

Herausforderungen der NIR-Sortierung von gemischten Abfällen aus Industrie und Gewerbe

Key-Words (3): NIR, Gewerbeabfall, Sortierung;

Gernot Kreindl, Institut für nachhaltige Abfallwirtschaft und Entsorgungstechnik, Leoben, Österreich

KURZFASSUNG: Im Rahmen eines Forschungsprojektes soll gezeigt werden, welches Potential an stofflich verwertbaren Materialien in gemischten Abfallströmen aus dem Gewerbe- und Industriebereich enthalten ist. Einführend wird auf verschiedene Sortiertechnologien, die im Bereich der Gewerbeabfallsortierung eingesetzt werden, eingegangen, wobei im späteren Verlauf dieses Artikels der sensorgestützten Sortierung, in diesem Fall der Nahinfrarotsortierung, eine bedeutende Rolle zu kommt. Ausgehend von wiederholten und manuell durchgeführten Sortieranalysen, die die Darstellung der stofflichen Zusammensetzung des Abfalls zum Ziel hatten, wurden anhand von Technikumsversuchen und dem Einsatz von Kleinmengen des Originalmaterials materialspezifische Parameter für weiterführende großtechnische Versuchsreihen an einer in Betrieb befindlichen NIR-Sortieranlage generiert. Die erhaltenen und bis dato verfügbaren Ergebnisse werden dargestellt und einer kritischen Diskussion unterzogen.

1 EINLEITUNG

Gemischte Abfälle aus der Industrie und dem Gewerbe beinhalten ein hohes Potential an Stoffen für eine wertstoffliche Verwertung. Neben dem kommunalen Abfallaufkommen haben auch die Menge sowie die Komplexität von Abfallströmen aus dem Gewerbe- und Industriesektor in den letzten Jahren stetig zugenommen. Laut dem Statusbericht 2009 [UBA, 2009], einer vom Bundesministerium für Land und Forstwirtschaft, Umwelt- und Wasserwirtschaft (BMLFUW) in Auftrag gegebener Bestandsaufnahme der österreichischen Abfallwirtschaft, fielen im Jahr 2008 etwas mehr als zwei Millionen Tonnen an Altstoffen im Gewerbe- und Industriebereich an. Dies entspricht rund 4 % des jährlichen Abfallgesamtaufkommens in Österreich.

Neben diesen getrennt gesammelten Altstoffen fallen jährlich auch große Mengen an gemischten Gewerbe- und Industrieabfällen an, deren enthaltene Wertstofffraktionen aufgrund von ungünstigeren Rahmenbedingungen schwerer rückgewinnbar sind und dies z.T. nur mit erhöhtem technischen Aufwand möglich ist. Die Abfallrahmenrichtlinie der EU, die in Österreich mit 12. Dezember 2010 in Kraft tritt und bis dahin in nationales Recht umgesetzt werden muss, setzt eine klare Prioritätenreihung. Dabei ist ein werkstoffliches Recycling vor anderen Abfallverwertungsverfahren (z.B. Abfallverbrennung) zu favorisieren (vgl. Abbildung 1).

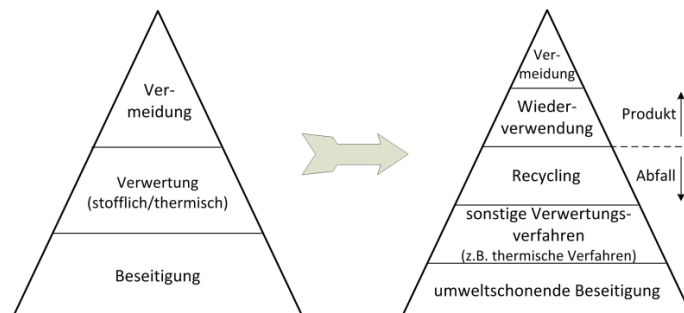


Abb. 1: Dreistufige Abfallhierarchie gemäß AWG 2002 im Vergleich zur fünfstufigen Abfallhierarchie der EU-Abfallrahmenrichtlinie

Mit der gegenwärtigen in Anbetracht der EU-Abfallrahmenrichtlinie viel diskutierten Thematik, Wertstoffe aus industriellen Abfallströmen für ein stoffliches Recycling zurück zu gewinnen, beschäftigt sich das Institut für nachhaltige Abfallwirtschaft und Entsorgungstechnik der Montanuniversität Leoben zusammen mit der Saubermacher Dienstleistungs AG im Rahmen eines von der Österreichischen Forschungsförderungsgesellschaft mbH (FFG) geförderten Forschungsprojektes.

2 SORTIERECHANNOLOGIEN IM BEREICH DES GEWERBEABFALLS

Sensorbasierte, vollautomatische Sortiertechniken gehören in der modernen Abfallwirtschaft im Bereich der Abfallsortierung zum Stand der Technik und haben mit Ausnahme der groben Abfallvorsortierung (Bodensortierung) manuell durchgeführte Sortierprozesse größtenteils abgelöst. Mittlerweile reicht die Palette der Sensortechnik von elektromagnetischen Sensoren über hochauflösende Kamerasysteme im VIS- und IR-Wellenlängenbereich bis hin zur materialelektiven Röntgentechnik. Durch den breiten Einsatz von leistungsfähiger Hardware (Fördertechnik, Sensorik, Detektoren etc.) zusammen mit intelligenten und effizient arbeitenden Softwarelösungen im Hintergrund ist man heute in der Lage, Materialien um ein vielfaches besser und schneller zu identifizieren und zu klassifizieren, als dies mit menschlichen Sortierkräften der Fall wäre. Die Faktoren „Wirtschaftlichkeit“ und „Einsatzfähigkeit“ spielen hierbei ebenfalls eine nicht zu vernachlässigbare Rolle. Im Nachfolgenden wird ein kurzer Überblick über etablierte, derzeit am Markt befindliche Sortiertechnologien im Abfallbereich gegeben und auf das jeweilige Einsatzgebiet eingegangen.

2.1 Farbzeilenkamera

Farbzeilenkameras, die in der Recyclingwirtschaft zur automatischen Sortierung von kleinen Objekten (z.B. Glasscherben) zum Einsatz kommen, dienen zur Erfassung verschiedener Eigenschaften von Objekten wie Farbe (z.B. Bunt- und Weißglas), Form, Größe und Oberflächenstruktur. Aktuelle Zeilenkameras erreichen dabei eine Auflösung von 0,3 mm pro Pixel und können Objekte mit einer minimalen Größe von 2 mm erkennen [Erdmann & Rehrmann, 2010].

In Abbildung 2 wird das Schema eines Farbzeilenkamera-Sortierers dargestellt. Der Materialstrom auf dem Förderband wird von mehreren Auflichtlampen beleuchtet, um sich vom Förderbandhintergrund abzuheben. Durchlichtlampen sorgen optional für einen besseren Kontrast sowie für die Möglichkeit transparente Materialien detektieren zu können. Entscheidend ist dabei eine gleichmäßige Ausleuchtung über die gesamte Sortierbandbreite. Dies wird u.a. durch den Einsatz neuartiger LED-Beleuchtungen erreicht, deren Lichtintensitäten stufenlos regelbar sind. Die Trennung in Auswurf und Durchlauf erfolgt nach der Detektion mithilfe eines gezielten Druckluftimpulses.

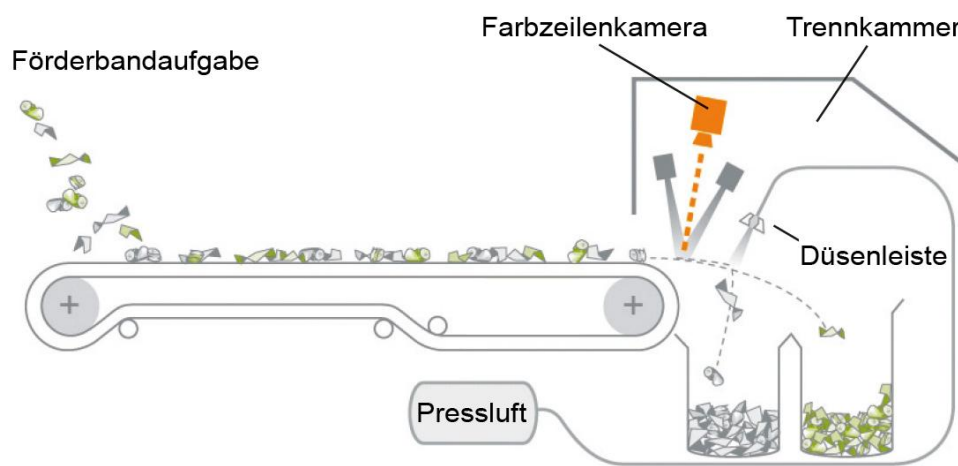


Abb. 2: Sortierung mittels Farbzeilenkamera

2.2 Elektromagnetische Sensoren

Das Haupteinsatzgebiet von elektromagnetischen Sensoren ist die Metallsortierung sowie Elektronikschrottaufbereitung. Das Prinzip beruht auf der Veränderung der elektromagnetischen Feldstärke eines künstlich erzeugten Magnetfeldes durch die im Abfallstrom enthaltenen elektrisch leitfähigen Materialien. Unter dem Förderband sind in einem Abstand von wenigen Zentimetern Spulen platziert, die durch das Anlegen von Spannung ein hochfrequentes nach oben gerichtetes elektromagnetisches Feld aufbauen. Wird ein leitfähiges Material (z.B. Metalldraht) über dieses Feld geführt, bewirkt dies eine Induktion von Wirbelströmen (vgl. Abbildung 3) und hat einen Energieverlust des Feldes zu Folge. Diese Änderung kann durch einen in seiner Empfindlichkeit regelbaren elektromagnetischen Sensor detektiert werden. Das Auflösungsvermögen moderner Systeme mit variablen Schaltschwellen kann durch digitale Bildverarbeitungstechniken der Sensorsignale erhöht werden.

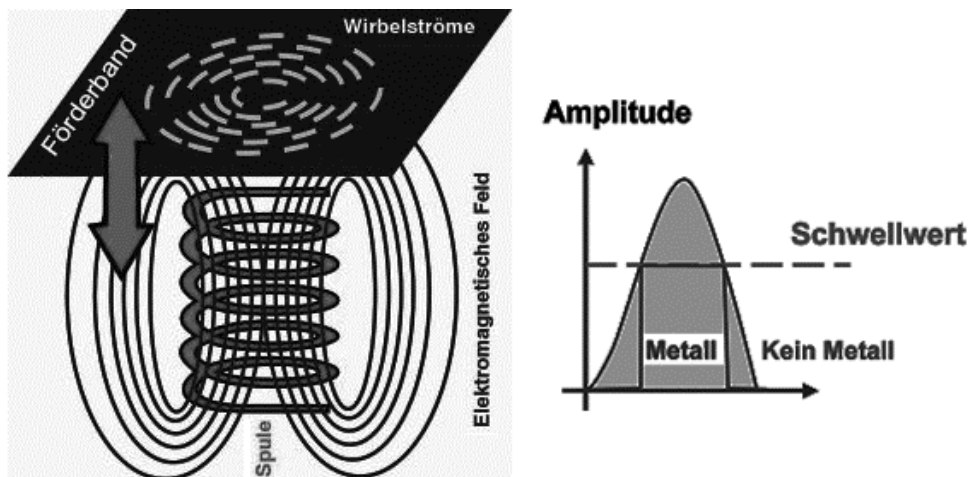


Abb. 3: Funktionsprinzip eines elektromagnetischen Sensors

2.3 Nahinfrarotspektroskopie

Sortiersysteme, die im Nahinfrarot (NIR-)bereich (10^{-1} bis 10^{-5} m) arbeiten, basieren auf dem Prinzip von Transmission und Reflexion von Strahlung. Bei der Bestrahlung im Infrarotbereich kommt es bei einer Vielzahl von Materialien zur Ausprägung ganz spezifischer Reflexionseigenschaften, d.h. bei bestimmten Wellenlängen, die der Resonanzfrequenz der bestrahlten Moleküle entsprechen, beginnen die Moleküle zu schwingen. Ein Teil der vom Objekt nicht absorbierten Wellenlängen werden diffus reflektiert und können detektiert werden. Durch die Ausnutzung dieses Effektes ist es möglich, Materialarten eindeutig und in Echtzeit bestimmen zu können. Vergleichbar mit einem „Fingerabdruck“ sind die Spektren, die durch das reflektierte Licht wiedergegeben werden, für jede Materialart spezifisch.

Das mittels Förderband in die Anlage transportierte Material wird in einer oberhalb des Bandes platzierten Scannereinheit identifiziert. Für die im nächsten Schritt erfolgende Aussortierung werden relevante Objekteigenschaften wie Materialart, Form, Struktur sowie deren Position am Förderband gespeichert. Die Ausschleusung des zuvor definierten Zielobjekts erfolgt positiv oder negativ. Bei der Positivsortierung (Wertstofffraktion im Auswurf) werden Objekte gezielt pneumatisch über eine Düsenleiste mit Ventilen am Ende des Förderbandes ausgetragen. Im Zuge der Negativsortierung (Wertstoffe im Durchlauf), die im Zuge der Sortierung einen nachgeschalteten optionalen Schritt darstellt, kommt es zu einer Rest-Störstoffentfrachtung des Materialstromes, d.h. noch enthaltene nicht gewünschte Objekte werden mittels Druckluft ausgeschleust. Eine Verfahrensskizze ist in Abbildung 4 dargestellt.

Im Bereich der Kunststoff-Hohlkörpersortierung (Gelber Sack/Gelbe Tonne) werden NIR-Sortieranlagen bereits großtechnisch mit Erfolg eingesetzt. Die Ausweitung des Einsatzgebiets auf gemischte Gewerbeabfälle ist derzeit noch beschränkt.

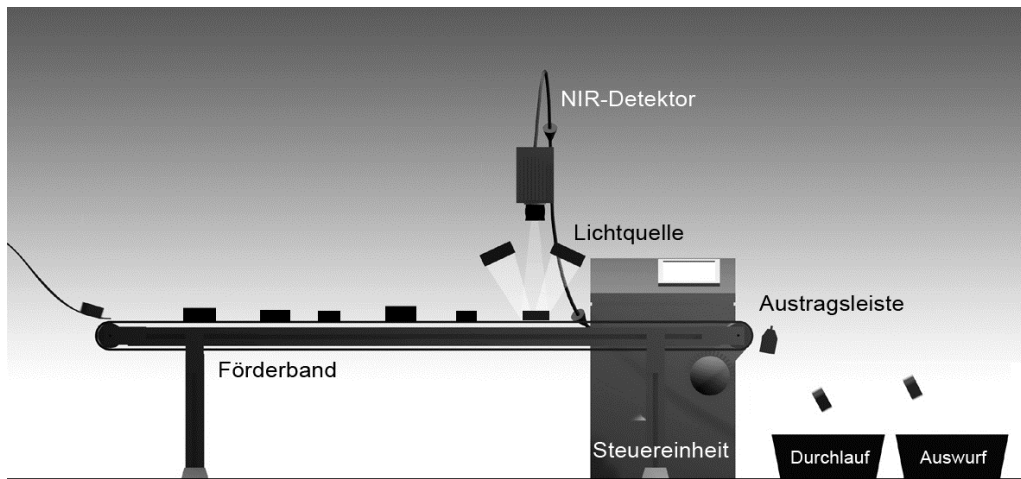


Abb. 4: Funktionsprinzip Nahinfrarotspektroskopie

2.4 Röntgensortierung

Röntgenstrahlung wird schon seit langem in der Medizintechnik und in der zerstörungsfreien Materialprüfung eingesetzt. Diese kurzwellige elektromagnetische Strahlung hat die Eigenschaft Materie (z.B. Abfallstoffe) zu durchdringen. Im Gegensatz zu den bereits erwähnten optischen Sortierverfahren (Farbzeilenkamera und Nahinfrarotspektroskopie), deren Sortierleistung stark vom Verschmutzungsgrad der zu detektierenden Materialien (negativ) beeinflusst wird, haben bei der Röntgentechnik Anhaftungen von Schmutzpartikeln im Allgemeinen keinen Einfluss auf die Materialerkennung. Die Strahlung wird durch die atomare Zusammensetzung und der damit einhergehenden werkstofflichen Dichte der durchstrahlten Materie beeinflusst, d.h. es tritt ein zu messender Schwächungseffekt auf. Diese Schwächung wird von bildgebenden Zeilensensoren aufgenommen und mit den klassischen Methoden der Bildverarbeitung ausgewertet. Das Funktionsprinzip einer Röntgensortierung ist in Abbildung 5 dargestellt.

Ein potentielles Einsatzgebiet für Röntgensortierer liegt in der materialspezifischen Erkennung von dunklen und/oder stark verschmutzten organischen Materialien (Kunststoffe, Holz, etc.) aber auch von anorganischen Inertmaterialien wie Steine, Ziegel, etc. Bei der Ersatzbrennstoffproduktion können Chlorträger wie dunkle, stark verschmutzte PVC-Kunststoffe sowie anorganische Bestandteile (Steine, Keramik, etc.) aus dem Ersatzbrennstoff entfernt werden. Die im Zuge der Aufbereitung von Haus- und Gewerbemüll anfallende Schwerfraktion kann ebenfalls mit Hilfe dieser Technik in eine verwertbare (Kompostierung oder Verbrennung) organische Fraktion und eine ablagerungsfähige Fraktion getrennt werden.

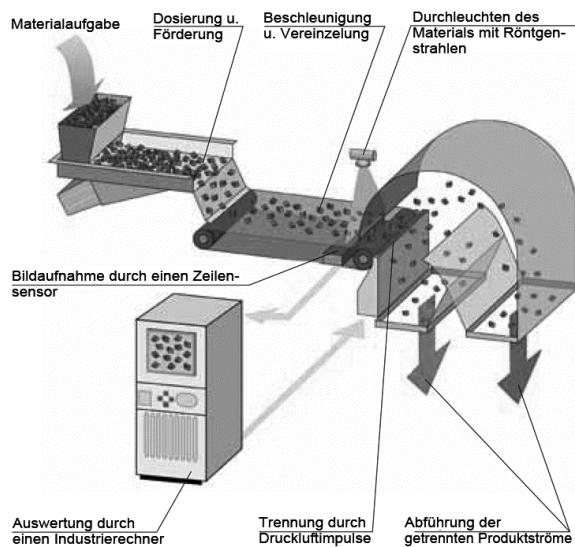


Abb. 5: Funktionsprinzip Röntgensortierung [Zeiger, 2006]

3 POTENTIALE DER WERTSTOFFAUSBRINGUNG AUS GEWERBE- UND INDUSTRIEABFÄLLEN

Der direkte Einsatz von NIR-Technologie zur automatischen Sortierung von gemischten Gewerbe- und Industrieabfällen ist ohne Voraufbereitung nicht möglich. Aus diesem Grund wurden in einer Splittinganlage für Gewerbemüll hergestellte Stoffströme (Hochkalorik (HK), Mittelkalorik (MK)), die als Ersatzbrennstoff thermisch verwertet werden, einer näheren Untersuchung unterzogen. Zur Materialcharakterisierung wurden Sortieranalysen (vgl. 3.1) durchgeführt, aufgrund derer das in den Abfällen enthaltene Wertstoffpotential (Kunststoffe, Papier, Karton) ermittelt werden konnte.

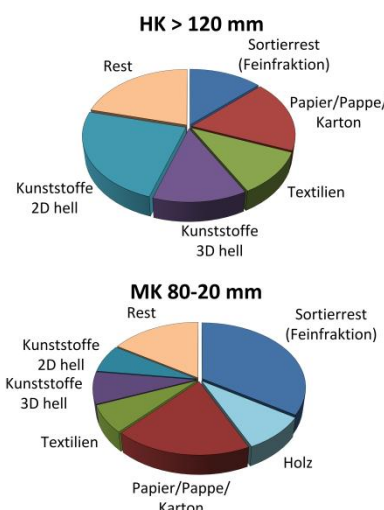
Kleinversuche mit Originalmaterial im Technikum eines Anlagenbauers dienen der Abschätzung des Technologiepotentials und der Ermittlung von optimalen Parametern für die später folgenden Großversuche an einer bestehenden NIR-Sortieranlage für Verpackungsmaterialien mit einer Kapazität von 35.000 Jahrestonnen.

3.1 Sortieranalysen

Das in der zuvor erwähnten Splittinganlage für Gewerbeabfälle voraufbereitete Material wurde quartalsweise (4. Quartal 2009 bis 3. Quartal 2010) einer Sortieranalyse unterzogen. In Tabelle 1 wird die ermittelte Materialzusammensetzung der beiden anfallenden Hauptoutput-Fractionen, die Hochkalorik (HK) > 120 mm ($H_u \sim 18$ MJ/kg TS) wie auch die Mittelkalorik (MK) 20-80 mm ($H_u \sim 14$ MJ/kg TS) dargestellt. Insgesamt wurden 14 Fraktionen wie folgt definiert:

Tab. 1: Durchschnittliche Abfallzusammensetzung der Hoch- (HK) und Mittelkalorik (MK)

Sortierte Fraktionen	Ø HK [kg]	HK [%]	Ø MK [kg]	MK [%]
Interstoffe	0,2	<1	3,2	3
Metalle	0,7	1	0,4	<1
Textilien	7,6	11	5,1	6
Getränkeflaschen (PET)	1,2	2	1,1	1
Papier/Pappe/Karton	12,5	18	13,7	17
Holz	4,0	6	7,9	10
Sonstige Organik	0	0	0,7	1
Problemstoffe/ gefährlicher Abfall	0	0	0	0
Kunststoffe 2D dunkel	2,0	3	0,6	1
Kunststoffe 3D dunkel	3,1	4	2,0	3
Kunststoffe 2D hell	16,5	23	5,3	7
Kunststoffe 3D hell	9,8	14	6,0	8
Sortierrest (Feinfraktion)	8,0	11	26,5	34
Verbundstoffe	5,3	8	6,0	8



Aus den oben angeführten Abbildungen ist klar zu erkennen, dass bei der Hochkalorik neben den hellen Kunststoffen (2D & 3D) die Fraktion Papier/Pappe/Karton überwiegt. Die Mittelkalorik enthält weniger Kunststoffe und setzt sich im Wesentlichen aus einer Papier/Pappe/Karton- und Holzfraktion zusammen. Der größte Teil, rund 1/3, entfällt auf den Sortierrest, der auf Grund der kleinen Korngröße nicht mehr weiter sortierbar war.

3.2 NIR-Sortierung & Auswertung

Die durchgeführten und vorher beschriebenen Sortieranalysen lieferten den z.T. recht hohen Anteil an stofflich verwertbaren Altstoffen im Gewerbe- und Industrieabfall zu Tage. Dabei wurde bei den anschließenden NIR-Sortierversuchen das Augenmerk besonders auf die Fraktion Papier/Pappe/Karton bzw. Kunststoffe hell gelegt. Eine Tonne Altpapier in der Qualität „Gemischte Ballen 1.02“ wird z.Z. am Sekundärrohstoffmarkt mit 70-75 € [Quelle: EUWID, Stand: Juli 2010] gehandelt. Zur Zeit der Versuche im 2. Quartal 2010 existierte in Europa, vor allem aber auch in Österreich, eine erhöhte Nachfrage nach Altpapier, die nur mit Hilfe von Mengenimporten aus dem Ausland gedeckt werden konnte. Ähnliche Nachfrage besteht bei diversen

Altkunststoffen, dessen Handelswerte pro Tonne Sekundärmaterial von 280-320 €/t bei PE-Folien natur (post user) bis zu 450 €/t bei PET-Einweg/Pfandflaschen klar reichen [Quelle: EUWID, Stand: Juli 2010].

Im nächsten Schritt, nachdem das z.T. recht hohe Wertstoffpotential des untersuchten Gewerbe- und Industrieabfalls ermittelt wurde, galt es erlösbringende Teilfraktionen mit Hilfe der NIR-Technik aus dem Inputmaterial abzutrennen. Um die optimalen Parameter für die nachfolgenden Großversuche an einer in Betrieb stehenden NIR-Sortieranlage zu finden, wurden im Vorfeld Kleinversuche, die sich über einen Zeitraum von ca. einem Monat erstreckten, an einer NIR-Technikumsanlage durchgeführt. Im Zuge dieser Versuchsreihen, die mit Originalmaterial mehrfach wiederholt wurden, konnten optimale Einstellungen (Empfindlichkeit, Auslöseverzögerung sowie Dauer und Stärke des Druckluftstoßes etc.) für die automatisierte Sortierung der Hoch- und Mittelkalorik ermittelt werden. Mit den gewonnen Datensätzen, bei denen es sich im Wesentlichen um Softwareeinstellungen der NIR-Sorter handelte, wurde abschließend die „reale“ NIR-Sortieranlage upgedatet.

Die Großversuche erfolgten Mitte Juni 2010, bei der die bestehende NIR-Anlage für die Dauer der Versuche modifiziert wurde. Das Ablaufschema der Sortierung gliederte sich in sechs Teilschritte, wobei drei NIR-Sorter in Serie geschaltet sind. In der nachfolgenden Abbildung 6 wird die Verfahrensweise grafisch dargestellt.

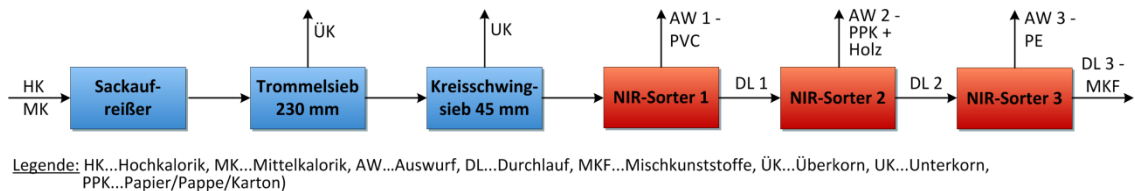


Abb.6: Verfahrensschema – Großversuche NIR-Sortierung

Neben der Abtrennung von PVC beim ersten NIR-Sorter, das je nach Qualität in ein werkstoffliches Recycling bzw. Downcycling, in ein chemisches Recycling oder in die Verbrennung gehen kann, wurden bei den anschließenden Sortern die Fraktionen Holz+PPK sowie PE abgetrennt. Da Holz einen ähnlichen atomaren Aufbau wie Papier und Karton besitzt und auch als Rohstoff für die Papier- und Kartonagenerzeugung dient, erwies es sich bereits bei den Vorversuchen im Technikum als äußerst schwierig beide Fraktionen getrennt voneinander zu erfassen. NIR-Sorter 3 wurde auf die Erkennung von Polyethylen (PE) eingestellt, da bereits die Technikumsversuche gezeigt haben, dass ein Großteil der in der Hoch- sowie in der Mittelkalorik enthaltenen Kunststoffe, insbesondere flächige Folien, aus diesem Material bestehen. Der Großteil der im Abfall enthaltenen biogenen Bestandteile wurde durch das im Unterkornaustag (UK) enthaltenen Feingut aus der Anlage ausgetragen, der Rest ist in der Fraktion Holz+PPK zu finden. Der Durchlauf aus dem dritten und letzten Sorter, der vorwiegend aus Materialien fossilen Ursprungs besteht, kann als Mischkunststofffraktion (MKF) bezeichnet werden und wurde noch während den laufenden Versuchen direkt zu Ballen verpresst.

Zur Ermittlung der anfallenden Massenströme im System wurden nach der jeweiligen Versuchsreihe alle aussortierten Fraktionen zur Zwischenlagerung zu Ballen verpresst und verwogen, damit repräsentativ gewonnene Teilmengen daraus an den darauffolgenden Tagen einer Sortieranalyse unterzogen werden konnten. Dies war notwendig, um Aussagen über das Sortierergebnis (Sortenreinheit der Fraktionen, Fehlwürfe, Ausbringungsraten) treffen zu können. In der nachfolgenden Tabelle 2 werden die erhaltenen Ergebnisse aus den Großversuchen dargestellt. Der Gesamtinput der Hochkalorik betrug gerundet 5.400 kg, jener der Mittelkalorik ca. 7.000 kg.

Zusätzlich zu den unten beschriebenen Detailzusammensetzungen des automatisch aussortierten Materials, erfolgte beim PE-Auswurf der Hoch- und Mittelkalorik eine Überprüfung der Kunststoffe mittels NIR-Hand-Gerät.

Tab. 2: NIR-Sortierergebnis Hochkalorik (HK) und Mittelkalorik (MK)

Sortierte Fraktionen	HK [kg]	HK [%] ¹	MK [kg]	MK [%]
AW 1 – PVC	182	3	108	2
AW 2 – Papier/Pappe/Karton + Holz	334	6	271	4
AW 3 – PE	1.413	26	630	9
Feinfraktion (< 45 mm)	640	12	2.820	42
DL 3 – MKF	2.425	45	2.848	43
Überkorn (ÜK, > 230 mm)	396	7	4,3	0

¹ Abweichung von 100% aufgrund Rundungsfehler

AW...Auswurf, DL...Durchlauf

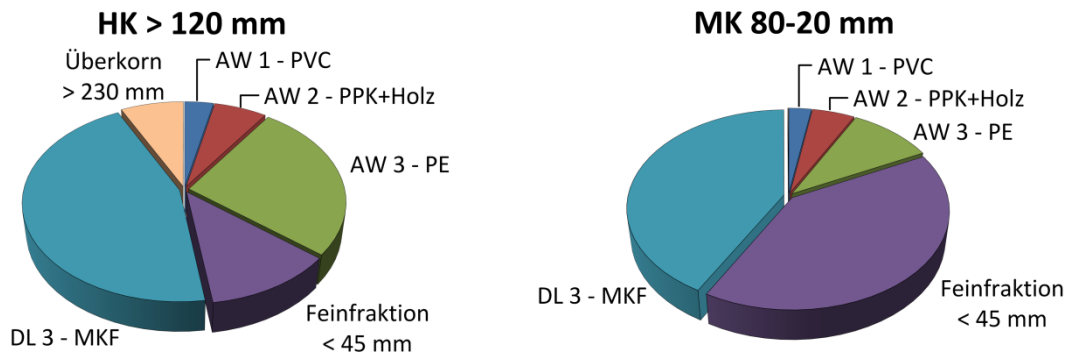


Abb. 7: Sortierergebnis HK und MK

4 ZUSAMMENFASSUNG UND SCHLUSSFOLGERUNGEN

Die durch die Großversuche mit der NIR-Anlage gewonnenen Teilfraktionen wurden im Anschluss an die Verwiegung einer Sortieranalyse unterzogen, um Aussagen über das Sortierergebnis allgemein und die Abscheidegrade sowie Reinheiten der Fraktionen treffen zu können.

Die Interpretation der Ergebnisse der manuellen Sortierungen lieferten folgende Aussagen über den sensorgestützten Sortierversuch der Hoch- bzw. Mittelkalorik. Dabei wird jeweils auf jene Fraktionen eingegangen, die prozentual bzw. mengenmäßig gesehen am häufigsten (> 10 %) vorkommen. Die in Klammer angegebenen Mengenströme sind jeweils auf die Gesamtinputmenge von ca. 5,4 t HK bzw. ca. 6,7 t MK bezogen. Die stoffliche Zusammensetzung der gewonnenen Feinfraktion (**Unterkorn**) wurde weder bei der HK noch bei der MK berücksichtigt.

- Der **PVC-Auswurf** der Hochkalorik enthält etwas mehr als ein Drittel (34,5 %) helle körperförmige Kunststoffe. Bezogen auf den Massenstrom ergibt dies eine Ausschleusung von ca. 47 kg an PVC. Zusätzlich fielen ca. 21 % (29 kg) an hellen flächenförmigen Kunststoffen an.
- Mehr als die Hälfte (ca. 56 %) des **PPK+Holz-Auswurfs** der Hochkalorik bestand tatsächlich aus diesem Material. Dies entspricht einer richtig erkannten Menge von ca. 148 kg. Neben dieser Fraktion wurden auch noch ca. 13 % (34 kg) an Textilien im Auswurf gefunden.
- Ca. 39 %, umgerechnet 526 kg, an hellen PE-Kunststofffolien wurden im **PE-Auswurf** der Hochkalorik gefunden. Die mit Abstand am zweithäufigsten vorkommende Fraktion war PPK-Material, das mit ca. 20 % (271 kg) vertreten war. Dies ist durch Anhaftungen und Klebebänder in erster Linie an den Verpackungskartonagen zu erklären. Eine später durchgeführte Kunststoffbestimmung mittels Hand-NIR-Gerät im Labor lieferte eine richtige Erkennungsquote von 66 % des PE-Materials zu Tage.
- Der **Durchlauf 3** der Hochkalorik, die **Mischkunststofffraktion** ist zu rund 28 % (653 kg) aus PPK-Material zusammengesetzt. Ca. 15 % (354 kg) entfällt auf die Fraktion Kunststoffe 2D hell, weitere 13 % (314 kg) auf Textilien.
- Das **Überkorn** der Hochkalorik bestand vorwiegend aus der Fraktion Kunststoffe 2D hell (ca. 29 % bzw. 108 kg). PPK und Verbundstoffe machten jeweils ca. 14 % bzw. 52 kg aus.

- Im **PVC-Auswurf** der Mittelkalorik wurden ca. 34 % (37 kg) an hellen körperförmigen Kunststoffen gefunden. Neben Textilien mit rund 15 % (17 kg) ist die Fraktion PPK (ca. 13 % bzw. 14 kg) und Kunststoffe 2D hell mit rund 12 % (13 kg) am häufigsten vertreten.
- Ca. 40 % (109 kg) an Holz und rund 36 % (98 kg) an PPK-Material konnte im **PPK+Holz-Auswurf** der Mittelkalorik wiedergefunden werden.
- Der **PE-Auswurf** der Mittelkalorik gliedert sich in ca. 28 % (178 kg) Kunststoffe 2D hell, ca. 26 % (164 kg) PPK-Material sowie ca. 11 % (71 kg) Kunststoffe 3D hell. Der nicht mehr sortierfähige Feinanteil beträgt ca. 12 % (72 kg). 60 % der in der Probe enthaltenen Kunststoffe waren auch tatsächlich aus PE-Material.
- Ungefähr ein Drittel (ca. 31 % bzw. 872 kg) des **Durchlauf 3** der Mittelkalorik, die sogenannten **Mischkunststoffe** können der Fraktion PPK zugeordnet werden. Hierbei wird wiederum vermutet, dass Anhaftungen von Klebebändern an der ungenügenden Papier- und Kartonagenausschleusung schuld sind. Holz ist gefolgt von einem nicht mehr sortierfähigen Rest (ca. 12 % bzw. 328 kg) mit ca. 14 % (407 kg) in der Mischkunststofffraktion vertreten. Kunststoffe der Fraktion 3D hell sind hingegen mit ca. 10 % (296 kg) im Vergleich zu den anderen Fraktionen relativ gering vertreten.
- Im **Überkorn** der Mittelkalorik sind de facto nur noch Kunststoffe zu finden, wobei diese Fraktion mit insgesamt etwa mehr als 4 kg nicht wirklich ins Gewicht fällt.

Vergleicht man die Ergebnisse des Großversuchs mit jenen der Technikumsversuche kommt man zu dem Schluss, dass diese doch deutlich voneinander abweichen. Vor allem das Ausbringen von Wertstoffen und die damit verbundenen Abscheidegrade, Reinheiten, Fehlwurfquoten etc. lagen im Vorfeld bei den Technikumsversuchen, die mit Kleinmengen und einer händisch realisierten Aufgabe gefahren wurden, deutlich besser. Ein noch zu lösendes Problem liegt in der Vereinzelnung und kontinuierlichen Aufgabe des Materials auf die Anlage. Trotz des Aufschneidens der zu Ballen verpressten Hochkalorik, konnte keine optimale Vereinzelnung (Monolayer) am Förderband erreicht werden. Eine Lösung zur verbesserten Aufgabe sowie weiter Detailoptimierungen sollen im Zuge von weiterführenden Versuchen ermittelt werden.

Nichtdestotrotz haben die Großversuche gezeigt, dass gemischte Abfälle aus Industrie und Gewerbe ein Potential hinsichtlich der stofflichen Nutzung von Wertstoffen im Sinne der Einsparung von Primärressourcen aufweisen. Dieses Potential gilt es in Zukunft mit geeigneten Vorbehandlungsstufen und Aufbereitungstechniken erschließbar zu machen. Die sensorbasierte NIR-Sortierung ist dabei eine Schlüsseltechnologie. Besonders in Hinblick auf einen der ersten in Österreich stattgefundenen großtechnischen Versuche markfähige Wertstoffströme aus Gewerbeabfällen zu generieren, gilt es für das laufende Forschungsprojekt Details in Hinblick auf folgende Bereiche zu überarbeiten:

- Vorbehandlung: Verbesserung der Materialaufgabe um eine gute Vereinzelnung des Materials auf den Förderbändern zu gewährleisten. Dies hat direkten Einfluss auf die NIR-Erfassung und auf die Ausschleusung von definierten, verwertbaren Altstoffen.
- NIR-Sensortechnik: Bessere Abstimmung der NIR-Sensoren auf das Material, d.h. damit in Zukunft auch Altpapier- und Kartonagenfraktionen von Holz unterschieden werden können. Ziel ist die Generierung einer nahezu holzfreien Fraktion.
- Wirtschaftlichkeit: Detailzusammensetzung der MKF-Fraktion. Welche Kunststoffe sind in dieser Fraktion noch enthalten bzw. können mit vertretbarem Aufwand sortenrein mit Hilfe der NIR-Technologie aussortiert werden? Welche Erlöse sind neben denen des Altpapiers mit den Kunststoffen lukrierbar.

LITERATUR

- Umweltbundesamt GmbH (Hrsg.) (2009) *Die Bestandsaufnahme der Abfallwirtschaft in Österreich*. Klagenfurt, Österreich: UBA.
- Erdmann, E. & Rehrmann V. (2010) Automatische Sortierung – Stand der Technik und Ausblick auf die Technologieentwicklung. In: *Recycling und Rohstoffe, Band 3*, pp. 327-338.
- Zeiger, E. (2006) Sortierung verschiedener Abfallströme mit Mogensens Röntgensortiertechnik. In: *Aufbereitungstechnik 47 (2006) Nr.3*.
- EUWID (2010) Recycling und Entsorgung. Europ. Wirtschaftsdr. GmbH, Gernsbach, Deutschland.