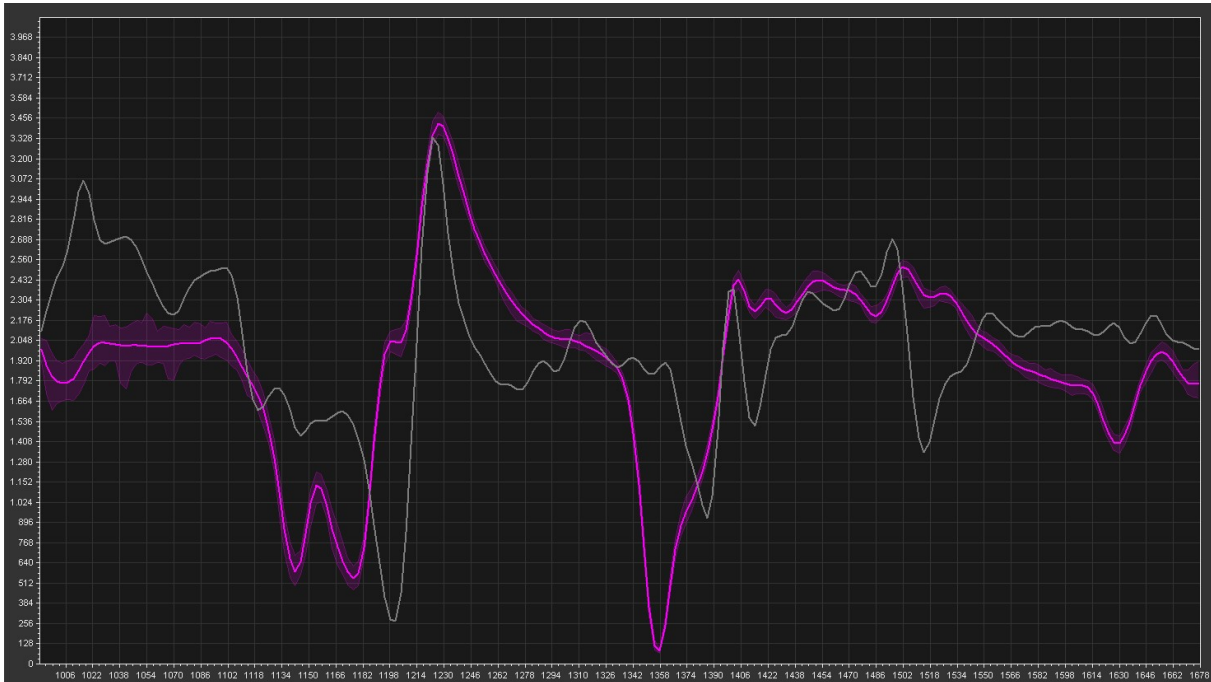


Abb. 2: Gemittelte Referenzspektren von Polypropylen (rosa) und High-Density-Polyethylen (grau). Die Schwankungsbreite, der zur Ermittlung des Referenzspektrums von Polypropylen hinterlegten Spektren, ist durch die rosa eingefärbte Fläche dargestellt.

Zur Unterscheidung der Stoffgruppen können das gesamte Spektrum oder nur Teilbereiche desselben genutzt werden. Um eine optimale Klassifizierung der zu unterscheidenden Stoffgruppen anhand des NIR-Spektrums zu gewährleisten, bietet es sich an die Wellenlängenbereiche als Unterscheidungsmerkmal zu nutzen, die signifikante Intensitätsunterschiede zwischen den hinterlegten Referenzspektren aufweisen. Gleichzeitig sollten nur geringe Schwankungsbreiten zwischen den gemessenen Spektren einer Stoffgruppe vorkommen, da solche Schwankungen, in den für die Klassifizierung relevanten Bereichen, zu Fehlklassifizierungen führen können.

Basierend auf dem erstellten Rezept, können nun die einzelnen Objektpixel von Partikeln, die in den Detektionsbereich gebracht werden, klassifiziert und mit den Spektren entsprechenden Falschfarben versehen werden (vergleiche Abbildung 3). Auf diese Weise können Bildinformationen aus dem nicht sichtbaren Bereich des NIR-Spektrums dargestellt werden.



Abb. 3: PP-(rosa) und HDPE-Partikel deren Pixel mit Falschfarben versehen wurden (Rosa=PP, Grau=HDPE, Grün=PET, Gelb=Nicht klassifiziert)

Die klassifizierten Pixel werden genutzt um jedes Objekt einer der angelernten Stoffarten zuzuordnen. Dazu werden die klassifizierten Objektpixel jeder Materialklasse aufsummiert. Jedes Objekt wird der Materialklasse zugeordnet, die gemäß der klassifizierten Pixel in diesem Objekt

vorherrscht. Dadurch wird der negative Einfluss einzelner fehlerkannter Pixel auf die Sortierentscheidung reduziert. Gleichzeitig werden so Agglomerate anhand des flächenmäßig vorherrschenden Materials klassifiziert. Überlagern oder berühren sich zwei Objekte, so werden diese als eins erkannt und es kann zu Fehlausträgen kommen.

2.2 Durchführung und Bewertung der Analyse

Der sensorgestützte Versuchsstand wurde für praktische Untersuchungen von Proben eines am Markt üblichen Ersatzbrennstoffs (EBS) eingesetzt. Vor der sensorgestützten Analyse wurde eine EBS-Probe gezogen und einer Vorkonditionierung unterzogen. Hierzu wurde die Probe gemäß DIN EN 12880-2a getrocknet (105°C) und Feinanteile abgesiebt. Hierraus ergab sich ein zu untersuchendes Probenvolumen von 5 l (150 g) mit einer Maximalkorngröße von 30 mm.

Nach der Erstellung des Sortierrezepts gemäß 2.1 wurde die Analyse durchgeführt. Dafür wurden mehrere Stoffklassen unterschieden: PET, PP, PE, PS, PVC, PUR, ACN, PA und Papier. Zur Validierung der Trennergebnisse wurde eine Einzelkornuntersuchung der erzeugten Fraktionen mittels Fourier-Transform-Infrarotspektrometer durchgeführt. Die Probe wurde mehrfach aufgegeben, um jeweils eine der Stoffklassen zu separieren. Anschließend wurde eine pixelbasierte Klassifikation der Stoffklassen durch den sensorgestützten Versuchsstand durchgeführt. Auf diese Weise ist es möglich, Fehlklassifikationen von mechanisch bedingten Fehlausträgen zu unterscheiden und somit problembehaftete Stoffe zu identifizieren.

Die Erkennung der Stoffklassen PET, ACN, PS, PUR, Papier konnte als gut bis sehr gut festgehalten werden (80 - 100 % der Objektpixel wurden korrekt klassifiziert). Insbesondere das Ausbringen der Stoffklassen PVC, PET und Papier ist mit etwa 90 % als gut einzustufen. Das verringerte Ausbringen anderer Stoffklassen kann auf zwei Ursachen zurückgeführt werden:

1. Negative Beeinflussung des Gleitverhaltens durch die Objektform (PE, PP, PUR, PS, ACN)
2. Fehlerkennung insbesondere von Folien (z.B. PE) und faserigem Material (z.B. Vlies)

Allgemein ist festzuhalten, dass der Mengenanteil der auszutragenen Stoffklasse an der Gesamtprobe die Reinheit der ausgetragenen Stoffklasse erheblich beeinflusst. Darüberhinaus kann die Funktion des Versuchstands als Analysegerät insbesondere zur digitalen Auswertung eines heterogenen Schüttguts, als erwiesen festgestellt werden.

Kontakt Autor

Bastian Küppers, wissenschaftlicher Mitarbeiter

Einrichtung: Montanuniversität Leoben, Lehrstuhl für Abfallverwertungstechnik und Abfallwirtschaft (AVAW)

Tel.-Nr.: +43 3842 / 402-5117, E-Mail: bastian.kueppers@unileoben.ac.at

Homepage: <http://avaw.unileoben.ac.at/>

Kontakt Co-Autor

Dipl.-Ing. Selina Möllnitz, wissenschaftlicher Mitarbeiter

Einrichtung: Montanuniversität Leoben, Lehrstuhl für Abfallverwertungstechnik und Abfallwirtschaft (AVAW)

Tel.-Nr.: +43 3842 / 402-5135, E-Mail: selina.moellnitz@unileoben.ac.at

Homepage: <http://avaw.unileoben.ac.at/>