

# Weiterentwicklung der sensorgestützten Sortierung von festen Abfallstücken

Dirk Killmann

I.A.R. der RWTH Aachen, Lehrstuhl für Aufbereitung und Recycling fester Abfallstoffe

## Enhancements of Sensor Based Sorting of Solid Waste

### Abstract

Sensor based sorting machines are used to concentrate recyclable particles from heterogeneous waste mixtures. The systems contain a unit for isolation of the particles in the mass flow, a sensor unit to identify unique features of different materials and a discharge unit to segregate the identified particles out of the mass flow.

Possible enhancements of sensor based sorting machines are shown by examples. The combination of different sensor techniques expands the range of detectable material classes. Using a NIR-sensor in combination with a laser based 3d-camera makes it possible to detect fabric in a dirt-contaminated household waste. To save energy within the recycling process the usage of air pressure should be reduced or avoided. The usage of motor driven paddles could be a substitute for discharge units with air vales and electromagnetic valves.

In the field of waste analytics sorting units could be used to develop a system to perform an online analysis of parameters like calorific value or the water content on the belt. State of the art is an offline measurement of these values on small samples, which makes it hard to extrapolate the measurements to the heterogeneous waste.

### Zusammenfassung

Sensorgestützte Sortiersysteme werden zur Anreicherung von Wertstoffen und Störstoffen bei der Aufbereitung fester Abfallstoffe eingesetzt. Die eingesetzten Systeme bestehen aus einer Zuführeinheit zur Materialkonditionierung, einer Sensoreinheit zur Ermittlung von Sortiermerkmalen und einer Austragseinheit zur mechanischen Trennung des Stoffstroms. Die in der Sensoreinheit verwendeten Algorithmen sind drauf ausgelegt, anhand der Sensordaten Sortierentscheidungen zu treffen. Die vorgestellte Studie beschreibt mögliche Ansatzpunkte zur Weiterentwicklung der bereits in Aufbereitungsanlagen eingesetzten Techniken.

Im Bereich der Abfallanalytik werden zurzeit hauptsächlich Offline-Analyseverfahren eingesetzt. Dabei wird eine Stichprobe aus dem Abfall genommen und im Labor auf Stoffparameter wie Heizwert oder Wassergehalt analysiert. Die Ergebnisse der Stichprobe werden mit statistischen Methoden auf die beprobte Abfallmenge hochgerechnet. Aufgrund der meist inhomogenen Abfallzusammensetzung können dabei bei kleinen Probenmengen große Abweichungen der Parameter von Stichprobe und gesamter Abfallmenge entstehen. Eine Analyse des gesamten Abfalls mittels Laboranalytik ist aus zeitlichen Gründen nicht durchführbar.

Durch den Einsatz und die Kombination bestehender Sensoreinheiten aus Sortiersystemen kann eine nahezu lückenlose Online Analyse von Abfallströmen durchgeführt werden. Die hierzu notwendigen Entwicklungen der Sensortechnik und Algorithmik können zudem zur Erweiterung bestehender Sortiersysteme verwendet werden.

**Keywords**

Sensorgestützte Sortierung, Lasertriangulation, Sensor based sorting, 3D-Kamera, 3D-camera, Topologie, Texturanalyse, Multisensorik, Sensorfusion

**1 Sensorgestützte Sortierung von Abfällen****1.1 Grundlagen und Anwendungen**

Abfälle sind heterogene Gemische von Einzelstücken mit individuellen stofflichen Eigenschaften. Darunter können zum Einen Wertstoffe enthalten sein, die idealerweise sortenrein aus dem Stoffstrom abgetrennt und angereicht werden sollen. Sie können so einer Verwendung als Sekundärrohstoff zugeführt zu werden. Zum Anderen können Störstoffe enthalten sein, die eine technische Behandlung oder Verwertung der Abfälle behindern. Sie sollen möglichst vollständig aus dem Stoffstrom abgetrennt werden.

Neben klassischen Aggregaten wie Magnetscheidern, Windsichtern oder Wirbelstromscheidern haben sich vor allem sensorgestützte Sortiersysteme zur Separation von Abfallströmen etabliert. Die Erkennungseinheit zur berührungslosen Ermittlung von Sortiermerkmalen ist hier vom mechanischen Trennprozess unabhängig. Somit lässt sich eine Vielzahl von stofflichen Eigenschaften wie Farbe, Form, Volumen, Dichte oder Molekülstrukturen als Trennkriterium nutzen. Die Sensoreinheit wird den Anforderungen des Trennprozesses entsprechend hinsichtlich des Spektralbereichs, der Sensorbauform und der radiometrischen Kette konstruiert.

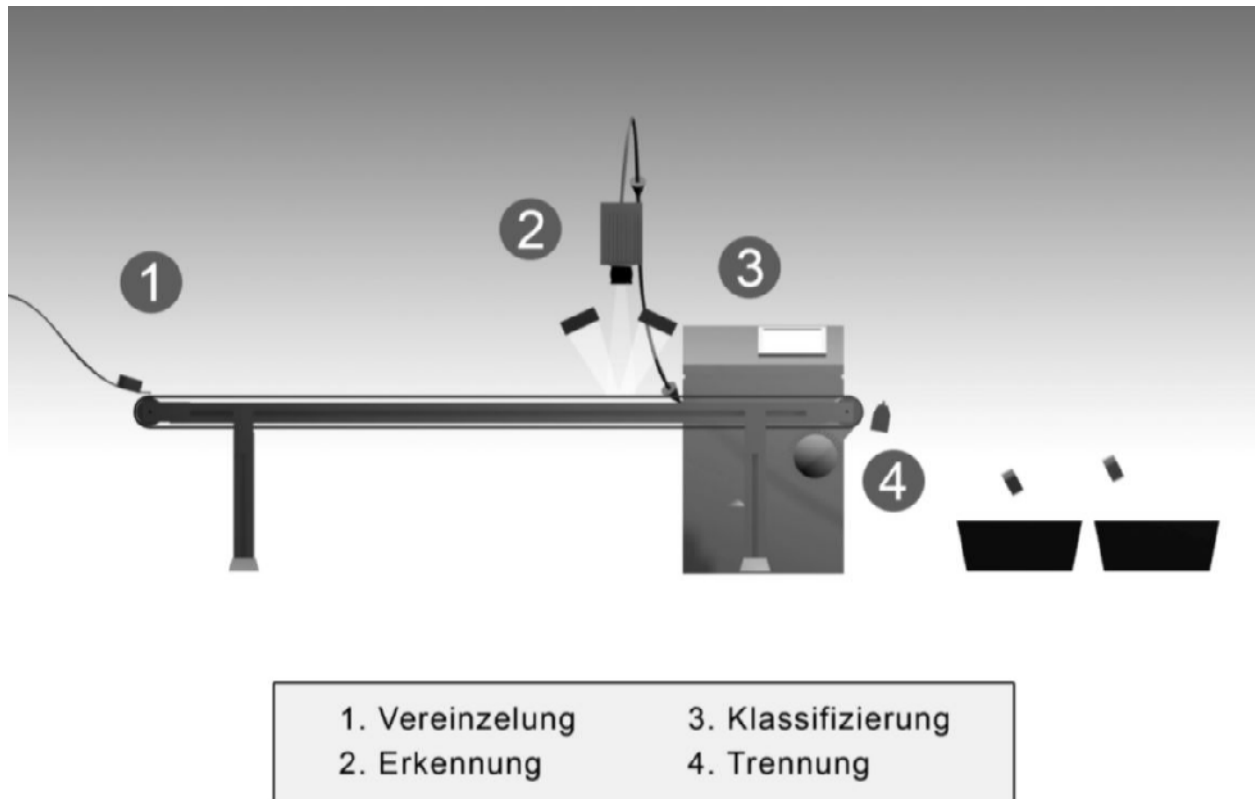
<b>Merkmal</b>	<b>Spektralbereich</b>	<b>Messprinzip</b>	<b>Detektor</b>	<b>Bauform</b>
<b>Farbe / Form</b>	Sichtbares Licht	Reflektion / Transmission	CCD / CMOS Zeilenkamera	Fläche / Zeile
<b>Präzise Farbtöne</b>	Sichtbares Licht	Reflektion / Transmission	VIS- Spektrometer (mit Scanner)	Punkt
<b>Molekulare Zusammensetzung</b>	NIR	Reflektion	Spektrometer (mit Scanner)	Punkt
<b>Elementare Zusammensetzung</b>	Röntgenstrahlen	Transmission	Röntgen- Zeilensensor	Zeile
<b>Elektrische Leitfähigkeit / magnetische Permeabilität</b>	Radiowellen	Veränderung eines Magnetfeldes	Spulen-Zeile	Zeile

**Abbildung 1** Beispiele für Sortiermerkmale und technische Umsetzung

Abbildung 1 zeigt eine Übersicht verwendbarer Sortiermerkmale und die technische Umsetzung in Sortieraggregaten.

## 1.2 Technische Umsetzung

Ein System zur sensorgestützte Sortiersysteme von Abfällen aus einem bewegten Förderstrom ist in die vier Einheiten Vereinzeln, Erkennung, Klassifizierung und Trennung aufgeteilt (siehe Abbildung 2). Die Schritte 2 und 3 werden im Folgenden als „Sensoreinheit“ bezeichnet.



**Abbildung 2** Sensorgestütztes Sortiersystem - Bandmaschine

Die in sensorgestützten Sortiersystemen verwendeten Sensoreinheiten beinhaltet einen Emitter, der Strahlung in Richtung des zu messenden Abfallstroms aussendet, und einem Detektor, der die von den Messobjekten veränderte Strahlung empfängt. Anhand der spezifischen Strahlungsveränderung in der radiometrischen Kette lassen sich Objektmerkmale erkennen, die zur Sortierentscheidung verwendet werden. Diese Veränderungen können sich sowohl in der räumlichen Verteilung der auf den Detektor auftretenden Strahlung als auch in Ihrer spektralen Zusammensetzung und Phasenlage bemerkbar machen.

Die eingesetzten Sensorsysteme unterscheiden sich vor allem im Spektralbereich, der optischen und zeitlichen Auflösung sowie der Ausrichtung von Emitter und Detektor zum Abfallstrom. Als Spektralbereiche werden vor allem Radiowellen (Induktionssortierer), sichtbares Licht (Farbsortierer), nahes Infrarotspektrum (NIR Sortierer für Kunst-

stofftrennung) und Röntgenstrahlung (Trennung nach Stoffdichte) verwendet. Hierbei werden beispielsweise die elektrische Leitfähigkeit, Oberflächenfarbe, Lichtdurchlässigkeit, Kernladungszahl oder Kunststoffart als Sortiermerkmal erfasst.

Als Detektoren stehen Punkt-, Flächen-, und Zeilensensoren zur Verfügung. Punktsensoren können zum Zeitpunkt der Messung nur von einem Ort Informationen empfangen. Soll ein bewegter Stoffstrom hochauflösend abgetastet werden, so muss der Messpunkt durch Umlenkung des Strahlengangs innerhalb des Messbereichs bewegt werden. In der Regel werden hierzu schnell bewegliche Umlenkspiegel eingesetzt. Durch sequentielles Messen von einzelnen Messpunkten in kurzen Intervallen kann ein nahezu lückenloses und räumlich differenziertes Abbild des Stoffstroms erfasst werden. Aufgrund der aufwendigen Technik zur Strahlumlenkung werden punktförmige Detektoren nur dann eingesetzt, wenn die durch das physikalische Messprinzip bedingte Bauform des Detektors es erfordert. Dies ist vor allem bei Nahinfrarotsortierern der Fall, die empfangene Strahlung spektroskopisch untersucht werden muss.

Zeilensensoren bestehen aus nebeneinander angeordneten Punktsensoren und sind somit in der Lage, zum Zeitpunkt der Messung ein räumlich differenziertes Abbild eines Bereichs zu erfassen. Da sich der Stoffstrom unter dem Sensor linear und mit bekannter Geschwindigkeit bewegt, sind Zeilensensoren optimal dazu geeignet, ein lückenloses und in zwei Dimensionen aufgelöstes Abbild des Stoffstroms zu generieren. Die Auflösung quer zur Förderrichtung hängt von der Anzahl der Messpunkte in der Sensorzeile ab. In Förderrichtung wird die Auflösung durch die Bandgeschwindigkeit und die Messintervalle der Zeilenmessungen bedingt.

Flächensensoren bestehen aus einer Matrix von Punktsensoren. Hierdurch können zum Zeitpunkt der Messung räumlich differenzierte Informationen in zwei Raumrichtungen erfasst werden. Aufgrund dieser Eigenschaft können sie bei der Abtastung von bewegten Stoffströmen dazu genutzt werden, höher dimensionale Informationen pro Stoffstromabschnitt und Messpunkt zu ermitteln als Zeilensensoren.

Die Erkennung wird maßgeblich von der Auflösung und dem Leistungsvermögen des Detektors beeinflusst. Auflösung beschreibt dabei die Anzahl der unterscheidbaren Abstufungen einer räumlichen Distanz (z.B.: Pixel pro mm) oder der Abstufungen von Amplitude und Frequenz der aufgenommenen Strahlung (z.B.: 8 Bit Abstufungen pro Messung). Je höher die Auflösung ist, desto mehr Informationen können in einem Messvorgang differenziert und erfasst werden. Die aus der Auswertung der Messdaten resultierenden Merkmale werden durch logische Verknüpfungen soweit reduziert, dass eine binäre Sortierentscheidung (ja/nein) getroffen werden kann. Sensorgestützte Sortiersysteme sind in der Regel nicht darauf programmiert, Merkmalsinformationen zur statistischen Auswertung zu speichern.

Im Folgenden wird das Entwicklungspotential anhand von Beispielen aufgezeigt. Durch die Erweiterung bestehender Technik zu multisensorischen Systemen mit Texturerkennung wird die Erkennung neuer Stoffgruppen ermöglicht. Durch eine Weiterentwicklung der Auswertesoftware können bestehende Sensoreinheiten dazu genutzt werden, neben der Sortierung eine lückenlose quantitative und qualitative Online-Analyse eines bewegten Stoffstroms durchzuführen.

## 2 Entwicklungspotential an Beispielen

### 2.1 Strukturanalyse mit Texturerkennung

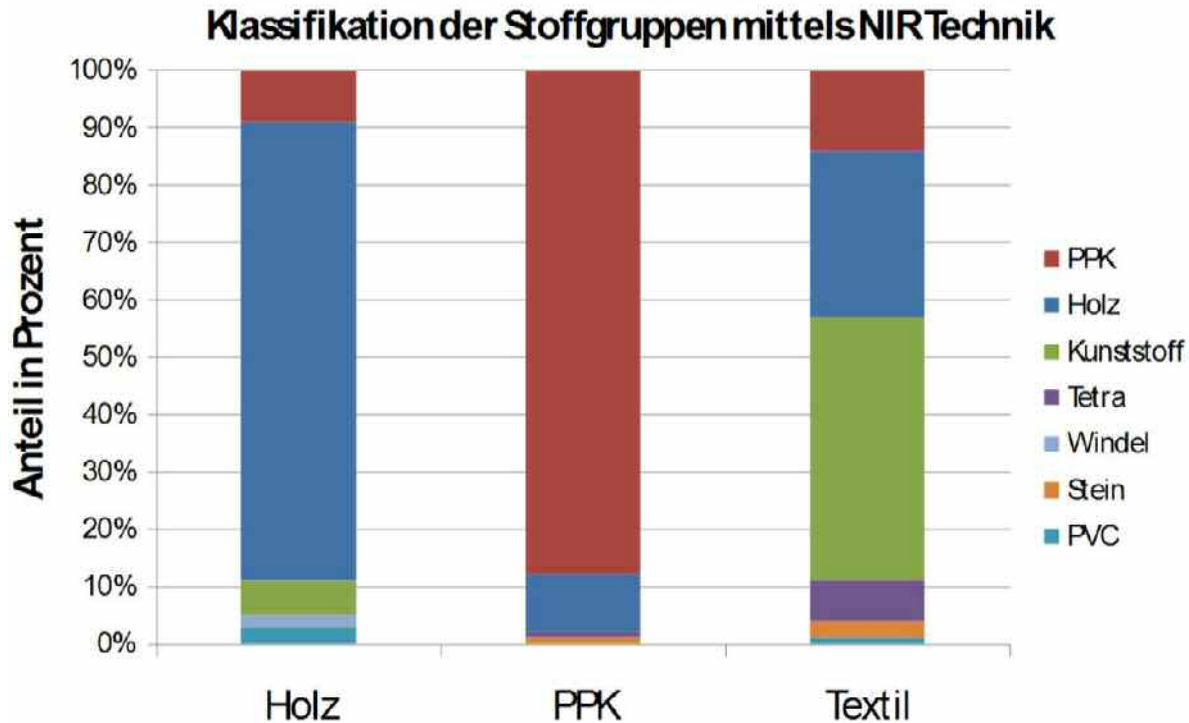
Am Beispiel von zerkleinertem Gewerbeabfall mit den Inhaltsstoffen Holz, Textilien und Papier soll das Potential neuer sensorgestützter Sortierverfahren durch Sensorfusion abgeschätzt werden. Ziel der Sortierung sei es, jede der drei Stoffgruppen sortenrein zu erkennen, um etwa Holz zu Brennstoff zu verarbeiten und aus Textilien und Papier die jeweiligen Fasern zurück zu gewinnen. Im Versuch wurden je 100 Einzelstücke pro Abfallfraktion untersucht. Die Abfallstücke wurden nach repräsentativer Probenteilung einer zerkleinerten Gewerbeabfallprobe entnommen und liegen im Korngrößenbereich von 30-100 mm vor. Es ist davon auszugehen, dass das Gemisch Querverschmutzungen von feinkörnigen und nassen Abfallkomponenten aufweist, die die Oberflächeneigenschaften materialfremd verändern. Eine Farberkennung scheidet somit zur eindeutigen Identifizierung der Stoffgruppen aus. Die Versuche werden bei 1 m/s Bandgeschwindigkeit bei optimaler Vereinzelnung durchgeführt.

Im nicht sichtbaren nahen Infrarotspektrum (NIR) ist ein stoffgruppenabhängiger Unterschied in der vom Material reflektierten Strahlung zu identifizieren. Die materialabhängige Molekülstruktur ermöglicht eine Unterscheidung von Holz und Papier. Der für die Versuche eingesetzter NIR-Sortierer unterscheidet die Stoffgruppen „Kunststoffe Rest“, „PVC“, „Holz“, „PPK (Papier, Pappe und Kartonagen)“, „Tetrapack“, „Windeln“ und „Steine“.

Abbildung 3 zeigt die Zuordnung der drei untersuchten Abfallarten zu den Stoffgruppen. Während PPK zu 87% richtig erkannt wird, identifiziert der Klassifikator nur 80% des Holzes korrekt. Eine Zuordnung der Holzstücke zu anderen Stoffgruppen ist damit zu erklären, dass die Oberfläche der untersuchten Proben zum Teil beschichtet ist. Obwohl der Masseanteil der Beschichtung am Objekt vernachlässigbar gering ist, verdeckt Sie die messbare Holzoberfläche fast ganz. Ein rein materialbezogener Merkmalsvektor reicht hier nicht aus, um eine eindeutige Erkennung des Holzes zu erreichen.

Textilien weisen je nach Kunstfasergehalt ebenfalls ein stoffspezifisches Reflektionsverhalten im Bereich naher Infrarotstrahlung auf. Wie in Abbildung 3 zu sehen ist, ent-

spricht dies größtenteils entweder den programmierten Merkmalsvektoren von Kunststoffen, Holz oder PPK. Eine eindeutige Erkennung von Textilien ist somit derzeit allein mit der materialbezogenen Auswertung des NIR Spektrums in konventionellen Sortiergeräten nicht durchführbar.



**Abbildung 3** Klassifikation mittels NIR Technik

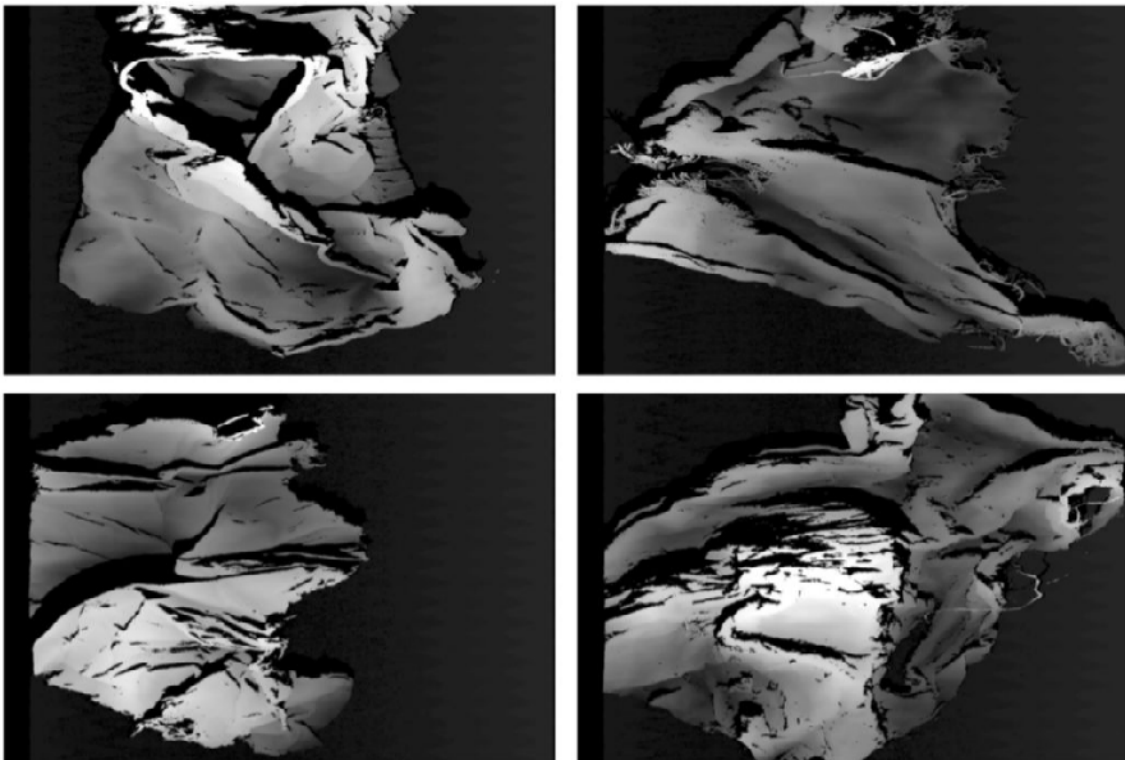
Im Rahmen einer Forschungsstudie wird am Lehrstuhl für Aufbereitung und Recycling I.A.R. der RWTH Aachen die Anwendung eines zusätzlichen Sensors zur Erkennung von Textilien aus Gewerbeabfall und Hausmüll entwickelt. Der Ansatz basiert auf der multisensorischen Erfassung mittels NIR-Sensor und 3D-Kamera sowie der anschließenden Datenfusion zur Erweiterung der bisherigen Merkmalsvektoren. Durch die sensorische Erfassung von Merkmalen der Produktvergangenheit jedes Abfallstücks wird in Kombination mit der Stoffgruppenzuordnung eines NIR-Sortierers eine Identifikation von Textilien ermöglicht.

Bei der Merkmalsdetektion von aus der Produktvergangenheit resultierenden Eigenschaften wird davon ausgegangen, dass die im Abfall enthaltenen Textilien „faltig“ vorliegen. Durch die mechanische Beanspruchung im Rahmen der Sammlung, des Transports und der Konditionierung der Abfälle werden die Textilien gedrückt und zerknautscht. Aufgrund der gewebten Struktur ergeben sich dabei typische Faltungen, die sich in der Topologie auf einem Förderband liegender Textilstücke erkennen lassen. Weder Papier noch Holz weisen diese Art von Faltungen auf. Papier verhält sich insofern ähnlich, dass es durch die Beanspruchung ebenfalls geknautscht wird, dabei wird die Struktur jedoch in der Regel geknickt und nicht weich gefaltet. Holz liegt aufgrund der Produktvergangenheit im Gewerbeabfall überwiegend als flaches Fragment von

Abfallforschungstage 2008 [www.wasteconsult.de](http://www.wasteconsult.de)

Verpackungen oder Möbeln vor, wodurch die Oberfläche der vereinzelt Holzstücke meist parallel zur Bandoberfläche des Sortieraggregats verläuft. Bruchkanten von Spanplatten weisen eine typische Textur auf, welche als zusätzliches Merkmal erkannt werden kann.

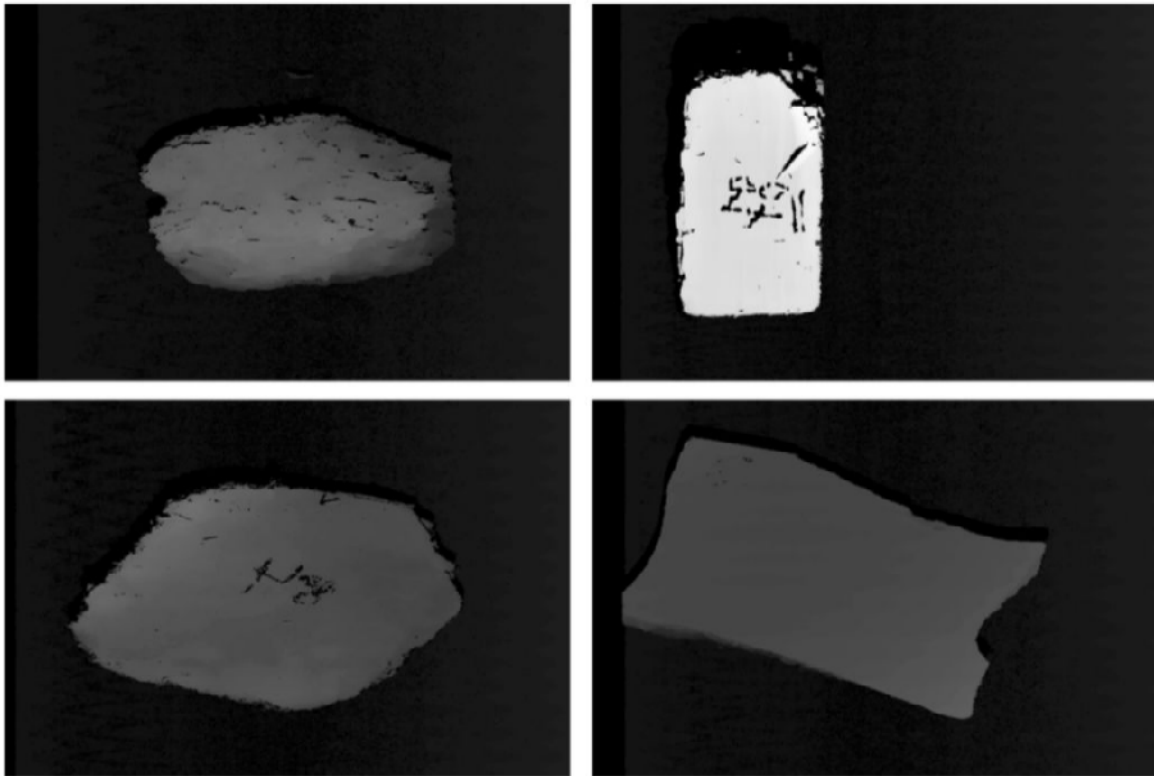
Zur sensorischen Erfassung der topologischen Merkmale wird eine 3D-Kamera eingesetzt. Diese erfasst den Stoffstrom hochauflösend nach dem Prinzip der Lasertriangulation. Das Licht eines Linienlasers wird senkrecht auf den Förderstrom projiziert und schräg von einer Kamera gefilmt. Aus dem Bild der Kamera wird die von der Objekt-oberfläche diffus reflektierte Laserlinie extrahiert und in ortsbezogene Höheninformationen umgerechnet. Eine Bildrate von mehreren hundert Herz ermöglicht die Aufnahme von hochauflösenden Höhenbildern des Stoffstroms bei Bandgeschwindigkeiten von mehreren Metern pro Sekunde. Höhenunterschiede von unter 0,2 Millimetern können detektiert werden. Als bildgebendes Verfahren liefert der 3D-Sensor endlose Graustufenbilder, die als verzerrungsfreier Blick von Oben auf den Stoffstrom zu sehen sind. Je heller die Bildpunkte sind, desto höher ist die Stelle des aufgenommenen Objekts. Das eingesetzte Verfahren ist weitestgehend unabhängig von der Objektfarbe. Lediglich sehr dunkle, transparente oder stark spiegelnde Stellen können nicht erfasst werden, da dort keine diffuse Reflektion des Linienlasers in die Kamera zu erwarten ist. Diese nicht messbaren Stellen werden im Sensorbild schwarz dargestellt.



**Abbildung 4** Topologische Aufnahmen von Textilproben

Vier mit der 3D-Kamera aufgenommene Sensorbilder unterschiedlicher Textilproben sind in Abbildung 4 dargestellt. Textilartige Faltungen der Einzelstücke sind eindeutig zu

erkennen. In Kombination mit der NIR-Information, dass es sich bei den Einzelstücken um „Holz“ oder „PPK“ handelt, kann auf die Stoffgruppe „Baumwolltextil“ geschlossen werden. Wird im NIR Gerät „Kunststoff“ erkannt, so liegt in dieser Merkmalskombination die Stoffgruppe „Kunstfasertextil“ vor. Zur Abgrenzung sind in Abbildung 5 typische Höhenbilder der Fraktion „Holz“ dargestellt. Die gleichmäßige Höhenverteilung sowie die typische Spanstruktur im oberen linken Bild in Zusammenhang mit der NIR Information machen eine eindeutige Abgrenzung zu der Stoffgruppe „Textil“ möglich.



**Abbildung 5** Topologische Aufnahmen von Holzproben

Das dargestellte Beispiel soll verdeutlichen, dass lediglich durch eine Erweiterung der Erkennungseinheit eines installierten sensorgestützten Sortiersystems neue Stoffgruppen bei der Gewerbeabfallaufbereitung erschlossen werden können, ohne aufwändige Änderungen im Maschinenbau oder Geräteaufstellung durchführen zu müssen. Der Ansatz liegt dabei in der multisensorischen Erfassung von Merkmalsvektoren zur Verbesserung und Erweiterung der Erkennung.

## 2.2 Entwicklung der Austragsmechanik

Neben der Sensoreinheit liegen auch im Bereich der Austragseinheit zur mechanischen Trennung des Stoffstroms weitreichende Entwicklungsmöglichkeiten.

Derzeit werden in vielen Systemen zeilenförmige Druckluftdüsenbänke mit schnell schaltenden Magnetventilen eingesetzt, die mit einem Druck von 6-8 bar erkannte Objekte aus dem Stoffstrom heraus schießen. Diese Technik funktioniert vor allem bei



schweren Objekten wie Hartkunststoffen, Holz oder der mineralischen Fraktion zufriedenstellend. Die Düsen können umso besser eingestellt werden, je homogener die Einzelstückparameter Form und Gewicht sind. Folien werden jedoch bei zu hohem Druck und auftretenden Luftverwirbelungen nicht immer präzise ausgetragen. Eine gezielte Anpassung der Druckluft an jedes Einzelkorn im Stoffstrom würde die Sortierleistung bei inhomogenen Gemischen deutlich verbessern.

Durch die Aufbereitung von Abfällen zu sekundären Rohstoffen sollen der Einsatz primärer Rohstoffe und damit der Einsatz von Energie reduziert werden. Auch bei der zur Aufbereitung eingesetzten Technik sollte deshalb der schonende Umgang mit Energieträgern in Form von Strom und Druckluft im Vordergrund stehen. Durch die Entwicklung effizienter Druckluftdüsen mit präzisiertem Luftkegel könnte der notwendige Luftdruck deutlich gesenkt und gleichzeitig die Sortierleistung gesteigert werden.

Ein anderer Ansatz zur Senkung des Energiebedarfs von automatischen Sortierern ist die Entwicklung von schnell beweglichen Auslenklappen, wie sie bereits von einem Hersteller eingesetzt werden. Durch Elektromotoren bewegte Kunststoffplatten schalten bis zu 6-mal pro Sekunde, und tragen so die Einzelstücke aus dem Stoffstrom aus. Anwendung findet dieses Verfahren derzeit bei Sortierern für Metall-Abfälle.

### **2.3 Online Analyse von Abfallgemischen**

Abfälle sind meist heterogene Stoffgemische mit stark schwankender Zusammensetzung. In Aufbereitungsanlagen werden Abfallgemische aufgeschlossen, sortiert und so behandelt, dass sie einer Wiederverwendung zugeführt oder schadlos entsorgt werden können. Die Art der Aufbereitung richtet sich dabei einerseits nach der Beschaffenheit der angelieferten Abfälle und andererseits nach den Anforderungen des Abnehmers für sekundäre Rohstoffe. Angelieferte Abfälle werden untersucht, um optimale Parameter zum Betrieb der Anlagentechnik ermitteln und einstellen zu können. Der Abnehmer der Endprodukte gibt Qualitätsanforderungen hinsichtlich Reinheit, Zusammensetzung und Form der Aufbereitungsprodukte vor. Vertraglich zugesicherte Qualitäten müssen dabei durch eine Abfallanalytik überwacht werden. Aufbereitungsprodukte mit bekannten Eigenschaften können nur auf diese Art primäre Rohstoffe ersetzen und einer gezielten Wiederverwertung zugeführt werden.

In der Praxis werden Abfallgemische einer manuellen Sichtprüfung unterzogen oder stichprobenartig im Labor analysiert. Die im Labor durchgeführten Analyseverfahren benötigen Zeit, entsprechend werden die Analyseergebnisse erst verzögert zur Parametrierung der Anlagentechnik genutzt. Zudem werden nur Stichproben eines heterogenen Gemisches untersucht. Weniger häufig vorkommende Bestandteile können so übersehen werden. Dies erschwert eine statistisch korrekte Hochrechnung der Stichprobenergebnisse auf die zu Grund liegende Abfallmenge.

Anzustreben ist also eine lückenlose Analyse aller angelieferten Abfälle hinsichtlich definierter Parameter. Je nach Zielanforderung können dies beispielsweise Heizwert, Wassergehalt, Störstoffanteil, Volumen oder Masse von einzelnen Bestandteilen sein. Durch eine berührungslose Messung mit Sensoren kann eine Online Prüfung am bewegten Stoffstrom durchgeführt werden. Die Auswahl der Sensorsysteme entscheidet dabei über die Art der erfassbaren Stoffparameter sowie die Präzision der Analytik. Ähnliche Sensoren werden mit der Zielsetzung der Stoffgruppenunterscheidung in sensorgestützte Sortiersystemen bereits eingesetzt.

Bei der Sortierung werden Stoffmerkmale wie Farbe, Kunststoffart oder Stoffdichte genutzt, um Abfallstücke gleicher Art anzureichern. Für eine Onlineanalytik sind andere Parameter maßgeblich, als sie bisher bei der Sortierung verwendet werden. So sollen beispielsweise Heizwert, Wasser- oder Chlorgehalt einer Probe gemessen werden. Hierzu ist eine Erfassung und Verknüpfung mehrerer Merkmale in Merkmalsvektoren notwendig. So kann beispielsweise der Heizwert nur indirekt erfasst werden. Dabei wird zunächst eine Stoffdatenbank angelegt. Für jede Stoffgruppe wird der Heizwert exemplarisch im Labor bestimmt und als Referenzwert hinterlegt. Per Online Messung wird an der zu messenden Abfallprobe eine Erkennung der Stoffgruppen durchgeführt. Mit einem zweiten Sensor werden Volumeninformationen ermittelt, um die räumliche Verteilung der Stoffgruppen besser abschätzen zu können. Erst durch die Verknüpfung dieser beiden Sensortechniken wird die Berechnung eines mittleren Heizwertes für das Abfallgemisch ermöglicht.

### **3 Zusammenfassung**

Sensorgestützte Sortiersysteme werden zur Anreicherung von Wertstoffen und Störstoffen bei der Aufbereitung fester Abfallstoffe eingesetzt. Die eingesetzten Systeme bestehen aus einer Zuführeinheit zur Materialkonditionierung, einer Sensoreinheit zur Ermittlung von Sortiermerkmalen und einer Austragseinheit zur mechanischen Trennung des Stoffstroms. Die in der Sensoreinheit verwendeten Algorithmen sind drauf ausgelegt, anhand der Sensordaten Sortierentscheidungen zu treffen.

Durch die Kombination von bestehenden Sensorsystemen mit zusätzlichen Erkennungsverfahren kann die Anzahl der identifizierbaren Stoffgruppen deutlich erweitert werden. So lassen sich beispielsweise mit einem NIR-Sensor in Kombination mit einer 3D-Kamera und Texturanalyse Textilien aus einem verschmutzten Abfallgemisch eindeutig identifizieren. Durch die Weiterentwicklung der Austragstechnik hinsichtlich Präzision und Energieeffizienz kann zum einen die Sortierleistung bei heterogenen Gemischen deutlich gesteigert werden. Zum anderen kann durch die Senkung des Systemdrucks oder den Einsatz von mechanischen Klappensystemen der Einsatz von Energieträgern deutlich gesenkt werden.

Im Bereich der Abfallanalytik werden zurzeit hauptsächlich Offline-Analyseverfahren eingesetzt. Dabei wird eine Stichprobe aus dem Abfall genommen und im Labor auf Stoffparameter wie Heizwert oder Wassergehalt analysiert. Die Ergebnisse der Stichprobe werden mit statistischen Methoden auf die beprobte Abfallmenge hochgerechnet. Aufgrund der meist inhomogenen Abfallzusammensetzung können dabei bei kleinen Probenmengen große Abweichungen der Parameter von Stichprobe und gesamter Abfallmenge entstehen. Eine Analyse des gesamten Abfalls mittels Laboranalytik ist aus zeitlichen Gründen nicht durchführbar.

Durch den Einsatz und die Kombination bestehender Sensoreinheiten aus Sortiersystemen kann eine nahezu lückenlose Online Analyse von Abfallströmen durchgeführt werden. Die hierzu notwendigen Entwicklungen der Sensortechnik und Algorithmik können zudem zur Erweiterung bestehender Sortiersysteme verwendet werden.

## 4 Literatur

Bitte erstellen Sie Ihre Literaturliste nach folgendem Muster:

Paul Fears, Eriez Magnetics Europe Ltd	2008	Tagung „Sensorgestützte Sortierung“ in Aachen. Vortrag „Maximising Mechanical Metal Recovery“, Informationen bei GDMB, Gesellschaft für Bergbau, Metallurgie, Rohstoff- und Umwelttechnik e.V.
Andreas Weingart, WMS Technology-Group	2008	„Metallsortierung - Leistungssteigerung durch Prozessoptimierung“, Beitrag zur Tagung „Sensorgestützte Sortierung“ in Aachen. Informationen bei GDMB, Gesellschaft für Bergbau, Metallurgie, Rohstoff- und Umwelttechnik e.V.
Prof. Dr. Thomas Pretz, Dipl.-Ing. Dirk Killmann	11/2007	„Innovative Sortiertechnologien zur Gewerbeabfallsortierung“, Müll und Abfall 11-2007, ISSN: 0027-2957

### **Anschrift des Verfassers**

Dipl.-Ing. Dirk Killmann  
 I.A.R. RWTH Aachen; Lehrstuhl für Aufbereitung fester Abfallstoffe  
 Wüllnerstr. 2  
 52062 Aachen  
 Telefon +49 241 80 95704  
 Email: killmann@ifa.rwth-aachen.de  
 Website: www.iar.rwth-aachen.de