

Masterarbeit

Stoffliche Verwertung von Abfällen- Einsatz der Nahinfrarot-Sortiertechnik im Bereich von Gewerbeabfällen

erstellt am

**Institut für nachhaltige Abfallwirtschaft und
Entsorgungstechnik**

für die

Saubermacher Dienstleistungs AG

Vorgelegt von:

Stephanie Fleischhacker
m0435080

Betreuer:

O.Univ.Prof.Dr.-Ing. Karl E. Lorber
Dipl.-Ing. Gernot Kreindl
Dipl.-Ing. Alexander Curtis

Leoben, 18.03.2011

EIDESSTATTLICHE ERKLÄRUNG

Ich erkläre an Eides statt, dass ich diese Arbeit selbständig verfasst, andere als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel nicht benutzt und mich auch sonst keiner unerlaubten Hilfsmittel bedient habe.

AFFIDAVIT

I declare in lieu of oath, that I wrote this thesis and performed the associated research myself, using only literature cited in this volume.

DANKSAGUNG

Mein größter Dank gilt meiner Familie für jegliche Unterstützung. Vor allem danke ich meinen Eltern, denn sie haben mir das Studium in Leoben erst ermöglicht.

Ich möchte mich an dieser Stelle auch bei allen Professoren bedanken, sowie bei Dipl.-Ing. Gernot Kreindl und Dipl.-Ing. Alexander Curtis für das Zustandekommen dieses Projektes und für die Betreuung meiner Masterarbeit.

Ein weiterer Dank gilt all meinen Freunden und Kollegen, die mich durch die Studienzeit begleitet haben.

Ich danke meinem Freund Christoph Fasching für seine Unterstützung und seinen Optimismus.

Ein letzter Dank gilt der Familie Fasching, die mich freundlich aufgenommen und in jeder Hinsicht unterstützt hat.

Kurzfassung

Stoffliche Verwertung von Abfällen- Einsatz der Nahinfrarot-Sortiertechnik im Bereich von Gewerbeabfällen

Der Einsatz der Nahinfrarottechnik (NIR) für die Sortierung von Abfall zählt in bestimmten Einsatzgebieten zum Stand der Technik. Diese Masterarbeit befasst sich mit der noch kaum eingesetzten NIR-Technik im Bereich der Sortierung von Gewerbeabfall, wobei die aussortierten Wertstoffe einer stofflichen Verwertung zugeführt werden sollen. Dazu wird zuerst die rechtliche Situation der stofflichen Verwertung in Österreich geklärt. Danach wird die Technologie mit ihren Vor- und Nachteilen, dem Stand der Technik und ihren Einsatzgebieten beschrieben. Die Eignung des Verfahrens zur Sortierung von Gewerbeabfall wird im Zuge von Großversuchen in einer bereits bestehenden NIR-Anlage zur Sortierung von Kunststoffhohlkörpern untersucht. Die Reinheit, Qualität und Quantität der abgetrennten Wertstoffströme wird dabei ermittelt und Rückschlüsse auf ihre Marktfähigkeit gezogen. Die Ergebnisse werden für die spätere Planung einer Versuchs-Sortieranlage zur Abtrennung von Papier, Pappe und Karton (PPK) und Kunststoffen herangezogen. Der Einsatz der aussortierten PPK-Fraktion als Mischpapier in einer stofflichen Verwertung wird wirtschaftlich untersucht und die Nachrüstung einer Splittinganlage mit einem NIR-Aggregat monetär bewertet. Abschließend erfolgt eine Diskussion der Ergebnisse der Arbeit.

Abstract

Waste recycling- Use of near infrared sorting technology in the field of commercial waste

The sorting of waste by using near infrared (NIR) technology already is implemented in some sectors. This paper deals with the scarcely use of NIR-technology for the sorting of commercial waste, where the separated recyclable fraction will be used in recycling plants. At the beginning, the legal situation of recycling in Austria is clarified. Then the NIR-method with their advantages and disadvantages, as well as the best available technology and their application are specified. The ability of NIR-technology for sorting of commercial waste is analyzed in large scale-tests in an existing NIR-plant for the sorting of plastic bottles (hollow bodies). The separated material streams are tested for purity, quality and quantity as well as for their marketability. With these results achieved, a pilot NIR-sorting plant for separating papers, paperboards, cardboards and plastics is planned. The use of mixed paper in a recycling economy is investigated and the necessary investments for the extension of the pilot plant with a NIR-system are calculated. Finally the results of this work are discussed.

Inhaltsverzeichnis

	Seite
1 EINLEITUNG	4
1.1 Problemstellung	5
1.2 Zielsetzung	5
2 EINFÜHRUNG IN DIE NAHINFRAROT-SORTIERTECHNOLOGIE	7
2.1 Nahinfrarotspektroskopie	7
2.2 Nahinfrarot-Sortiertechnik	8
2.3 Vorteile der NIR-Technik.....	11
2.4 Nachteile der NIR-Technik.....	12
2.5 Stand der Technik.....	12
2.5.1 Entwicklungen der sensorgestützten Sortierung	12
2.5.2 Aufbau eines sensorgestützten Sortierers.....	13
2.5.3 Sensortypen und -systeme	15
2.5.4 Sortiermaschine „REDWAVE“	16
2.6 Einsatzgebiete	22
2.7 Neue Entwicklungen	23
3 SORTIERVERSUCHE	24
3.1 Ablauf der Sortierversuche	24
3.2 Sortierversuch Hochkalorik	25
3.2.1 Versuchsablauf Hochkalorik.....	25
3.2.2 Dokumentation des Versuchs Hochkalorik.....	29
3.3 Sortierversuch Mittelkalorik.....	34
3.3.1 Versuchsablauf Mittelkalorik	34
3.3.2 Dokumentation des Versuchs Mittelkalorik.....	35
4 ERGEBNISSE DER SORTIERANALYSE	40
4.1 Sortierergebnis Hochkalorik.....	40
4.1.1 Auswurf 1 (PVC)	40
4.1.2 Auswurf 2 (biogen).....	42
4.1.3 Auswurf 3 (PE).....	43
4.1.4 Durchlauf 3 (fossil)	44
4.1.5 Feinfraktion (<45 mm).....	46
4.1.6 Überkorn (>230 mm).....	46

4.2	Interpretation des Sortierergebnisses Hochkalorik.....	47
4.2.1	Auswurf 1 (PVC).....	47
4.2.2	Auswurf 2 (biogen).....	48
4.2.3	Auswurf 3 (PE).....	48
4.3	Sortierergebnis Mittelkalorik.....	49
4.3.1	Auswurf 1 (PVC).....	50
4.3.2	Auswurf 2 (biogen).....	51
4.3.3	Auswurf 3 (PE).....	52
4.3.4	Durchlauf 3 (fossil).....	53
4.3.5	Feinfraktion (<45 mm).....	54
4.3.6	Überkorn (>230 mm).....	54
4.4	Interpretation des Sortierergebnisses Mittelkalorik	55
5	MARKTSTUDIE	57
5.1	Entwicklung des Sekundärrohstoffmarktes	57
5.2	Altstoffmarkt.....	59
5.2.1	Altpapiermarkt.....	59
5.2.1.1	Analyse des Altpapiermarktes.....	59
5.2.1.2	Erlöse für Altpapier.....	64
5.2.2	Altkunststoffmarkt	69
5.2.2.1	Analyse des Altkunststoffmarkts.....	69
5.2.2.2	Erlöse für Altkunststoffe	74
6	NIR-SORTIEREINHEIT	76
6.1	Anlagenschema	76
6.2	Inputmaterial	78
6.2.1	Manuelle Sortierung mit Kunststoffbestimmung	80
6.2.2	Ergebnis der Kunststoffbestimmung 3D hell Hochkalorik	81
6.2.3	Ergebnis der Kunststoffbestimmung 2D hell Hochkalorik	82
6.3	Outputmaterial	83
7	WIRTSCHAFTLICHKEITSBERECHNUNG	88
7.1	Anlagenkosten	88
7.1.1	NIR-Sortiermaschine.....	88
7.1.2	Förderbänder und Stahlkonstruktion	89
7.1.3	Instandhaltung	89
7.2	Ressourcenkosten	89
7.2.1	Energiekosten.....	89

7.2.2	Personalkosten	90
7.2.3	Druckluftkosten	91
7.3	Verarbeitungs- und Transportkosten.....	91
7.4	Erlöse.....	91
7.5	Kalkulation	92
7.5.1	Berechnung der Fixkosten	92
7.5.2	Berechnung der Sortierkosten	93
7.5.3	Berechnung des Gewinns.....	93
7.5.4	Amortisationsdauer	93
8	DISKUSSION & FAZIT	94
8.1	Mögliche Probleme bei der NIR-Sortierung von Gewerbeabfall.....	94
8.2	Optimierung der Sortierung als Basis zur stofflichen Verwertung von Wertstoffen	95
8.3	NIR-Sortiereinheit: Planung und Entwicklung	96
8.3.1	Ausschleusung von Papier, Pappe, Karton und Holz	96
8.3.2	Ausschleusung von Kunststoffen	97
9	ZUSAMMENFASSUNG	98
10	VERZEICHNISSE	100
10.1	Literatur.....	100
10.2	Abkürzungsverzeichnis.....	103
10.3	Tabellen.....	105
10.4	Abbildungen.....	106
ANHANG I	I
ANHANG II	III
ANHANG III	V
ANHANG IV	VII
ANHANG V	VIII
ANHANG VI	IX

1 Einleitung

Das steigende Abfallaufkommen in Österreich in den 1960-1980er Jahren, der damalige Deponie-Notstand und neun länderspezifische Regelungen für die Abfallwirtschaft führten 1990 zu Inkrafttreten des Abfallwirtschaftsgesetzes (AWG). Im Jahr 2002 wird der österreichische Rechtsbestand an jenen der EU angepasst und das neue AWG 2002 eingeführt. Das AWG 2002 mit seinen Zielen und Grundsätzen bildete die Rechtsgrundlage für eine nachhaltige Abfallwirtschaft in Österreich. Zu den Grundsätzen zählen die Abfallvermeidung, die Abfallverwertung und die ordnungsgemäße Behandlung und Beseitigung von Abfällen. Diese drei Grundsätze wurden durch Inkrafttreten der Abfallrahmenrichtlinie 2008/98 EG am 12. Dezember 2008 zu einer fünfstufigen Abfallhierarchie erweitert, die in Österreich bis 12. Dezember 2010 in nationales Recht umgesetzt werden muss (siehe Abbildung 1). Europäischen Mitgliedstaaten ist es überlassen, die neue Hierarchie flexibel für bestimmte Abfallströme zu gestalten sofern der neue Lebenszyklusgedanke berücksichtigt wird. [1, S. 5 u. 7], [2], [3]



Abbildung 1: Fünfstufige Abfallhierarchie der Abfallrahmenrichtlinie 2008/98 EG [3]

Der Unterschied der fünfstufigen Abfallhierarchie zur dreistufigen Abfallpyramide aus dem AWG 2002 liegt in der neuen hierarchischen Definition der Abfallverwertung. Ursprünglich unterschied man zwei Arten der Abfallverwertung: die stoffliche und die thermische Verwertung. In der fünfstufigen Abfallhierarchie steht nun nach der Vermeidung von Abfällen die Vorbereitung zur Wiederverwendung. Sollte dies nicht möglich sein, ist ein geeignetes Recyclingverfahren anzuwenden. Zur sonstigen Verwertung zählen die Herstellung von Ersatzbrennstoffen sowie die energetische Verwertung. Durch eine ökologisch und ökonomisch sinnvolle Abfallverwertung können verwertbare Abfälle als Rohstoffe in den Stoffkreislauf zurückgeführt werden oder aus ihnen Ersatzbrennstoffe als Alternative zu

fossilen Brennstoffen hergestellt werden. Somit werden Ressourcen wie Rohstoffe und Energie geschont und die Menge deponierbarer Stoffe vermindert. Dennoch ist aufgrund der neuen Abfallrahmenrichtlinie 2008/98 EG die Wiederverwendung einer stofflichen oder thermischen Verwertung von Abfällen vorzuziehen. [2], [3]

Laut §1. (2) des AWG 2002 sind Abfälle zu verwerten,

„...soweit dies ökologisch zweckmäßig und technisch möglich ist und die dabei entstehenden Mehrkosten im Vergleich zu anderen Verfahren der Abfallbehandlung nicht unverhältnismäßig sind und ein Markt für die gewonnenen Stoffe oder die gewonnene Energie vorhanden ist oder geschaffen werden kann.“ [2]

Die Marktfähigkeit bestimmter Abfallfraktionen, wie zum Beispiel Altpapier, Altglas oder Altkunststoffe setzt eine möglichst hohe Qualität und Reinheit der Abfälle voraus, die durch neuartige Trenntechniken erreicht werden können. Die manuelle Sortierung, auch als „Klaubung“ bezeichnet, wird somit durch automatische Sortiersysteme abgelöst. Zum Stand der Technik der Sortierung von Abfällen gehören automatisch arbeitende optische bzw. berührungslose Sortiermaschinen, zu denen unter anderem Sortieranlagen mit Nahinfrarottechnik zählen.

1.1 Problemstellung

Die automatisierte Sortierung mittels Nahinfrarottechnik (NIR) gehört mittlerweile im Bereich der Kunststoff-Hohlkörpersortierung zum Stand der Technik. Weltweit werden Nahinfrarot-Sortiermaschinen großtechnisch zur Sortierung von ausgewählten Abfallströmen, wie zum Beispiel Papier, Glas, PET-Flaschen und zum Teil auch Elektronikschrott eingesetzt. Im Bereich der Gewerbemüllsortierung ist der Einsatz von NIR-Technologie zur Abtrennung verwertbarer Fraktionen wie Kunststoffe oder Papier noch nicht verbreitet. Mit einem großtechnischen Versuch bei Fa. Saubermacher in Graz/Puchstraße soll diese Möglichkeit untersucht werden. Die Anlage wurde im Juni 2007 zur optischen Sortierung mittels Nahinfrarot von Kunststoffleichtfraktionen aus kommunalen Abfällen („Gelber Sack“/ „Gelbe Tonne“) in Betrieb genommen. Im Zuge der Großversuche soll die Anlage nach der Adaptierung zur automatischen Sortierung von gemischtem Gewerbeabfall dienen. Der Gewerbeabfall wird in einer Splittinganlage in Wien/Oberlaa aufbereitet und nach dem Heizwert in eine mittel- und hochkalorische Fraktion getrennt. Beiden Fraktionen werden in Graz/Puchstraße mittels Nahinfrarottechnik sortiert und vermarktbar Fraktionen abgetrennt. Die erhaltenen Stoffströme sollen auf Reinheit, Qualität, Quantität untersucht werden und daraus Rückschlüsse auf die Marktfähigkeit gezogen werden.

1.2 Zielsetzung

Ziel dieser Masterarbeit ist es, die Marktfähigkeit von Sekundärrohstoffen, die mittels NIR-Sortierung aus Gewerbeabfall gewonnen werden, zu überprüfen. Dabei aussortierte Fraktionen sind Papier, Pappe und Karton und Kunststoffe (PVC und PE). Vorerst ist der Stand der Technik der Nahinfrarot-Sortiermaschinen abzubilden und auf neue Weiterentwicklungen in diesem Bereich einzugehen. Die Großversuche bei der NIR-

Sortieranlage der Fa. Saubermacher in Graz/Puchstraße sind zu begleiten und zu protokollieren. Die erhaltenen Fraktionen sollen in Bezug auf Qualität und Quantität untersucht werden. Daraus sind die Sortierergebnisse auszuwerten, graphisch darzustellen und hinsichtlich der stofflichen Verwertbarkeit zu interpretieren. Dabei ist es wichtig die vergangene und zukünftige Entwicklung des Sekundärrohstoffmarktes zu beschreiben, um den Erlös für die erhaltenen Fraktionen abschätzen zu können. Darauf aufbauend ist ein Zukunftsszenario zu entwickeln, das die Vermarktung der Wertstoffe im Gewerbeabfall in Hinblick auf stoffliche, mengenmäßige und monetäre Sicht bewertet. Ebenso gilt es die Wirtschaftlichkeit einer Nachrüstung einer NIR-Sortiereinheit direkt bei einer im Betrieb befindlichen Splittinganlage für Gewerbeabfälle im Großraum Wien zu überprüfen.

2 Einführung in die Nahinfrarot-Sortiertechnologie

In diesem Kapitel werden die Grundlagen und die Funktionsweise der Nahinfrarotspektroskopie erläutert, sowie auf den Stand der Technik im Bereich der Sortierung von Abfällen eingegangen. Weiters werden derzeitige und zukünftige Einsatzgebiete der Nahinfrarottechnik und neue Entwicklungen in diesem Bereich beschrieben.

2.1 Nahinfrarotspektroskopie

Die NIR-Spektroskopie nutzt die Wechselwirkungen zwischen Materie und elektromagnetischer Strahlung. Die Art der Effekte, welche die Strahlung auf Atome und Moleküle hat, hängt von ihrer Frequenz und damit von ihrem Energiegehalt ab. Die Infrarotspektroskopie arbeitet mit infrarotem Licht mit Wellenlängen zwischen 1 mm und 780 nm und wird entweder zur quantitativen Bestimmung von bekannten Substanzen anhand der Referenzspektren oder zur Strukturaufklärung unbekannter Substanzen genutzt. Die Strahlung im Infrarotbereich wird in drei Bereiche unterteilt: kurzwelliges oder nahes Infrarot (NIR), mittelwelliges (MIR) und langwelliges oder fernes Infrarot (FIR). Abbildung 2 zeigt die Unterteilung des elektromagnetischen Spektrums in seine einzelnen Bereiche und die Einteilung des Infrarotspektrums in Nah-, Mittel- und Ferninfrarot. [4, S. 5f.]

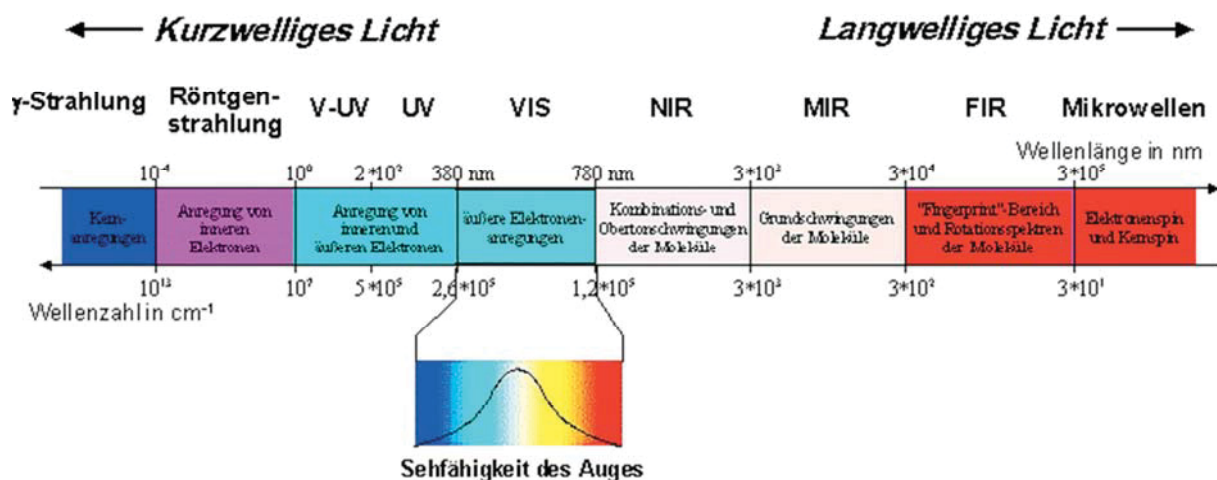


Abbildung 2: Elektromagnetisches Spektrum [5]

Im Infrarotbereich werden Moleküle und Molekülteile meist organischer Verbindungen mithilfe der Strahlungsenergie zu Rotations- und Schwingungsbewegungen angeregt. Im Bereich des mittleren Infrarots bei 2,5-50 μm kommt es zu Grundsicherungen der Moleküle. Die Intensität der Wechselwirkungen zwischen der IR-Strahlung und des Moleküls hängt von deren Aufbau und Kristallstruktur ab. Das Infrarotspektrum wird in Bezug auf die Charakterisierung und die Wellenzahl in zwei Bereiche eingeteilt. Der Bereich oberhalb 1.500 cm^{-1} enthält Banden, die funktionellen Gruppen zugeordnet und der Bereich unterhalb 1.500 cm^{-1} charakterisiert das Molekül als Ganzes. Dieser Bereich wird auch als „Fingerprint-Region“ bezeichnet. [4, S. 5f.], [6, S. 49 u. 136]

Die Nahinfrarotspektroskopie arbeitet mit Licht mit einer Wellenlänge von 780 nm bis 2,5 μm . Anders als im Bereich des mittleren Infrarots werden die Moleküle bei der Nahinfrarotspektroskopie zu Obertönen und Kombinationsschwingungen angeregt. Im Nahinfrarotbereich werden überwiegend CH-, OH- und NH-Gruppen angeregt. In Abbildung 3 sind charakteristische Absorptionsbanden im NIR-Bereich für das Beispiel Kunststoffe dargestellt. [4, S. 6f.], [6, S. 131]

	Charakteristische Absorptionsbanden im NIR-Bereich							
	C-H in -CH ₂		C-H in -CH ₃		C=O		N-H	
	[cm ⁻¹]	[μm]	[cm ⁻¹]	[μm]	[cm ⁻¹]	[μm]	[cm ⁻¹]	[μm]
Kunststoff	5800	1,724	5900	1,695	5250	1,905	6700	1,493
	7200	1,389	8400	1,190			bis	bis
	8200	1,200					6800	1,471
<i>Polypropylen (PP)</i>	x		x					
<i>Polyamid 6 (PA6)</i>	x				x			x

Abbildung 3: Charakteristische Absorptionsbanden im Nahinfrarotbereich [7, S. 5]

Es besteht eine große Anzahl von Kombinationsmöglichkeiten, Banden können sich gegenseitig überlappen oder sogar überdecken. Dadurch sind die entstehenden Spektren schwerer zu analysieren und zu interpretieren, wodurch eine Auswertung durch eine spezielle Software nötig ist.

2.2 Nahinfrarot-Sortiertechnik

Das Prinzip der Nahinfrarot-Sortiertechnik beruht auf der Transmissions- bzw. Reflexionsmessung von elektromagnetischer Strahlung. Jedes Material besitzt eine spezifische Reflexion, eine sogenannte charakteristische „Farbe“. So lassen sich mithilfe von Strahlung im Nahinfrarotbereich Materialien aufgrund der Farbe und die Konzentration aufgrund der Intensität bestimmen. In Abbildung 4 sind die Absorptionsspektren von Papier, PVC, PET und PE dargestellt. Aufgrund der unterschiedlichen Spektren sind unterschiedliche Materialarten in bestimmten Wellenlängenbereichen leicht voneinander trennbar. [8, S. 220]

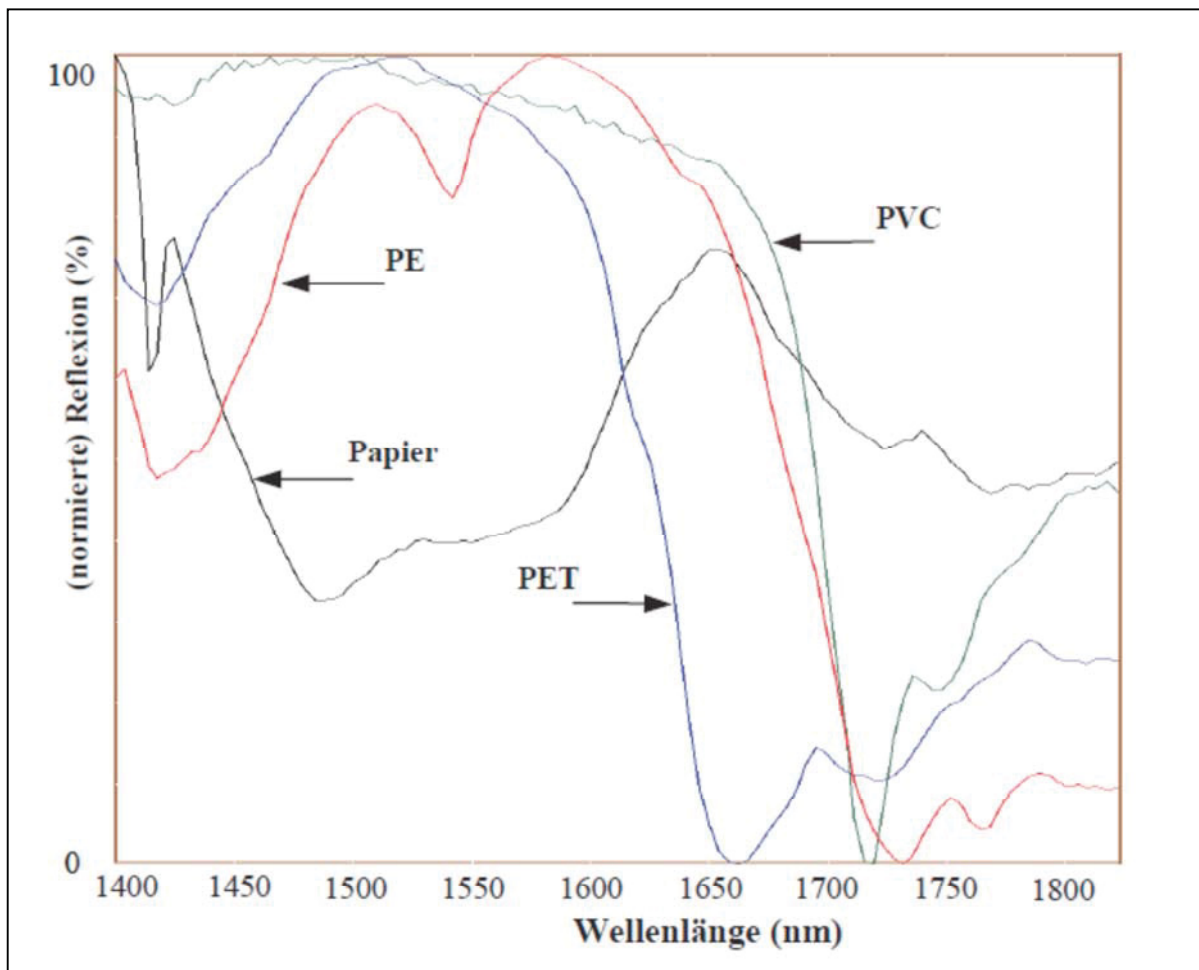


Abbildung 4: Absorptionscharakteristika von Papier und relevanten Kunststoffen [8, S. 219]

Die Nahinfrarot-Sortiertechnik macht sich diesen Effekt zunutze und kann somit verschiedene Materialien eindeutig zuordnen.

Abbildung 5 zeigt das Prinzip der Nahinfrarot-Sortierung. Das zu sortierende Material wird über ein Förderband unter die Sensoreinheit gebracht, wo es durch Strahlung im nahinfraroten Bereich angeregt wird. Das Sensorsystem detektiert die für ein Objekt im Materialfluss charakteristische reflektierte Strahlung in bestimmten Wellenlängenbereichen und zeichnet ein Spektrum auf. Eine optische Scannereinheit, die oberhalb des Förderbandes positioniert ist, zeichnet zusätzlich Größe, Form und Position eines im Abfallstrom befindlichen Objektes auf. Die Daten aus beiden Erkennungseinheiten werden in einer Recheneinheit verarbeitet und die Objekte werden definierten Merkmalsklassen zugeordnet. Entsprechend der ermittelten Merkmalsklasse und der Parametrierung werden die Ausblasventile angesteuert und das Objekt durch Druckluftventile in den Auswurfschacht geblasen. [9, S. 8]

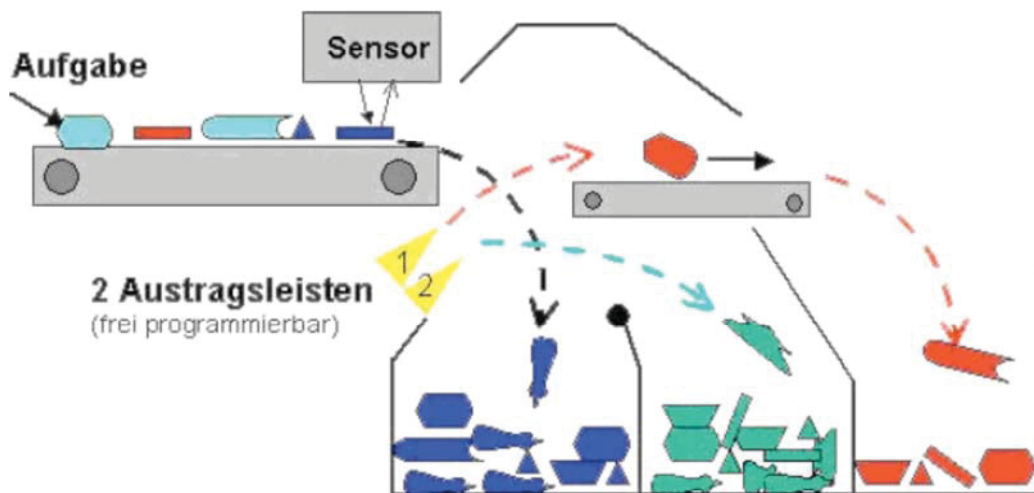


Abbildung 5: Verfahrensprinzip der Nahinfrarot-Sortierung [9, S. 8]

Prinzipiell unterscheidet man zwei Möglichkeiten einer Sortierung: die Positiv- und die Negativsortierung. Bei der Positivsortierung werden Wertstoffe im ausgetragenen Materialstrom angereicht. Die Negativsortierung hingegen schleust unerwünschte Störstoffe aus. [10, S. 106]

In Tabelle 1 sind gängige Spezifikationen für den Betrieb einer Sortiermaschine mit dem System der Nahinfrarottechnik aufgelistet.

Tabelle 1: Technische Daten einer NIR-Sortiermaschine [7, S. 9]

Förderbandbreite	ca. 600 - 2.800 mm
Bandgeschwindigkeit	ca. 2,5 - 3 m/s
Anzahl der Druckluftventile	je ein Ventil pro 1,5 cm (3 cm) Bandbreite
Druckluftverbrauch	ca. 1.200 - 2.000 l/h
Druckluft	6 - 10 bar
Temperaturbereich	5 °C - 40 °C
Korngrößen	ca. 15 - 300 mm

Ein wichtiger Aspekt bei der Sortierung von Abfallfraktionen ist die Sortenreinheit. Nur ausreichend rein sortierte Abfallfraktionen können technisch, ökologisch und ökonomisch sinnvoll einer Wiederverwertung zugeführt werden. Je besser die Qualität des sortierten Abfalls ist, desto höhere Erträge können erwirtschaftet werden. Die Sortierung von Verpackungsabfällen mittels Nahinfrarottechnik erreicht bei Hohlkörpersortierfraktionen (z.B. PET-Flaschen) bereits heute einen hohen Reinheitsgrad in den ausgeschleusten Stoffströmen. Es können somit durchschnittliche Reinheitsgrade über 90 % der sortierten Fraktionen in Abhängigkeit von der Abfallzusammensetzung, der Stückigkeit des Materials und des spezifischen Abscheidegrades der einzelnen Aggregate, erreicht werden. Zum Stand der Technik gehören Wertstoffausbringungsraten zwischen 80 % und 90 %. Bei gemischten Abfallfraktionen ist aufgrund der heterogenen Zusammensetzung, der

Korngröße, der Sperrigkeit sowie unerwünschter Anhaftungen und dem Verschmutzungsgrad ein vorhergehender Aufbereitungsschritt zwingend erforderlich. [9, S. 8 ff.]

Die gemischten Gewerbeabfälle, die für die Versuche in Graz zum Einsatz kommen, werden in einer Splittinganlage für Gewerbemüll entsprechend ihres Heizwertes in eine heizwertreiche und eine heizwertärmere Fraktion getrennt. Die Verfahrensschritte der Anlage beinhalten eine Vorzerkleinerung, Siebung, Windsichtung und eine Abtrennung von Metallen und Nichteisenmetallen sowie Inertstoffen. Durch die Vorbehandlung wird das Sortierergebnis positiv beeinflusst. Je besser die Trennschärfen, das Ausbringen und die Reinheit der erhaltenen Fraktion des behandelten Gewerbeabfalls sind, desto höher sind die Erträge und der Gewinn pro Tonne an eingesetztem Abfallmaterial. [9, S. 10]

Unter dem Reinheitsgrad, der in Masseprozent angegeben wird, versteht man, die Reinheit des aussortierten Materialstroms. [11, S. 10]

Die Ausbringungsrate ist jene Angabe in Masseprozent, die angibt, welcher Anteil von einem gewünschten Material richtig erkannt und aussortiert wurde. [11, S. 10]

2.3 Vorteile der NIR-Technik

Die Nahinfrarot-Sortiertechnik zählt zu den Verfahren der sensorgestützten Sortiertechniken. Sortiermaschinen dieser Art messen berührungslos und zerstörungsfrei, sind robust und arbeiten nach objektiven Sortierkriterien und gleichmäßiger als herkömmliche Trennverfahren. Im Unterschied zu herkömmlichen Sortiertechniken (Dichtesortierung, Magnetscheidung etc.) ist bei der Nahinfrarottechnik das Sortierkriterium von der trennenden Kraft (Gravitation, Ablenkkraft etc.) entkoppelt. Somit ist die Gefahr von Fehlausträgen durch gegenseitige Behinderung und Verschleppung unterschiedlicher Bestandteile verringert. Weiters ermöglicht die sensorgestützte Sortierung eine Trennung von Materialien, die vorher nicht in diesem Korngrößenbereich in industriellen Prozessen trennbar waren, wie z.B. Materialien gleicher Dichte oder gleicher magnetischer Eigenschaften. [10, S. 106]

Mithilfe der Nahinfrarottechnik lassen sich bei der Sortierung von Abfällen hohe Reinheitsgrade in den aussortierten Fraktionen erzielen. Es können nicht nur Wertstoffe zurückgewonnen werden, sondern auch Kosten und Zeit gespart werden, da die Nahinfrarotsortierung voll automatisch abläuft und somit eine manuelle Sortierung mittels Sortierkräfte ablösen wird. [9, S. 10]

Ein weiterer Vorteil ist die Messung auf dem Förderband in Echtzeit. Dies ermöglicht hohe Durchsätze bei geringem Zeitaufwand. Ebenso ist die softwaregesteuerte Datenverarbeitung lernfähig. Dies führt zu einer guten Anpassungsfähigkeit bei Änderungen der Verfahrenstechnik, der stofflichen Zusammensetzung des Aufgabegutes und der Vorgaben zur Qualität der getrennten Fraktionen. [10, S. 106]

2.4 Nachteile der NIR-Technik

Einer der größten Nachteile der Sortierung mittels Nahinfrarottechnik ist die negative Beeinflussung des Trennergebnisses durch schwarze oder dunkle Materialien. Das Problem bei dunklen Materialien ist, dass die Strahlung weitgehend absorbiert wird und somit keine Strahlung reflektiert und vom Sensor aufgenommen werden kann. Es entstehen nicht auswertbare Spektren. [4, S. 7]

Heute werden die Oberflächen vieler Produkte aus diversen Gründen mit anderen Materialien (z.B. Lack, Etiketten, Folien etc.) beschichtet. Da die Eindringtiefe der Nahinfrarottechnik nur auf wenige Millimeter beschränkt ist, können solche Beschichtungen die Sortierentscheidung negativ beeinflussen und somit zu falschen Ergebnissen führen. Das Problem solcher Fehlentscheidungen tritt auch bei Verbundstoffen auf. [12, S. 6]

Die Ermöglichung hoher Durchsätze mithilfe der Nahinfrarottechnik kann zu verschiedenen mechanischen Problemen beim Sortiervorgang führen. Deshalb ist eine Vereinzelung des Aufgabegutes auf dem Förderband bei gleichzeitig hoher Belegungsdichte notwendig um eine Detektierung jedes einzelnen Objektes im Abfallstrom zu ermöglichen. Die Belegung des Förderbands als Monoschicht, bei der sich verschiedene Materialien weder überlagern noch berühren, soll Fehlwürfe bei der Sortierung vermeiden. Eine gleichmäßige Beschickung gewährleistet somit ein gutes Trennergebnis. Ein weiteres mechanisches Problem stellen die Druckluftventile zur Abtrennung der Wertstoffe vom Abfallstrom dar. Die Trennung erfolgt im Förderbandabwurf durch Manipulation der Wurfparabel durch die Druckluftstöße. Ein Problem stellt der Austrag von flächigen Kunststofffolien dar, da sie keine fixe Wurfparabel besitzen und somit falsch ausgeworfen werden können. Durch die hohe Anzahl an Ausblasvorgängen entstehen Luftverwirbelungen, die zu Ablenkungen und damit zu Fehlausträgen führen. Diese sind beim Sortiervorgang zu reduzieren. [13, S. 221]

2.5 Stand der Technik

In den folgenden Unterkapiteln wird auf die Entwicklung der berührungslosen Sortierung, den Stand der Technik und den Aufbau eines sensorgestützten Sortierers eingegangen.

2.5.1 Entwicklungen der sensorgestützten Sortierung

Die Nahinfrarottechnik im Bereich der Aufbereitung zählt zu einem der jüngsten Verfahren der sensorgestützten Sortierung. Erste Entwicklungen der berührungslosen Sortierung wurden bereits vor siebzig Jahren für die Aufbereitung mineralischer Rohstoffe gemacht. Die damaligen Sortierer waren mit induktiven, Farb- und radiometrischen Sensoren ausgestattet und konnten nur geringe Durchsätze bewältigen. Mitte der achtziger Jahre wurden erstmals sensorgestützte Sortierer im Bereich des Rohstoffrecyclings getestet. Diese Sortierer waren analoge Einzelkanal-Sortierer mit Fotodioden als Sensoren. Der sich rasch entwickelnde Markt im Recyclingbereich verlangte jedoch nach einer weiteren und besseren Entwicklung der Sensorik. Durch die rasanten Entwicklungen der Sensoren und der digitalen elektronischen Datenverarbeitung Anfang der neunziger Jahre wurden erstmals digitale Bildverarbeitungstechniken in die Sortiertechnik eingeführt. Dabei wurden zunächst getrennt

gesammelte Abfallgemische wie Altglas und Leichtverpackungen mittels Transmissionsmessung bzw. Spektralanalyse der Reflektion im Nahinfrarotbereich aufbereitet. Die Weiterentwicklung der Rechenleistung zur Verarbeitung der Daten und der Einsatz von schnellen Druckluftventilen zur Ausschleusung ermöglichten immer höhere Durchsätze und somit bessere Sortiergeschwindigkeiten. Heute ist der Einsatz von sensorgestützten Sortierern im Bereich der Abfallaufbereitung Stand der Technik und wird überwiegend zur Sortierung von Glas, Kunststoffen und Metallen eingesetzt. [10, S. 105], [13, S. 221f.]

2.5.2 Aufbau eines sensorgestützten Sortierers

Sensorgestützte Sortierer zählen zu der Gruppe der Einzelkornsortierer, da sie jedes Stück einzeln erfassen, evaluieren und trennen. Grundsätzlich bestehen sensorgestützte Sortiermaschinen aus einem Fördermittel zur Zuführung und Vereinzelung des Aufgabeguts, einem Sensorsystem zur Erkennung spezifischer Materialeigenschaften einzelner Bestandteile, einer softwaregestützten Elektronik zur Auswertung der Signale von der Sensorik und einer mechanischen Austragsvorrichtung zur Abtrennung positiv erkannter Abfallkomponenten. [13, S. 222]

Anhand der Materialzufuhr lassen sich die Sortierer in zwei Bauarten einteilen: die Rinnen- und die Bandmaschinen. Wobei im Recyclingbereich beide Maschinentypen zum Einsatz kommen, wird zur Aufbereitung von Mineralien meist nur die robustere Variante, die Rinnenmaschine, verwendet. Die Rinnenmaschinen wurden zunächst zur Sortierung von Altglas eingesetzt. Das Altglas wurde nach den Trennkriterien Farbe bzw. Transparenz sortiert. Heute werden sie aufgrund der hohen Leistungsfähigkeit meist im Feinkornbereich und bei gut fließfähigen Schüttgütern verwendet. Abbildung 6 zeigt eine Rinnenmaschine. [10, S. 106], [13, S. 222]

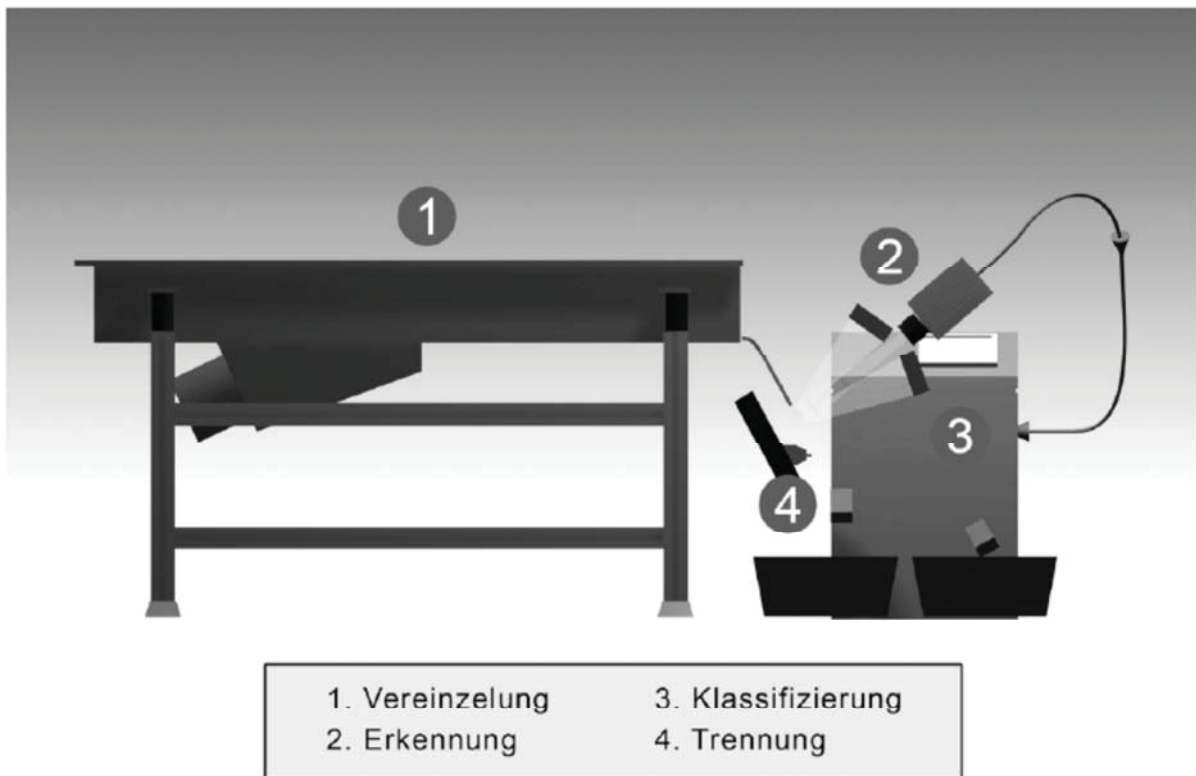


Abbildung 6: Rinnensortiermaschine [10, S. 107]

Das zu sortierende Material wird auf eine Schwingförderrinne zur Vereinzelnung aufgegeben und über eine geneigte Rinne beschleunigt. Nach Ende des Förderbandes werden die im Materialfluss befindlichen Objekte im freien Fall von einer Erkennungseinheit einzeln detektiert. Die Erkennungseinheit besteht aus einer Farbzeilenkamera und einer Beleuchtungseinheit. Das detektierte Objekt wird vom Rechner anhand der Farbinformation, der Position und der Größe klassifiziert. Positiv detektierte Objekte im Aufgabebegut werden mithilfe von Druckventilen selektiv ausgeblasen. Da die meisten Abfallfraktionen unregelmäßig geformt und somit nicht zu Schüttgütern zählen, kommen bei der Sortierung von Abfällen meist Bandmaschinen zum Einsatz. Abbildung 7 zeigt das Prinzip einer solchen Sortiermaschine die im Nahinfrarot-Wellenlängenbereich detektiert. [10, S. 106f.]

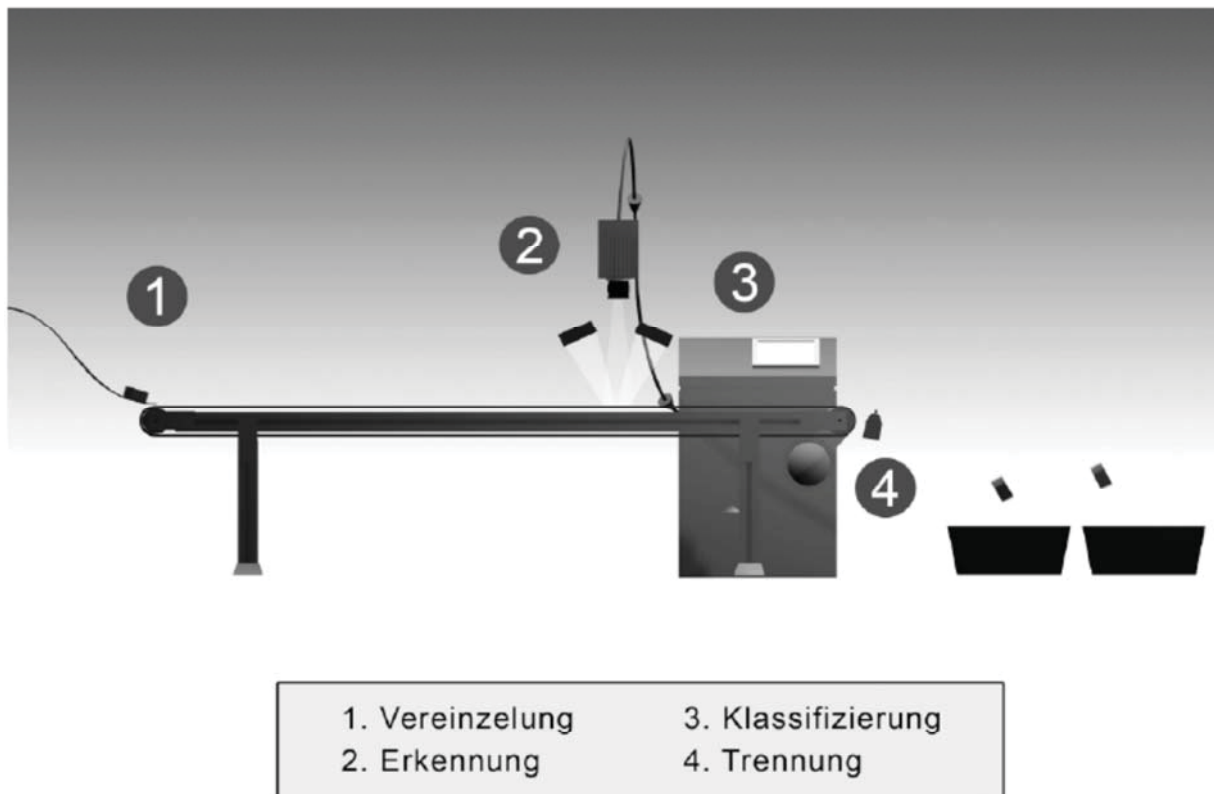


Abbildung 7: Bandsortiermaschine [10, S. 107]

Das Material wird über eine Schurre auf den ca. 2,5 bis 3 m/s umlaufenden Gurtförderer aufgegeben. Die Erkennungseinheit befindet sich über dem Förderer und besteht aus zwei mit Halogenlampen bestückten Lichtleisten und einem NIR-Sensor, der die gesamte Gurtbreite abtastet. Der Rechner wird mit dem vom Sensor aufgenommenen Spektrum gespeist und vergleicht dieses mit Spektren einer Datenbank. Anhand der Klassifizierung und der bekannten Position und Größe der Bestandteile auf dem Gurt werden diese bei positiver Detektion mithilfe von Druckluftstößen einer Luftdüsenleiste vom übrigen Strom getrennt. Häufig werden Sortiermaschinen mit zwei Austragsdüsenleisten hergestellt um zwei Produkte in einem Arbeitsprozess voneinander abzutrennen. Ebenso kann durch den zusätzlichen Einbau einer Farbzeilenkamera die Identifikation von Korngröße und Lage der einzelnen Teile präzisiert werden. [10, S. 107]

2.5.3 Sensortypen und -systeme

Ein Sensorsystem besteht grundsätzlich aus mindestens einem Emitter und einem Detektor. Der Emitter sendet elektromagnetische Strahlung aus. Diese wird vom zu untersuchenden Material teilweise absorbiert oder reflektiert wodurch eine charakteristische Strahlung entsteht, welche vom Detektor aufgenommen und gemessen wird. [10, S. 108]

Grundsätzlich lassen sich Sensoren in zwei Gruppen einteilen: die optischen Zeilenkameras und die Metaldetektoren. Mit den optischen Zeilenkameras lassen sich oberflächliche Eigenschaften erkennen wie Farbe, Helligkeit, Transparenz, Reflexion und Form. Zu dieser

Gruppe zählen auch die Nahinfrarot-Detektoren, mit der die molekulare Zusammensetzung an der Oberfläche des Materials detektiert wird. [13, S. 223]

Bei Messungen im Nahinfrarotbereich werden überwiegend Halogenlampen als Emittter eingesetzt. Das charakteristische reflektierte Spektrum des Materials wird in der Regel mit einem bewegten Spiegelsystem einem Spektrometer zugeführt und dort spektral zerlegt. Die Intensitätsverteilung bekannter Wellenlängen kann dann als Merkmal für unterschiedliche Stoffgruppen verwendet werden. (Die Wechselwirkung und der Zusammenhang zwischen Strahlung und Molekülgruppen wurde bereits in Kapitel 2.1 erläutert.) [13, S. 223]

2.5.4 Sortiermaschine „REDWAVE“

Die Sortiermaschine REDWAVE der Firma BT-Wolfgang Binder GmbH verwendet die Nahinfrarot-Sortiertechnik zur Sortierung von Kunststoffen, Papier, Glas, Elektronikschrott und Mineralien. Die Erfahrung zeigt, dass bei der Kunststoffsortierung bis zu 5 t/h an Siedlungsabfällen (Gelber Sack/gelbe Tonne) oder Gewerbemüll eingesetzt werden können. Eine bereits bestehende Anlage in Graz trennt die Leichtverpackungen der gelben Tonne/Sack-Sammlung in die Fraktionen Polyethylen (PE), Polypropylen (PP), Polystyrol (PS) und Polyethylenterephthalat (PET). PET-Flaschen werden dabei nochmals nach deren Farbe in klar, grün und blau sortiert. Die sortierten Fraktionen erreichen dabei einen Reinheitsgrad von bis zu 97 %. [14, S. 4ff.] Abbildung 8 zeigt ein vereinfachtes, allgemeines Verfahrensschema einer Anlage zur Sortierung von Hohlkörperfraktionen aus dem kommunalen Bereich.

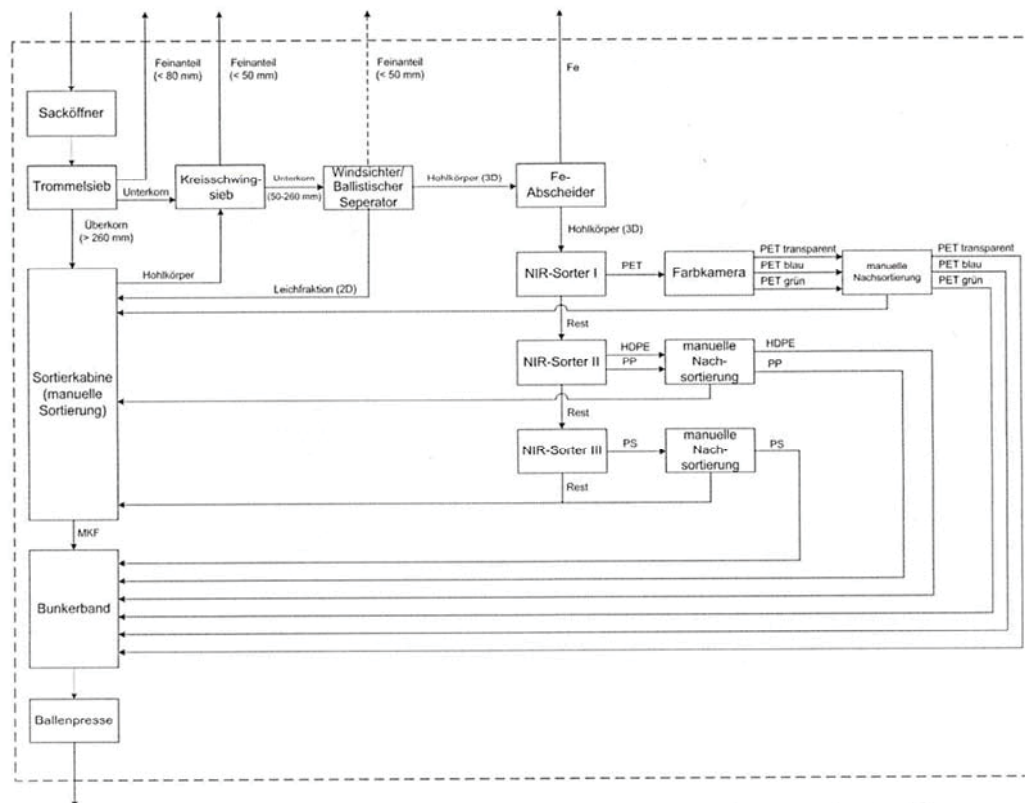


Abbildung 8: Fließschema einer NIR-Sortieranlage von Kunststoffen aus dem kommunalen Bereich [15, S. 627]

Bei der Herstellung von Ersatzbrennstoffen aus Abfällen spielt der Chlorgehalt und somit der Anteil an Polyvinylchlorid (PVC) in der Abfallfraktion eine bedeutende Rolle. Mit der REDWAVE ist eine Ausschleusung von PVC aus Gewerbeabfällen möglich. Die Auswurfrate von PVC beträgt dabei bis zu 90 % mit Ausnahme schwarzer Kunststoffe. Es werden Reinheiten der PVC-Fraktion bis zu 75 % erreicht. Abbildung 9 zeigt eine REDWAVE zur Sortierung von Kunststoffen. [14, S. 4ff.]

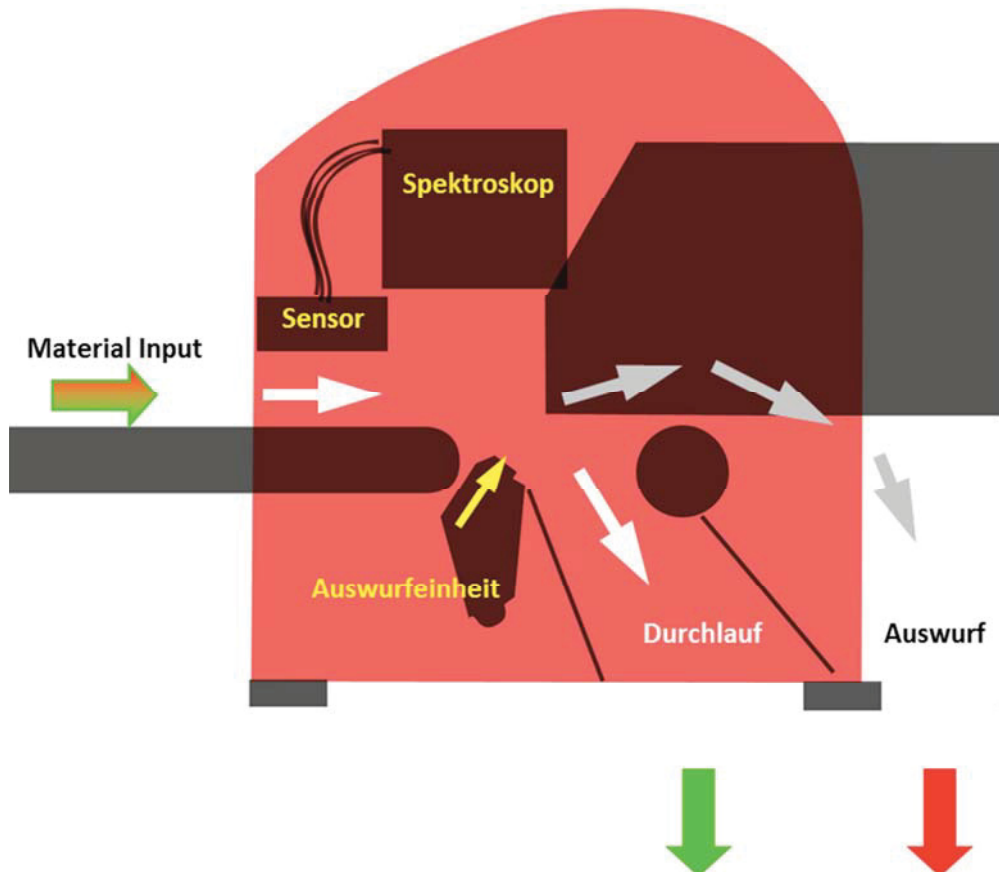


Abbildung 9: REDWAVE zur Kunststoffsortierung [14, S. 5]

Der Sensor und das Spektroskop befinden sich über dem Förderband. Der Abfall wird auf das Förderband gegeben und das im Materialfluss befindliche Objekt über die Sensorik erkannt. Die Sensorik besteht aus einem NIR-Sensor und einer Farbzeilenkamera. Die weitere Klassifizierung übernimmt eine Recheneinheit mit spezieller Software. Wird ein Objekt im Abfallstrom als positiv detektiert erfolgt die Abtrennung pneumatisch über eine Auswurfeinheit. Die REDWAVE zur Kunststoffsortierung erreicht eine Auswurfrate bis zu 97 % mit einem Reinheitsgrad von bis zu 97 %. [14, S. 5]

Im Gegensatz dazu befindet sich die Sensorik der REDWAVE zur Papiersortierung unterhalb des Förderbandes (Abbildung 10). Diese Sortiermaschine enthält neben dem NIR-Sensor einen zusätzlichen Farbsensor zur farblichen Sortierung von Papier und Kartonagen. Nach einer vorhergehenden Aufbereitung des Inputmaterials, trennt die REDWAVE braune und gefärbte Kartonagen, Kunststoffe und Tetra-Pack. Es werden bis zu 12 t/h an Material (Sortierbreite: 2.800 mm) durchgesetzt. Als Durchlauf erhält man De-Inking Papier, welches

dem Recycling-Kreis wieder zugeführt wird. Die Auswurfrate beträgt bis zu 75 % bei einem De-Inking Verlust von maximal 35 %. Die Sortiermaschine ist bereits in Deutschland, Österreich, Niederlande, Irland und Frankreich im Einsatz. [14, S. 10f.], [16, S. 16]

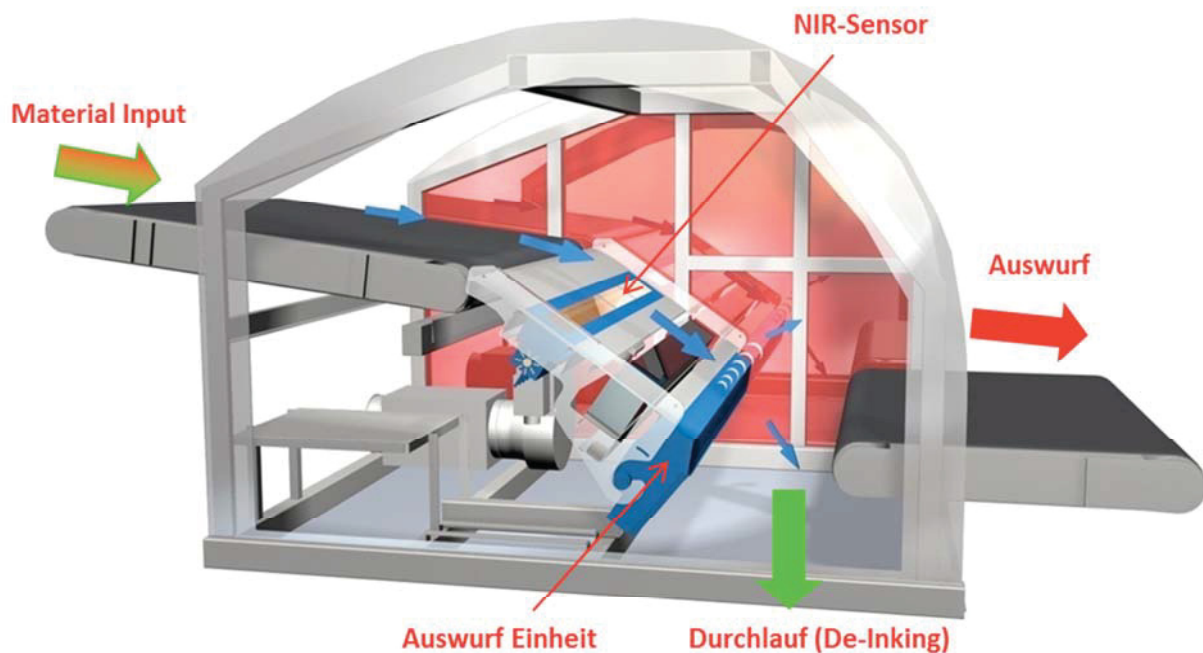


Abbildung 10: REDWAVE zur Papiersortierung [14, S. 10]

Bei der Sortierung von Glas mithilfe der REDWAVE werden Sortiergenauigkeiten bei Verunreinigungen bis zu 99 % und bei Farbsortierung ebenfalls bis zu 99 % bei einem Durchsatz bis zu 10 t/h (Sortierbreite: 1.300 mm) erreicht. Bestehende Anlagen befinden sich in Deutschland, Schweden, Japan, USA und der Ukraine. Für die Gesteinssortierung werden Korngrößen von 5-150 mm benötigt. Der Durchsatz beträgt bis zu 150 t/h (Sortierbreite: 2.000 mm) bei einer Sortiergenauigkeit bis zu 92 %. Ebenso benötigt die Sortierung von Elektronikschrott eine Voraufbereitung um Korngrößen bis zu 5 mm zu erreichen. Die Sortierung erfolgt nach Material und Farbe für Kupfer, Aluminium, Edelstahl etc. Es werden Sortiergenauigkeiten bis zu 95 % mit Reinheiten bis zu 97 % erreicht. [14, S. 12]

Bei der Anlage der Fa. Saubermacher Dienstleistungs AG in Graz/Puchstraße dient die Sortiermaschine REDWAVE 2000 NIR 2-Weg zur Sortierung von Kunststoffen. Die REDWAVE identifiziert und sortiert PE, PP, PET, PS, PVC. Bei den Versuchen in der Sortieranlage wird die REDWAVE, siehe Abbildung 11, zur Sortierung von PE, PVC und Papier/Pappe/Karton verwendet. [17, S. 19]

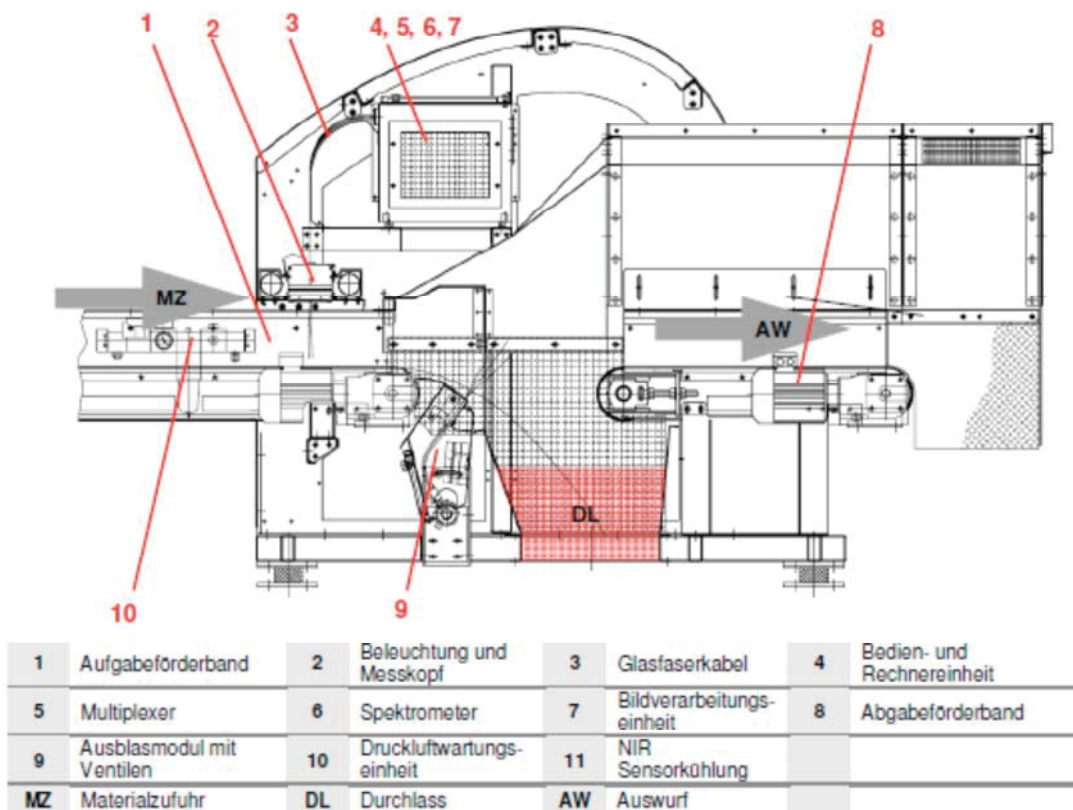


Abbildung 11: Sortiermaschine REDWAVE NIR 2-Weg [17, S. 22]

Die Materialzufuhr erfolgt über das Zuführförderband und muss über die gesamte Sortierbreite gleichmäßig verteilt sein. Der NIR-Sensor befindet sich über dem Förderband und erkennt und analysiert das aufgegebenes Material beim Passieren des Erkennungsbereiches. Die Bildverarbeitungseinheit nimmt relevante Daten wie Materialoberfläche, Größe und Position des Teiles auf und gibt diese an die Recheneinheit weiter. Die Bedien- und Recheneinheit analysiert die erhaltenen Informationen und vergleicht das detektierte Spektrum mit vorbetrieblich eingestellten Auswurfkategorien. Bei positiver Übereinstimmung wird ein Signal zeitverzögert an das Ausblasmodul gesendet. Ein oder mehrere Ventile werden geöffnet und ein stark gebündelter Luftstrom trennt die detektierten Objekte vom durchströmenden Material. [17, S. 20f.]

Abbildung 12 und Abbildung 13 zeigen Vergleichsspektren von verschiedenen Kunststoffen und Papier die zu einer Auswurfentscheidung herangezogen werden. Anhand unterschiedlicher Intensitäten bei bestimmter Wellenlänge lassen sich zum Beispiel Kunststoffe wie PVC, PE; PET, PP und PS getrennt voneinander detektieren. Die installierte Software vergleicht gemessene mit voreingestellten Spektren und entscheidet dann ob eine positive oder negative Übereinstimmung vorliegt.

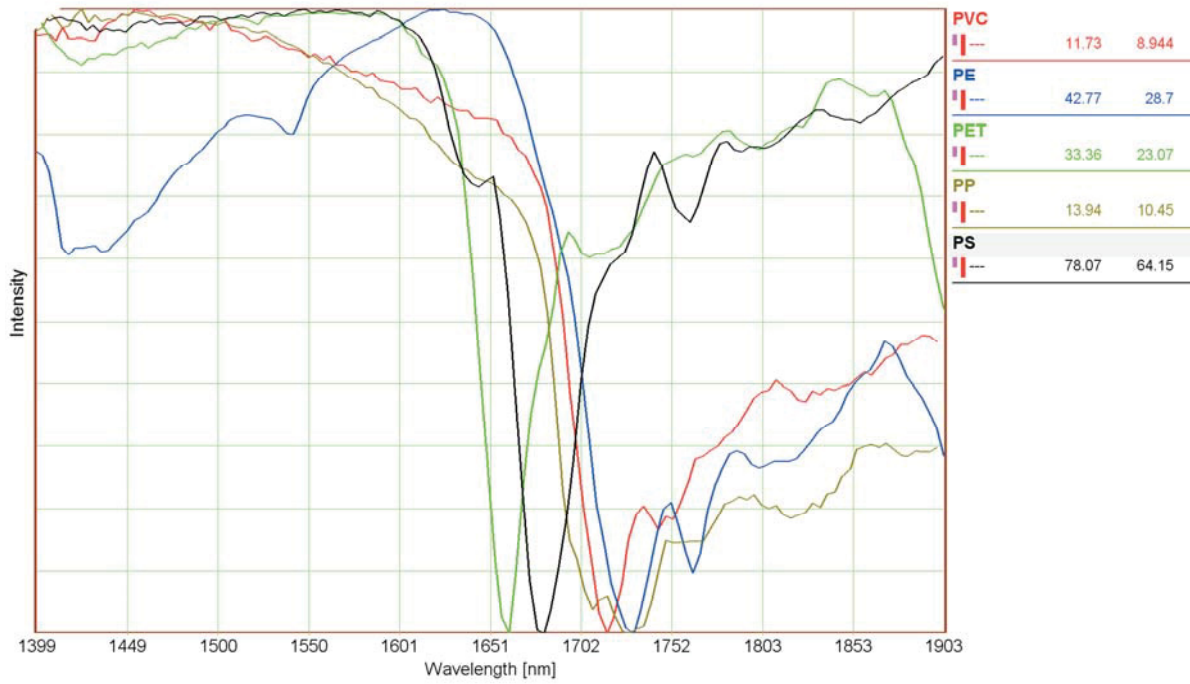


Abbildung 12: Diverse Kunststoffspektren [18, S. 12]

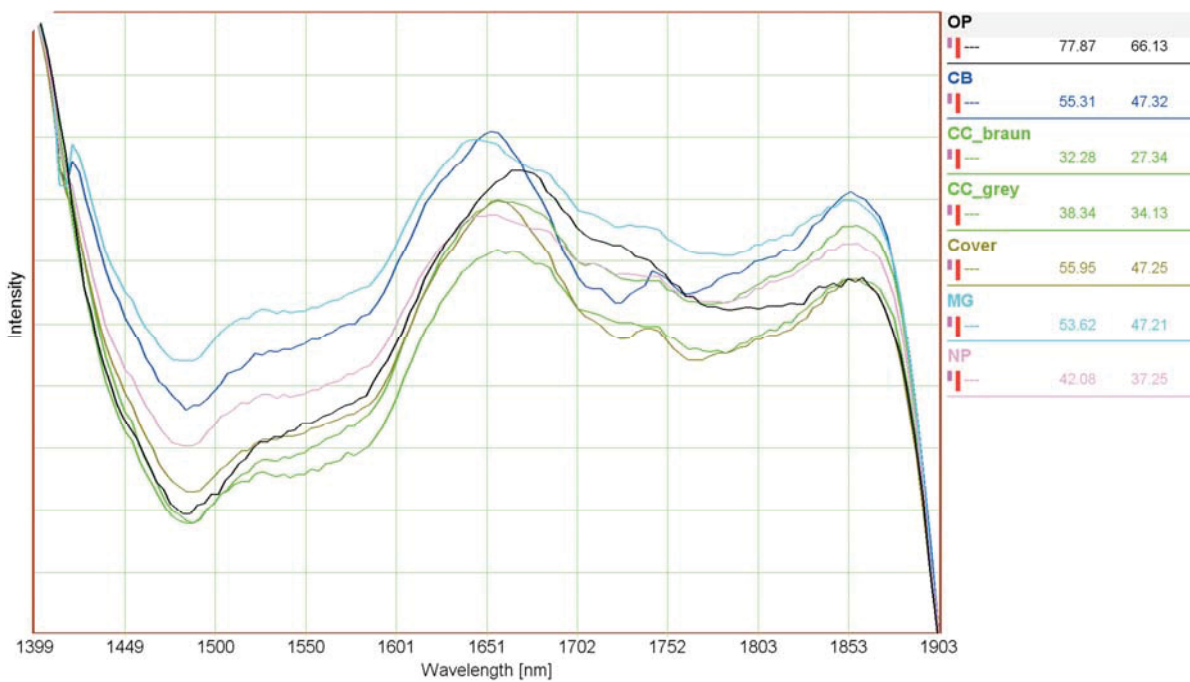


Abbildung 13: Diverse Papierspektren [18, S. 13]

Das Sortierergebnis der REDWAVE NIR 2-Weg hängt unter anderem von der Größe und der Verteilung des zugeführten Materials ab. Eine ungleichmäßige Verteilung führt zu unzureichenden Sortierergebnissen. Abfall mit einer Korngröße von <50 mm, der sogenannte Feinanteil, muss vor der Sortierung entfernt werden um eine negative Beeinflussung des Sortierergebnisses zu verhindern. Ebenso darf das Material eine Korngröße von 500 mm nicht überschreiten. [17, S. 20]

Der NIR-Sensor der REDWAVE besteht aus einem Messkopf, Glasfaserkabeln, einem Multiplexer, einem Spektrometer sowie einer Bildverarbeitung im Rechner. Der Multiplexer kann Datenraten von bis zu 10.000 Datenpunkten pro Sekunde aufnehmen. Der Materialfluss im Erkennungsbereich wird mit einer Beleuchtungseinheit bestehend aus Halogen-Lampen beleuchtet. Die Sortiermaschine besitzt eine Sortierbreite von 2.000 mm und ein Ausblasmodul mit 64 Ventilen, wobei ein maximaler Druck von 8 bar am Maschineneinlass angeschlossen werden kann. [17, S. 20f.], [18, S. 25]

Die NIR-Sortiermaschinen REDWAVE sind mit der Steuersoftware Kusta MPL ausgestattet. Diese Software führt die Steuerung der Multiplexer-Hardware, die Kommunikation über verschiedene Schnittstellen, den Aufruf von Erkennungsroutinen und die Darstellung der Ergebnisse durch. Über das Eingabefenster der Steuersoftware können verschiedene Messaufgaben und -parameter bezüglich der NIR-Sortierung bearbeitet werden. Die Empfindlichkeit spielt bei den Sortier-Einstellungen eine wichtige Rolle. Sie ist ein wesentliches Kriterium für das Ausbringen und die Reinheit des Auswurfes, sowie für die Sensibilität der Ausschussbewertung. Die Materialbewertung erfolgt von null bis acht anhand eines Rasters, wobei acht die niedrigste Empfindlichkeit darstellt. Null ist die sensibelste Einstellung und bedeutet, dass bei nur einer Erkennung des gewünschten Spektrums ausgeschossen wird (siehe Abbildung 14). [18, S. 25ff.], [19]

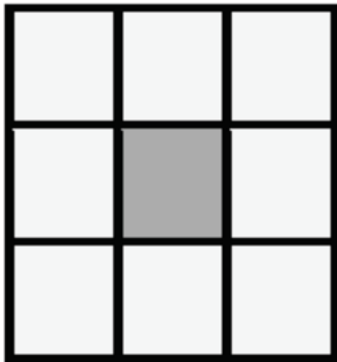


Abbildung 14: Empfindlichkeit null [18, S. 28]

Bei Empfindlichkeit acht hingegen muss das erwünschte Spektrum neunmal erkannt werden, um das detektierte Objekt positiv auszuwerfen. Diese Einstellung ist in Abbildung 15 veranschaulicht. [19]

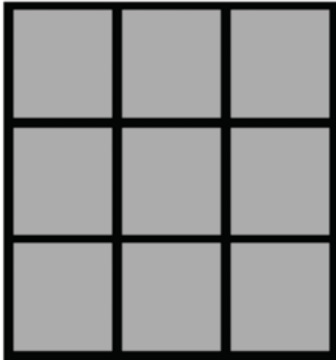


Abbildung 15: Empfindlichkeit acht [18, S. 25], [19]

Ist eine Empfindlichkeit von z.B. drei gewählt, wird es bei nur zwei erkannten Spektren zu keinem Auswurf kommen. Bei jedoch z.B. fünf erkannten Spektren öffnen sich die Ventile zur Ausschleusung. Bei einer Positivsortierung werden meist niedrige Empfindlichkeiten gewählt um eine hohe Sortierreinheit zu erreichen. Bei der Sortierung von gemischten Abfallfraktionen wie z.B. Gewerbeabfall müssen aufgrund der Heterogenität und Verschmutzung hohe Empfindlichkeiten gewählt werden um die Abtrennung von Stofffraktionen zu ermöglichen. Aus diesem Grund wurden auch bei den Großversuchen Empfindlichkeiten von 0 bis 2 gewählt. [18, S. 25], [19]

2.6 Einsatzgebiete

Die Technik der Nahinfrarot-Spektroskopie wird in verschiedenen Bereichen eingesetzt. Bereits seit den 80er Jahren erfolgt die Qualitätskontrolle im Lebens- und Futtermittelbereich mithilfe der NIR-Technik. Wichtige Parameter wie Fett, Feuchte, Protein sowie Asche, und Salzgehalt der Lebensmittel werden somit in Sekundenschnelle bestimmt. Ebenso dient die Nahinfrarot-Spektroskopie der medizinischen Forschung und Diagnostik zur Erkennung von zum Beispiel Totenflecken und Hämatomen oder zur Chromosomenanalyse. Im Bereich des Recyclings wurden Sortiermaschinen die im nahinfraroten Bereich arbeiten anfangs lediglich zur Abtrennung von Kunststoffen aus Leichtverpackungsabfällen verwendet. Die Verpackungsverordnung (BGBl. Nr. 648/1996 idF BGBl. II Nr. 364/2006) schreibt für Verpackungen aus Kunststoff, Papier & Karton, Metall, Glas etc. sogenannte Verwertungsquoten vor. So müssen z.B. Kunststoffe zu 40 %, Papier & Karton zu 90 %, Metall zu 95 % und Glas zu 93 % wiederverwertet werden. Dies führte zu weiteren Entwicklungen im Bereich der Nahinfrarotsortierung, wodurch heute eine breitere Anwendung im Recyclingbereich gegeben ist. Heutzutage werden Wertstoffe aus vorbehandelten Haushalts- Gewerbe- und Baumischabfällen im Korngrößenbereich von 25 bis 400 mm rückgewonnen. Neue Sortieranlagen trennen Kunststoffgemische in die Fraktionen PE, PP, PS, PA, PET und PVC, Papier, Pappe und Kartonagen aus Abfallgemischen, Holz aus Sperrmüll und anderen Abfällen und Mischkunststoffen. Ein wichtiger Bereich der NIR-Sortierung liegt in der Abtrennung hochkalorischer Bestandteile zur Herstellung von Ersatzbrennstoffen. Dabei werden Kunststoffe, Papier, Pappe und Karton, Textilien und Holz mithilfe von NIR-Sortieranlagen vom Abfallstrom getrennt und in der Zement- und Kalkindustrie, sowie in Kohlekraftwerken mitverbrannt. Chlor- und

Antimonträger (PVC und PET) werden ebenfalls bei der Aufbereitung von Abfällen zur Ersatzbrennstoffherstellung abgetrennt. Dies führt zu geringeren Schadstoffgehalten in Ersatzbrennstoffen. Der Chlorgehalt kann somit auf unter 1 % reduziert werden. [10, S. 111]

Zukünftige Entwicklungen und Trends der Nahinfrarottechnik im Bereich des Recyclings werden in der Sortierung von Elektronikabfällen beobachtet. Vor allem in der Autoindustrie könnte diese Technik die Demontage der Alautos erleichtern.

2.7 Neue Entwicklungen

Eine neue Entwicklung im Bereich der Nahinfrarot-Sortierung ist das sogenannte Spectral Imaging oder bildgebende bzw. ortsauflösende Spektroskopie. Hierbei wird die 2D-Information des klassischen Spektrometers auf die dritte Dimension, die örtliche, erweitert. Bei der herkömmlichen Spektroskopie erhält man nur durch das Bewegen des Objektes oder des Messkopfes eine örtliche differenzierte Information. Beim Spectral Imaging macht ein sogenannter „Imaging Spektrograph“ eine gleichzeitige spektrale und örtliche Analyse. Er bildet in der einen Dimension das Spektrum auf einem Flächensensor und in der anderen den Ort als Linie ab. Dadurch erhält man Messwerte, die dreidimensional darstellbar sind. Das spektrale Bild enthält auf einer Achse die Ortsinformation, auf der anderen die Wellenlängeninformation und auf der dritten die spektrale Intensitätsinformation. Bei dieser Technik wird eine Farbzeilenkamera eingesetzt, die bei jedem Bildpunkt (Pixel) der Zeile ein Spektrum aufzeichnet. Die Informationen über Ort und Spektrum werden gleichzeitig und in Echtzeit detektiert. Die Bildverarbeitungseinheit führt diese Informationen zusammen und wertet mithilfe einer Recheneinheit ein dreidimensionales Bild aus. Dieses spektrale Bild besteht aus vielen einzelnen x-y-Bildern, die einen engen spektralen Bandbereich darstellen, der an einer speziellen Wellenzahl oder Wellenlänge zentriert ist. So wird für jeden einzelnen Bildpunkt ein komplettes Spektrum ausgegeben. [20]

Das Spectral Imaging ermöglicht im Gegensatz zur herkömmlichen NIR-Spektroskopie eine schnellere Erfassung der Daten bei höherer Auflösung. Die Daten sind für jedes Bild normiert und in Echtzeit kalibriert. Daher kann das System hochauflösende, kalibrierte Daten in nur wenigen Sekunden ermitteln. [21, S. 6]

Das Spectral Imaging macht die chemischen, farblichen und geometrischen Eigenschaften eines Objekts sichtbar und ermöglicht gleichzeitig eine Identifikation von Materialien oder Materialeigenschaften. Diese Technologie wird vor allem in der Medizin, der Gerichtsmedizin (für forensische Analysen), für industrielle Prozess- und Qualitätskontrollen, im Materialrecycling oder in der Chemie eingesetzt. Der Anwendungsbereich reicht von Papier- und Kunststoffsortierung über Qualitätskontrollen von Produkten im Agrarbereich hinsichtlich Qualität, Reifegrad oder Schädlingsbefall, sowie präzisen Farbmessungen für Textilien bis hin zu neuen medizinischen Diagnosegeräten zur Erkennung von Anomalien. [22, S. 1]

3 Sortierversuche

In diesem Kapitel werden die Versuche zur Sortierung von Gewerbeabfall mittels Nahinfrarottechnik bei der Fa. Saubermacher Dienstleistungs AG (SDAG) in Graz/Puchstraße beschrieben. Vor der Sortierung wird der eingesetzte Gewerbeabfall in einer Splittinganlage in Wien/Oberlaa zu Hoch- und Mittelkalorikmaterial aufbereitet. Der Versuchsaufbau und -ablauf der Fraktionen Hoch- und Mittelkalorik wird im Folgenden erklärt und mithilfe des Stoffflussanalyse-Programms STAN der TU Wien veranschaulicht.

3.1 Ablauf der Sortierversuche

Die für die Großversuche verwendete Sortieranlage, die seit 2007 in Betrieb ist, ist für die Aussortierung von Kunststoffleichtverpackungen aus dem „Gelben Sack“ bzw. der „Gelben Tonne“ konzipiert. Die Anlage enthält drei Sortiermaschinen der Marke REDWAVE der Firma BT-Wolfgang Binder GmbH, die mit Nahinfrarot-Technologie arbeiten und zwei Farbsortierer.

Die Herausforderung besteht nun darin, diese Technologie auch auf die Sortierung von gemischten Abfällen aus dem gewerblichen, industriellen und kommunalen Bereich einzusetzen. Die Versuche in der Sortieranlage in Graz/Puchstraße sollen zeigen, ob die Erfassung der Nahinfrarotsensorik ausreicht eine bestimmte Qualität bei den aussortierten Stoffströmen zu erhalten. Diese hängt wiederum von verschiedenen Einflussgrößen ab. Neben anlagenspezifischen Parametern wie Abfallspektren und Stückigkeit der Abfälle, spielt die qualitative und quantitative Abfallzusammensetzung eine große Rolle. Um die Sortierbarkeit des Materials zu gewährleisten ist eine Voraufbereitung des Gewerbeabfalls zwingend notwendig. Dieser Voraufbereitungsschritt erfolgt in der Splittinganlage in Wien/Oberlaa. Hier durchläuft der Gewerbeabfall eine Vorzerkleinerung, Siebung, Windsichtung sowie eine Abtrennung von Metallen, Nichteisenmetallen und Inertstoffen. Durch diese Verfahrensschritte erfolgt eine Trennung nach dem Heizwert in die Fraktionen „Hochkalorik (HK)“ und „Mittelkalorik (MK)“. Beide Fraktionen werden in der Sortieranlage in Graz/Puchstraße für die Versuche eingesetzt.

Im Vorfeld wurden bereits Technikumsversuche bei Fa. BT-Wolfgang Binder GmbH in Gleisdorf im Zuge einer Bakkalaureatsarbeit am Institut für nachhaltige Abfallwirtschaft und Entsorgungstechnik an der Montanuniversität Leoben [18] durchgeführt. Die Ergebnisse lieferten eine erste Beurteilung des Einsatzes der Nahinfrarot-Sortierung bei Gewerbeabfällen und dienten zur Generierung von Einstellungen für die Großversuche. Die großtechnischen Versuche wurden wie bereits erwähnt am Gelände der Sortieranlage der SDAG in Graz/Puchstraße über einen Zeitraum von drei Tagen durchgeführt.

Am ersten Versuchstag wurde die Sortieranlage mit den beiden aufbereiteten Gewerbeabfallfraktionen „Hochkalorik“ (>120 mm) und „Mittelkalorik“ (20-120 mm) beschickt. Die REDWAVE Sortiermaschinen sollten dabei Kunststoffe (PE und PVC) sowie Papier, Pappe und Karton (PPK) erkennen und ausschleusen. An den drei Auswurfstellen (PE, PVC und PPK) wurden Proben für eine weitere Sortieranalyse entnommen. An zwei weiteren Tagen wurden die Proben verwogen, geviertelt und manuell in weitere Einzelfraktionen (Kunststoffe, PPK, Textilien, Inertstoffe etc.) sortiert. Je ein Viertel der Proben wurde mit

einem Doppelwellenzerkleiner zerkleinert um Laborproben für eine chemisch-physikalisch Charakterisierung zu erhalten. Aus den Ergebnissen der manuellen Sortierung kann der Reinheitsgrad und die Sortiergenauigkeit der Sortiermaschinen beurteilt werden. Die beiden folgenden Kapitel geben einen genaueren Einblick in den Ablauf der Sortierversuche „Hochkalorik“ und „Mittelkalorik“.

3.2 Sortierversuch Hochkalorik

Das folgende Kapitel beschreibt den Ablauf und die Dokumentation des Sortierversuches mit dem Material „Hochkalorik“. Die Versuchsbegleitung und -durchführung wurde von Mitarbeitern der FH Pinkafeld, der SDAG und der Montanuniversität Leoben durchgeführt.

3.2.1 Versuchsablauf Hochkalorik

Abbildung 16 zeigt das Schema des Versuches mit dem Material der „Hochkalorik“. Der Versuch fand am 16. Juni 2010 in der Sortieranlage der SDAG in Graz/Puchstraße statt.

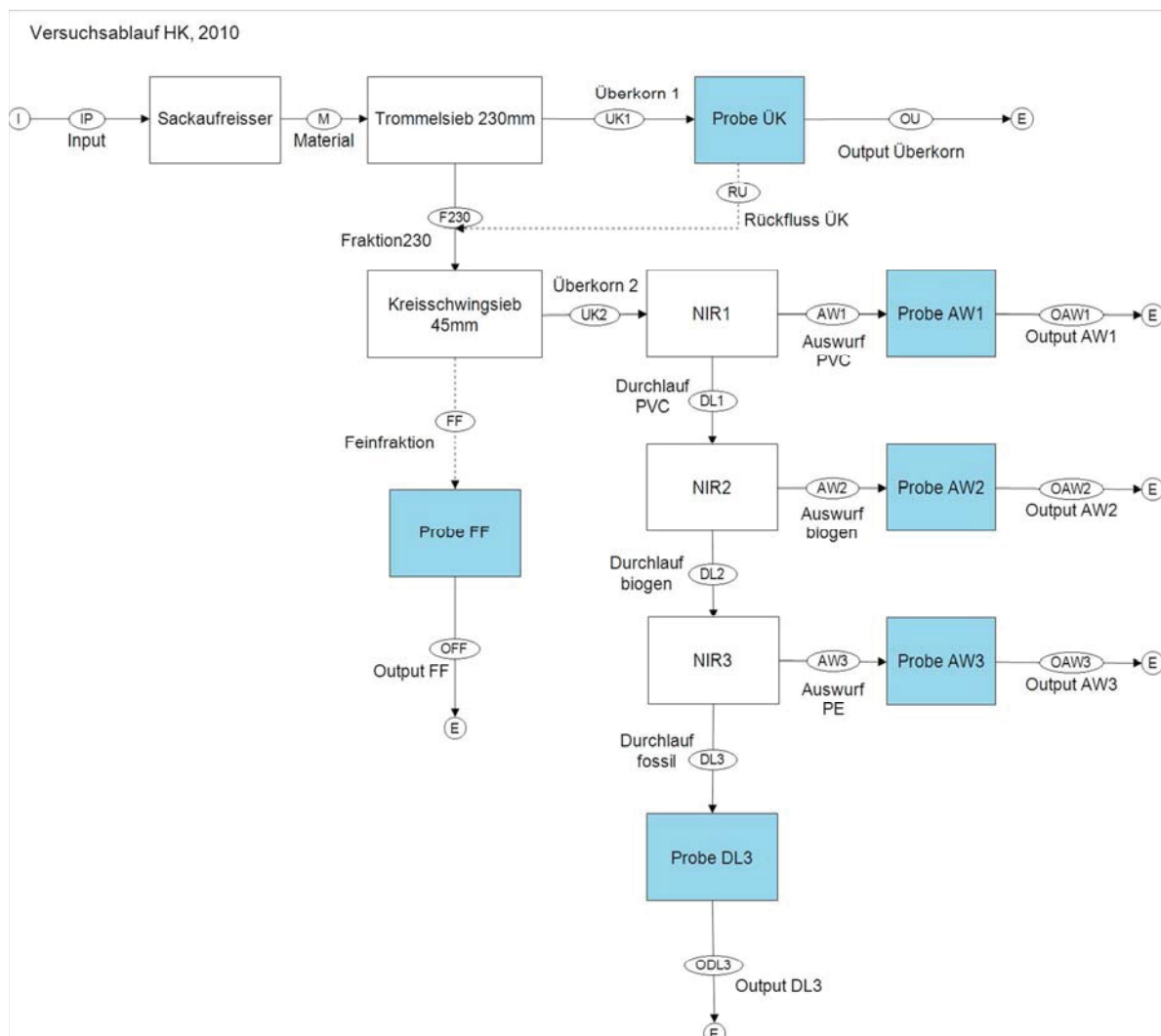


Abbildung 16: Versuchsschema Hochkalorik

Die Hochkalorik wurde mithilfe eines Radladers aus dem Bunker in den Sackaufreißer aufgegeben. Insgesamt wurden 5,4 t hochkalorischer Gewerbeabfall aufgegeben und sortiert. (Eine gleichmäßige und kontinuierliche Aufgabe des Materials auf das Förderband ist Voraussetzung für eine repräsentative Probenahme.) Im Laufe des Versuches stellte sich heraus, dass der Sackaufreißer aufgrund von Verstopfungen keinen gleichmäßigen Materialaustrag gewährleistete. Aus diesem Grund wurde das Material, wie in Abbildung 17 dargestellt, manuell auf das Austragsband Sackaufreißer aufgegeben.



Abbildung 17: manuelle Aufgabe der Hochkalorik auf das Austragsband Sackaufreißer

Im Normalbetrieb zur Sortierung von Kunststoffleichtverpackungen werden mithilfe des Trommelsiebs große Kunststoffobjekte (Korngröße >230 mm), wie z.B. großflächige Kunststofffolien, abgetrennt. Bei den Großversuchen sollte das Überkorn des Trommelsiebes manuell wieder zum Siebdurchgang hinzugefügt werden (strichlierte Linie). Aufgrund der gering anfallenden Mengen an Überkorn und der technischen Schwierigkeit der Rückführung in das System wurde das Überkorn komplett ausgeschleust. Nach Durchlauf des Trommelsiebs gelangte das Material zum Kreisschwingsieb. Mit einer Maschenweite von 45 mm erfolgte die Materialtrennung in eine Fein- und Grobfraction, wobei die Grobfraction weiter zur Nahinfrarotsortierung befördert wurde. Mittels Nahinfrarotsortierung wurden nun im 1. Arbeitsschritt PVC-Materialien, im 2. Schritt der biogene Anteil (Papier, Pappe und Karton und Holz) und im letzten Arbeitsschritt PE aussortiert. Dabei wurde der PVC-Durchlauf weiter zur Nahinfrarot-Sortiermaschine 2 befördert und der biogene Anteil abgetrennt. Danach erfolgt beim Durchlauf 2 in Folge der Nahinfrarot-Sortiermaschine 3 die Abtrennung des PE-Stroms. Der zum Schluss überbleibende fossile Durchlauf, der überwiegend aus Mischkunststoffen bestand, wurde in die Ballenpresse gefahren und dort verpresst.

Die Auswürfe PVC, biogen und PE, sowie die Feinfraction <45 mm, Durchlauf 3 (fossil) und das Überkorn wurden beprobt. Jeweils nach 20, 40, 60 und 80 Minuten des stationären Versuchsbetriebes wurden Proben entnommen. Die Probenahme erfolgte manuell an den

jeweiligen Probenahmestellen (markiert in Abbildung 16). Von Auswurf 1 (PVC), Auswurf 2 (biogen) und Auswurf 3 (PE), sowie von Durchlauf 3 (fossil) und vom Überkorn wurden je etwa 200 l oder für die Dauer von maximal zehn Minuten Proben entnommen. An den einzelnen Probenahmestellen standen je vier Mülltonnen mit einem Fassungsvermögen von 240 l zur Verfügung. Feinfraktion <45 mm wurde ebenfalls alle 20 Minuten des stationären Versuchsbetriebes beprobt. Dabei entstanden vier Proben zu je 10 l.

In den folgenden Abbildungen sind die einzelnen Probenahmestellen für Auswurf 1 (PVC), Auswurf 2 (biogen), Auswurf 3 (PE) und Feinfraktion dargestellt.



Abbildung 18: Probenahmestelle Auswurf 1 (PVC), Förderband H254

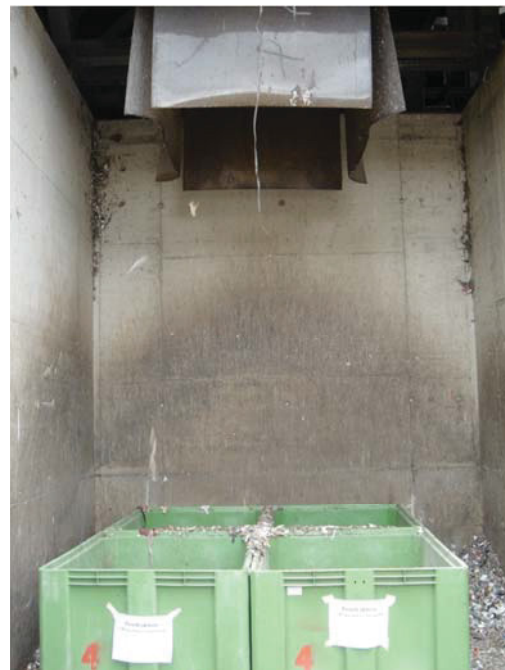


Abbildung 19: Probenahmestelle Feinfraktion



Abbildung 20: Probenahmestelle Auswurf 2 (biogen), Förderband H214



Abbildung 21: Probenahmestelle Auswurf 3 (PE), Förderband H223

Die entnommenen Proben von Auswurf 1 (PVC), Auswurf 2 (biogen) und Auswurf 3 (PE), Überkorn und Durchlauf 3 (fossil) wurden an zwei weiteren Tagen untersucht. Vor der Analyse wurden die Proben geviertelt. Je ein Viertel der einzelnen Probefractionen wurde über einen Doppelwellenzerkleinerer zerkleinert. Davon wurden je 5 l für Laborproben zur chemisch-physikalischen Charakterisierung entnommen. Die restliche Menge wurde verwogen und manuell in weitere Einzelfractionen zur Analyse der Abfallzusammensetzung sortiert. Tabelle 2 zeigt die einzelnen Sortierfractionen.

Tabelle 2: Sortierfractionen

1. Inertstoffe
2. Metalle
3. Textilien
4. Getränkeflaschen (PET)
5. Papier/Pappe/Karton
6. Holz
7. Sonstige Organik
8. Problemstoffe/gefährliche Abfälle
9. Kunststoffe 2D dunkel
10. Kunststoffe 3D dunkel
11. Kunststoffe 2D hell
12. Kunststoffe 3D hell
13. Sortierrest (Feinfraktion)
14. Verbundstoffe

Die manuelle Sortierung der Hochkalorik erfolgte bis zu einer Korngröße von 80 mm. Kleinere Bestandteile wurden zum Sortierrest (Feinfraktion) zusammengefasst. Nach der manuellen Sortierung des Probenmaterials wurden die einzelnen Sortierfractionen verwogen.

Aus den dokumentierten Daten kann die quantitative Zusammensetzung der Auswürfe und somit die Sortierleistung der einzelnen Sortiermaschinen bestimmt werden.

Mit den Erkenntnissen der Vorversuche und bestimmten Erfahrungswerten wurden Parameter wie die Erkennungsempfindlichkeit und der Druckluftbedarf der einzelnen Sortiermaschinen NIR 1 (PVC), NIR 2 (biogen) und NIR 3 (PE) eingestellt. Tabelle 3 zeigt die wichtigsten Parametereinstellungen der REDWAVE NIR 2-Weg zur Sortierung von hochkalorischen Gewerbeabfall für die Auswürfe PVC, biogen und PE.

Tabelle 3: Parameter der REDWAVE NIR 2-Weg zur Sortierung von hochkalorischem Material

Auswurf	PVC	biogen	PE
Erkennungsempfindlichkeit	1	0	2
Rauschschwelle	180	160	160
Druck	8 bar	6 bar	6 bar
Anzahl Messköpfe	64	64	64
V_{Multiplexer}	50 Hz	50 Hz	50 Hz
V_{Band}	70 Hz	65 Hz	57 Hz
t_{Verzögerung}	8 Takte, 10 ms	8 Takte, 0 ms	9 Takte, 0 ms
t_{Druckluftimpuls}	40 ms	40 ms	20 ms
Bandbreite	2.000 mm	2.000 mm	2.000 mm

3.2.2 Dokumentation des Versuchs Hochkalorik

Wie bereits in Kapitel 3.2.1 kurz beschrieben, wurden die einzelnen Container und Mülltonnen für die Probenahme vor Start des Versuches entleert, verwogen und beschriftet. Es standen je vier Mülltonnen mit einem Fassungsvermögen von 240 l für Auswurf 1 (PVC), Auswurf 2 (biogen), Auswurf 3 (PE), Überkorn und Durchlauf 3 (fossil) zur Verfügung. Für die Probenahme der Feinfraktion (Unterlauf Kreisschwingsieb) wurden vier Boxen mit einem Fassungsvermögen von je 500 l bereitgestellt.

Ein Beispiel der Dokumentation während der Probenahme zeigt Abbildung 22. Entnommen wurden 200 l bzw. 10 l Probe bei der Feinfraktion für eine maximale Dauer von zehn Minuten.

DURCHLAUF 3 (fossil)		Probe Nr. 1	Probe Nr. 2	Probe Nr. 3	Probe Nr. 4
Stoffstrom:	HK				
Datum (Sortierung):					
Datenerfassung durch:		16:30, 4 min	16:30, 40 sek	17:10, 50 sek	17:30, 40 sek
Anmerkungen: <i>Wär Zeit, Wasser</i>		Tara 16,10	Tara 16,40	10014,50	Tara 15,50
Gesamtprobe:					
Verwendete Waage (Gesamtprobe):					
davon Sortierprobe:					
davon Laborprobe für DWZ:					
Laborprobe verjüngt:					
Verwendete Waage (Laborprobe):					
Verwendete Waage (für TARA):					

Abbildung 22: Dokumentation während der Probenahme von Durchlauf 3 (fossil)

Nach Viertelung und manueller Sortierung der Proben wurden die Einzelfractionen verwogen. Die Dokumentation der Daten erfolgte auf einem Datenblatt auf dem die TARA-Gewichte der Mülltonnen und die Einwaage festgehalten wurden. Mithilfe dieser Daten konnte das Nettogewicht der einzelnen Sortierfraktionen für die quantitative Auswertung ermittelt werden. Die folgenden Abbildungen zeigen ein paar Auszüge der Fotodokumentation. Dabei sind die in Tabelle 2 beschriebenen Sortierfraktionen abgebildet.



Abbildung 23: Kunststoffe 2D dunkel HK



Abbildung 24: Kunststoffe 2D hell HK

Zu den Kunststoffen 2D (Abbildung 23 und Abbildung 24) zählen Folien und folienartige Kunststoffe, wobei eine weitere Unterteilung in hell und dunkel erfolgt.



Abbildung 25: Kunststoffe 3D dunkel HK



Abbildung 26: Kunststoffe 3D hell HK

Kunststoffe 3D (Abbildung 25 und Abbildung 26) sind Hohlkörper oder ähnliche dreidimensionale oder dickwandige Kunststoffe wie zum Beispiel Styropor, Schaumstoff, Plastikteller etc. Hier wird ebenfalls zwischen hell und dunkel unterschieden.



Abbildung 27: PPK HK

Zur Sortierfraktion PPK (Abbildung 27) zählen alle Formen von Papier, Pappe und Kartonagen. Abbildung 28 zeigt die Holzfraktion. Verbundstoffe sind Verpackungsmaterialien, die aus mindestens zwei verschiedenen Materialien bestehen, die miteinander verbunden und schwer voneinander trennbar sind. Die aussortierte Verbundfraktion (Abbildung 29) enthielt beschichtete Kunststoffe, Kabelreste, sowie Verbunde aus Holz, Kunststoffen, Textilien und Metallen.



Abbildung 28: Holz HK



Abbildung 29: Verbunde HK

Der Sortierrest (Abbildung 30) mit einer Korngröße < 80 mm war jener Anteil, der nach der manuellen Sortierung zurück blieb. Abfälle, die nicht eindeutig einer Sortierfraktion zugeordnet werden konnten, z.B. Windeln, wurden als sonstige Abfälle (Abbildung 31) betont. Der Anteil an PET-Flaschen (Abbildung 32) war eher gering.



Abbildung 30: Sortierrest HK



Abbildung 31: Sonstiges HK



Abbildung 32: PET-Flaschen HK

Tabelle 4 zeigt die Probenmengen, die im Zuge des Großversuchs der Hochkalorik entnommen und manuell sortiert wurden. Ebenso sind die Mengen aller aus der Sortieranlage gehenden Abfallströme dargestellt.

Tabelle 4: Probenmengen (entnommen und sortiert) und Output der Hochkalorik

HOCHKALORIK	Probe entnommen	Probe sortiert	Output¹	Output gesamt²
	[kg]	[kg]	[kg]	[kg]
Auswurf 1 (PVC)	47,2	28,5	135	182,2
Auswurf 2 (biogen)	70,4	34,3	264	334,4
Auswurf 3 (PE)	57,8	31,4	1.355	1.412,8
Durchlauf 3	65,5	39,6	2.359	2.424,5
Feinfraktion	22,9	22,9	617	639,9
Überkorn	27	24,4	369	396
SUMME	290,8	181,1	5.099	5.389,8

¹abzüglich Probenmaterial

²inklusive Material für Beprobung

Im Versuch der Hochkalorik wurden insgesamt 290,8 kg Proben entnommen. Davon wurden mehr als 180 kg manuell in die einzelnen Sortierfraktionen sortiert. Im Versuchsbetrieb wurde ebenso die Menge der Outputs ermittelt.

3.3 Sortierversuch Mittelkalorik

Dieses Kapitel geht auf den Ablauf und die Dokumentation des Sortierversuches mit der Mittelkalorik ein.

3.3.1 Versuchsablauf Mittelkalorik

Der Sortierversuch „Mittelkalorik“ fand am 16. Juni 2010 in der NIR-Sortieranlage der Fa. Saubermacher Dienstleistungs AG (SDAG) in Graz/Puchstraße statt. Die Mittelkalorik mit einer Korngröße von 20-120 mm wurde wie im Versuchsschema der Abbildung 33 auf die Nahinfrarotsortieranlage aufgegeben.

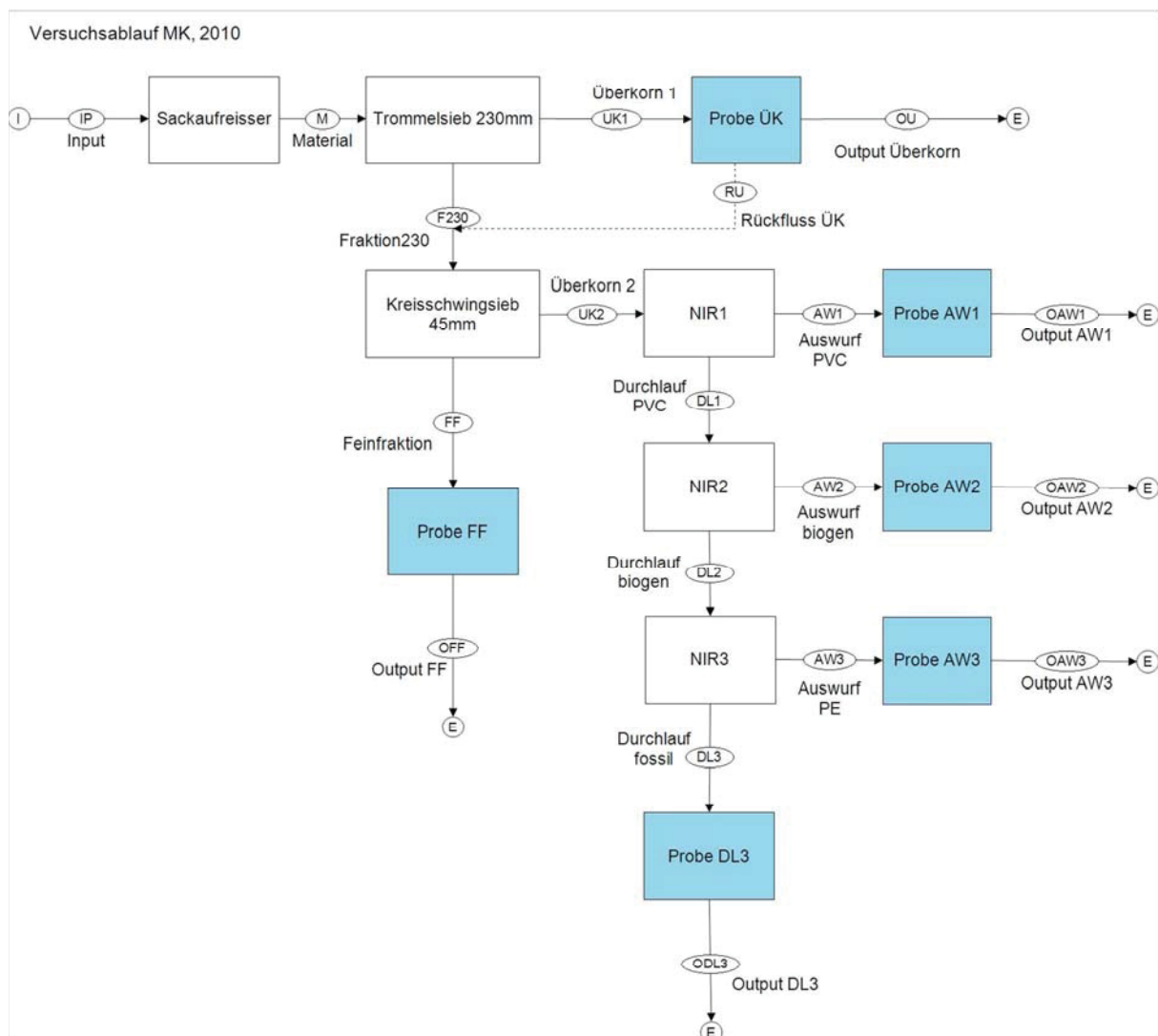


Abbildung 33: Versuchsschema Mittelkalorik

Der Input dieses Sortierversuches bestand aus 5,4 t Material der Mittelkalorik. Nach Passieren des Trommelsiebes wurde das Überkorn wie im Versuch mit der Hochkalorik aus dem System geschleust. Im Kreisschwingsieb wurde das Material in eine Feinfraktion <45 mm und den Siebüberlauf (Überkorn 2) getrennt. Die Feinfraktion wurde beprobt und der Überlauf weiter zu den Nahinfrarot-Sortiermaschinen befördert. Wie im Versuch der

Hochkalorik sortierten die REDWAVEs zuerst PVC, dann biogenes Material (PPK+Holz) und als letztes PE aus. Jeder Auswurfstrom wurde beprobt und der Durchlauf zu Ballen verpresst. An den Probenahmestellen Auswurf 1 (PVC), Auswurf 2 (biogen), Auswurf 3 (PE), Durchlauf 3 (fossil), Überkorn und Feinfraktion wurden je vier Proben entnommen. Die Entnahme erfolgte nach 20, 40, 55 und 65 min des stationären Versuchsbetriebs. Es wurden je 200 l der Probenahmestellen Auswurf 1 (PVC), Auswurf 2 (biogen), Auswurf 3 (PE), Durchlauf 3 (fossil) und Überkorn sowie je 10 l der Probenahmestelle Feinfraktion entnommen.

Die Proben wurden vor der manuellen Sortierung verwogen und geviertelt, wobei je $\frac{3}{4}$ des Probenmaterials im Doppelwellenzerkleinerer für eine spätere Laboruntersuchung zur chemisch-physikalischen Charakterisierung zerkleinert wurden. Sortiert wurde in die gleichen Fraktionen wie bei der Hochkalorik, siehe Tabelle 2. Aus Zeitgründen wurden nur 3 Proben jedes Auswurfes manuell sortiert. Die Sortierung der Mittelkalorik erfolgte bis zu einer Korngröße von 45 mm. Die erhaltenen Sortierfraktionen wurden abgewogen und fotografisch dokumentiert.

Für die Sortierung des feineren Materials der Mittelkalorik mussten die Parameter der Nahinfrarot-Sortiermaschinen anhand der Erkenntnisse und Erfahrungen der Vorversuche im Technikum der Firma BT-Wolfgang Binder GmbH angepasst werden. Tabelle 5 zeigt die eingestellten Parameter der Sortiermaschinen NIR 1 (PVC), NIR 2 (biogen), NIR 3 (PE).

Tabelle 5: Mittelkalorik-Parameter der REDWAVE NIR 2-Weg

Auswurf	PVC	biogen	PE
Erkennungsempfindlichkeit	0	0	1
Rauschschwelle	180	160	160
Druck	8 bar	8 bar	6 bar
Anzahl Messköpfe	64	64	64
V_{Multipler}	50 Hz	50 Hz	50 Hz
V_{Band}	70 Hz	68 Hz	57 Hz
t_{Verzögerung}	8 Takte, 10 ms	8 Takte, 10 ms	9 Takte, 0 ms
t_{Druckluftimpuls}	40 ms	40 ms	20 ms
Bandbreite	2.000 mm	2.000 mm	2.000 mm

3.3.2 Dokumentation des Versuchs Mittelkalorik

Vor Beginn des Versuches mit der Mittelkalorik wurden die zur Probenahme benötigten Container und Mülltonnen entleert, verwogen, beschriftet und bereitgestellt. Für die Probenahmestellen Auswurf 1 (PVC), Auswurf 2 (biogen), Auswurf 3 (PE), Durchlauf 3 (fossil) und Überkorn wurden je vier Mülltonnen mit einem Fassungsvermögen von 240 l zur Verfügung gestellt. Für die Probenahme der Feinfraktion wurden 4 x 500 l Boxen benötigt.

Die Dokumentation der Probenahme erfolgt wie beim Versuch mit der Hochkalorik, siehe Abbildung 22. Im Vorfeld wurden Datenblätter zur Dokumentation von Uhrzeit und Dauer der Probenahme an jeder Probenahmestelle bereit gelegt. Nach 20, 40, 55 und 65 min des

stationären Versuchsbetriebs wurden zeitgleich die einzelnen Proben an jeder Probenahmestelle entnommen. Es wurde entweder bis zur Erreichung der maximalen Probenahmemenge oder maximal zehn Minuten beprobt.

Als Beispiele für die Proben der Probenahmestellen Auswurf 1 (PVC), Auswurf 2 (biogen), Auswurf 3 (PE) und Durchlauf 3 (fossil) des Sortierversuches der Mittelkalorik sind folgende Abbildungen angeführt.



Abbildung 34: Probe Auswurf 1 (PVC) MK



Abbildung 35: Probe Auswurf 2 (biogen) MK



Abbildung 36: Probe Auswurf 3 (PE) MK



Abbildung 37: Probe Durchlauf 3 (fossil) MK

Die Proben wurden nach Ende des Versuches verwogen, geviertelt und manuell sortiert. Abbildung 38 zeigt die dafür eingerichtete Sortierstelle.



Abbildung 38: Sortierstelle

Die manuelle Sortierung erfolgte wie bei der Hochkalorik in die Sortierfraktionen der Tabelle 2. Auf einem weiteren Datenblatt wurden TARA-Gewichte und die Einwaage der einzelnen Sortierfraktionen festgehalten. Aus den gesammelten Daten konnte das Nettogewicht der sortierten Abfallfraktionen ermittelt werden.

Vor Entsorgung der Sortierfraktionen wurden diese noch fotodokumentiert. Die nächsten Abbildungen zeigen Beispiele der Abfallzusammensetzung der Mittelkalorik.



Abbildung 39: Kunststoffe 2D dunkel MK



Abbildung 40: Kunststoffe 3D hell MK



Abbildung 41: Kunststoffe 2D hell MK



Abbildung 42: PPK MK

Wie bei der Sortierung der Hochkalorik wurden die Kunststoffe in die Fraktionen hell und dunkel bzw. 2D und 3D unterteilt (Abbildung 39, Abbildung 40, Abbildung 41 und Abbildung

44). Abbildung 42 zeigt die Fraktion Papier, Pappe und Karton der Mittelkalorik. In Abbildung 43 und Abbildung 45 sind der Sortierrest und die Sortierfraktion Holz dargestellt.



Abbildung 43: Sortierrest MK

Abbildung 44: Kunststoffe 3D
dunkel MK

Abbildung 45: Holz MK

Zu den Inertstoffen (Abbildung 46) zählten Materialien aus Glas, Keramik, sowie Gesteinsmaterialien. Abbildung 47 zeigt die Fraktion Verbunde der Mittelkalorik. Der größte Anteil der Sortierfraktion Metalle (Abbildung 48) bestand aus aluminiumhaltigen Materialien, wie z.B. Dosen.



Abbildung 46: Inertstoffe MK



Abbildung 47: Verbunde MK



Abbildung 48: Metalle MK

Tabelle 6 zeigt die Mengen an entnommenen und manuell sortierten Proben im Versuch mit der Mittelkalorik. Ebenso wurden die Mengen der ausgehenden Stoffströme ermittelt.

Tabelle 6: Probenmengen (entnommen und sortiert) und Output der Mittelkalorik

MITTELKALORIK	Probe entnommen	Probe sortiert	Output¹	Output gesamt²
	[kg]	[kg]	[kg]	[kg]
Auswurf 1 (PVC)	78,1	37,2	108	186,1
Auswurf 2 (biogen)	81,2	43,6	271	352,2
Auswurf 3 (PE)	67,7	32,9	630	697,7
Durchlauf 3	93	1,45	2.848	2.941
Feinfraktion	22,2	21,6	2.820	2.842,2
Überkorn	1,1	0,77	4,3	5,4
SUMME	343,3	137,52	6.681,3	7.024,6

¹abzüglich Probenmaterial

²inklusive Material für Beprobung

Im Versuch der Mittelkalorik wurden rund 343 kg Probenmaterial entnommen und 137 kg davon manuell sortiert. Der gesamte Output betrug 7.024,6 kg.

4 Ergebnisse der Sortieranalyse

In diesem Kapitel werden die Ergebnisse der manuellen Sortierung im Zuge der Großversuche mit der Hoch- und Mittelkalorik in Graz bei der NIR-Sortieranlage der SDAG dargestellt. Anschließend erfolgt eine Analyse und Interpretation der Versuchsergebnisse.

4.1 Sortierergebnis Hochkalorik

Im Folgenden werden die Sortierergebnisse Hochkalorik-Auswurf 1 (PVC), -Auswurf 2 (biogen), -Auswurf 3 (PE), -Durchlauf 3 (fossil), -Feinfraktion und -Überkorn analysiert und deren Zusammensetzung graphisch dargestellt. Anhand dieser Ergebnisse lassen sich die Sortierleistungen der Auswürfe und die Sortierleistungen der einzelnen Nahinfrarot-Sortiermaschinen ermitteln.

Während des stationären Versuchsbetriebs wurden, wie bereits in Kapitel 3 erwähnt, jeweils vier Proben der Fraktionen Auswurf 1 (PVC), Auswurf 2 (biogen), Auswurf 3 (PE), Durchlauf 3 (fossil), Feinfraktion und Überkorn entnommen. Jede Probe wurde manuell in die einzelnen Sortierfraktionen aus Tabelle 2 nachsortiert und verwogen. Der Massenmittelwert für jede Sortierfraktion der vier Proben wurde gebildet um die Zusammensetzung der Proben darstellen zu können. Im Folgenden sind die Ergebnisse aus der manuellen Sortierung tabellarisch und graphisch dargestellt.

4.1.1 Auswurf 1 (PVC)

Es wurden vier Proben des Auswurfs 1 (PVC) der Hochkalorik entnommen und insgesamt 28,5 kg manuell sortiert. Aus den Massen der Sortierfraktionen wurde der Mittelwert ermittelt, der in Tabelle 7 angegeben ist.

Tabelle 7: Sortierergebnis Auswurf 1 (PVC) HK

Auswurf 1 (PVC) Hochkalorik		
	[kg]	[%]
Kunststoffe 2D hell	1,47	20,6
Kunststoffe 3D hell	2,26	31,7
Kunststoffe 2D dunkel	0,22	3,1
Kunststoffe 3D dunkel	0,15	2,1
Getränkeflaschen (PET)	0,02	0,3
PPK	0,50	7,0
Holz	0,05	0,7
Textilien	0,84	11,8
Verbundstoffe	1,33	18,6
Inertstoffe	0,00	0,0
Metalle	<0,01	<0,1
Sonstige Organik	0,00	0,0
Problemstoffe/gefährliche Abfälle	0,00	0,0
Sortierrest (Feinfraktion)	0,29	4,1
SUMME	7,13	100*

*Abweichungen zu 100 % aufgrund von Rundungsfehlern

Abbildung 49 zeigt die graphische Darstellung des Sortierergebnisses. Auswurf 1 (PVC) der Hochkalorik besteht zu fast 60 % aus Kunststoffen, wobei der Großteil helle Kunststoffe und nur 5,5 % dunkle Kunststoffe und PET-Flaschen ausmacht. Einen großen Anteil nehmen Verbundstoffe, Textilien und Papier, Pappe und Karton (PPK) ein. Die Anteile an Holz und Metallen liegen jeweils unter 1 %.

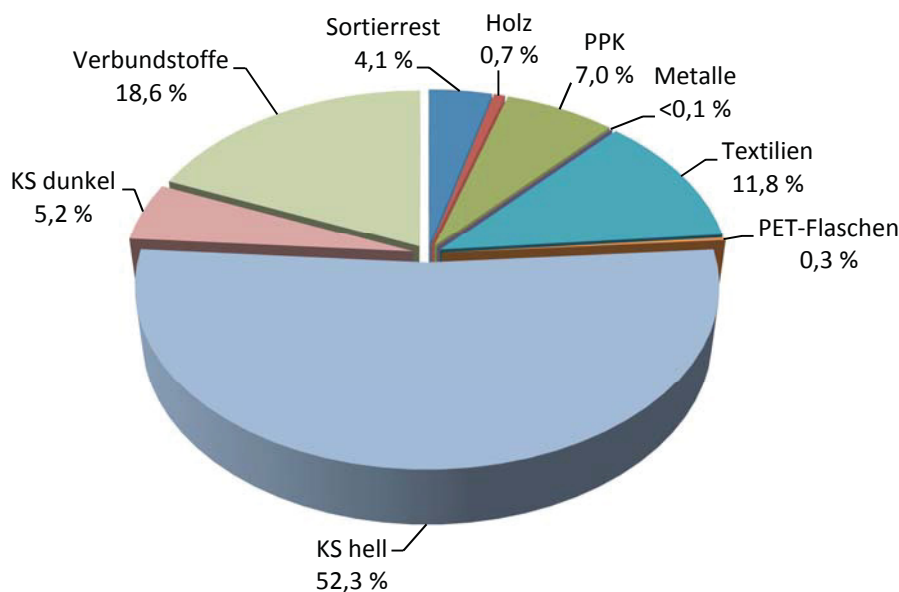


Abbildung 49: Graphische Darstellung des Sortierergebnisses Auswurf 1 (PVC) HK

4.1.2 Auswurf 2 (biogen)

Insgesamt wurden 34,3 kg Auswurf 2 (biogen) der Hochkalorik manuell sortiert. Die Massenangaben der einzelnen Sortierfraktionen, dargestellt in Tabelle 8, zeigen die Mittelwerte der vier Einzelproben der jeweiligen Fraktion.

Tabelle 8: Sortierergebnis Auswurf 2 (biogen) HK

Auswurf 2 (biogen) Hochkalorik		
	[kg]	[%]
PPK	4,62	53,8
Holz	0,59	6,9
Kunststoffe 2D hell	0,73	8,5
Kunststoffe 3D hell	0,56	6,5
Kunststoffe 2D dunkel	0,14	1,6
Kunststoffe 3D dunkel	0,06	0,7
Getränkeflaschen (PET)	<0,01	0,1
Textilien	1,00	11,7
Verbundstoffe	0,37	4,3
Inertstoffe	0,00	0,0
Metalle	0,03	0,3
Sonstige Organik	0,01	0,1
Problemstoffe/gefährliche Abfälle	0,00	0,0
Sortierrest (Feinfraktion)	0,48	5,6
SUMME	8,58	100*

*Abweichungen zu 100 % aufgrund von Rundungsfehlern

Abbildung 50 stellt das Sortierergebnis von Auswurf 2 (biogen) der Hochkalorik graphisch dar. Etwas mehr als die Hälfte von Auswurf 2 (biogen) besteht aus Papier, Pappe und Karton (PPK). Weitere 7 % nimmt Holz ein. Somit beträgt der Anteil an biogenem Material etwa 61 %. Die restlichen Bestandteile sind Fehlauswürfe. Dazu gehören zum Großteil Textilien, Kunststoffe hell und Verbundstoffe. In Auswurf 2 (biogen) ist ein geringer Anteil an dunklen Kunststoffen, PET-Flaschen und sonstiger Organik enthalten.

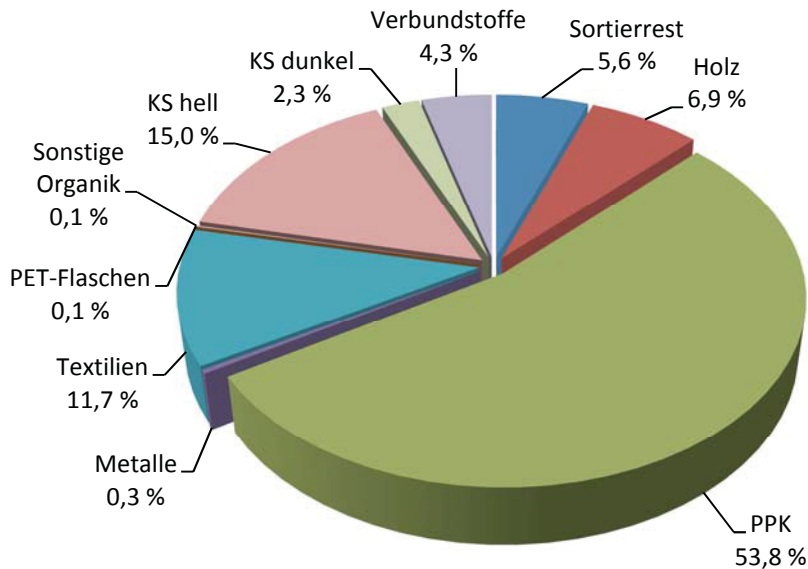


Abbildung 50: Graphische Darstellung des Sortierergebnisses Auswurf 2 (biogen) HK

4.1.3 Auswurf 3 (PE)

Es wurden insgesamt 31,3 kg Auswurf 3 (PE) der Hochkalorik manuell sortiert. Tabelle 9 zeigt die Zusammensetzung dieser Fraktion.

Tabelle 9: Sortierergebnis Auswurf 3 (PE) HK

Auswurf 3 (PE) Hochkalorik		
	[kg]	[%]
Kunststoffe 2D hell	3,02	38,5
Kunststoffe 3D hell	0,71	9,1
Kunststoffe 2D dunkel	0,26	3,3
Kunststoffe 3D dunkel	0,12	1,5
Getränkeflaschen (PET)	0,12	1,5
PPK	1,52	19,4
Holz	0,03	0,4
Textilien	0,72	9,2
Verbundstoffe	0,62	7,9
Inertstoffe	0,00	0,0
Metalle	0,01	0,1
Sonstige Organik	0,09	1,1
Problemstoffe/gefährliche Abfälle	0,00	0,0
Sortierrest (Feinfraktion)	0,62	7,9
SUMME	7,84	100*

*Abweichungen zu 100 % aufgrund von Rundungsfehlern

Abbildung 51 zeigt eine graphische Darstellung des Sortierergebnisses. Auswurf 3 (PE) der Hochkalorik besteht zum Großteil aus Kunststoffen, wobei die hellen Kunststoffe fast die Hälfte und etwa 5 % die dunklen Kunststoffe einnehmen. PET-Flaschen haben einen

geringen Anteil von 1,5 %. Der Fehlwurfanteil beträgt etwa 40 % und besteht zum Großteil aus Papier, Pappe und Karton (PPK), Textilien und Verbundstoffen. Einen geringeren Anteil nehmen Metalle, Holz und sonstige Organik ein.

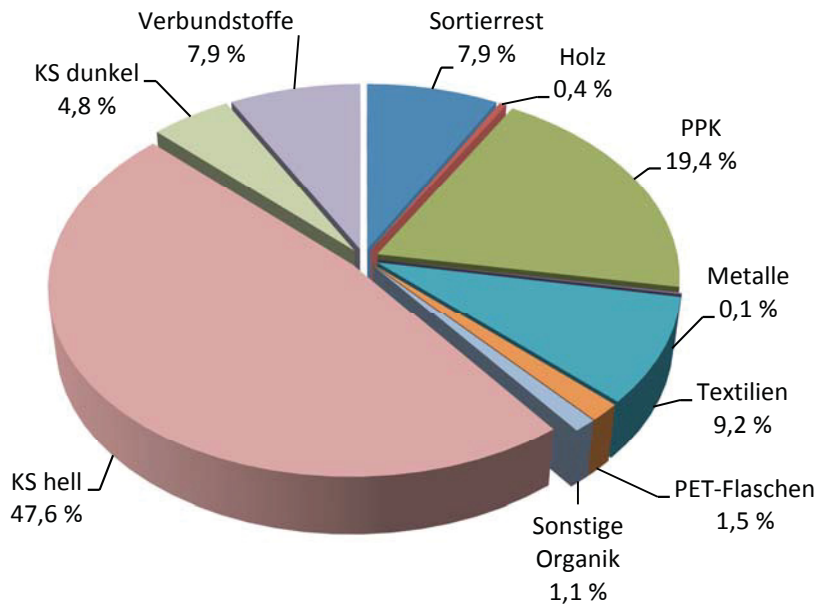


Abbildung 51: Graphische Darstellung des Sortierergebnisses Auswurf 3 (PE) HK

4.1.4 Durchlauf 3 (fossil)

Insgesamt wurden 39,6 kg Durchlauf 3 (fossil) der Hochkalorik manuell in die Sortierfraktionen sortiert. Tabelle 10 stellt das Ergebnis der manuellen Sortierung dieser Fraktion dar.

Tabelle 10: Sortierergebnis Durchlauf 3 (fossil) HK

Durchlauf 3 (fossil) Hochkalorik		
	[kg]	[%]
Kunststoffe 2D hell	1,26	12,7
Kunststoffe 3D hell	1,13	11,4
Kunststoffe 2D dunkel	0,31	3,1
Kunststoffe 3D dunkel	0,52	5,2
Getränkeflaschen (PET)	0,26	2,6
PPK	2,78	28,0
Holz	0,22	2,2
Textilien	1,44	14,5
Verbundstoffe	0,88	8,9
Inertstoffe	0,03	0,3
Metalle	0,05	0,5
Problemstoffe/gefährliche Abfälle	0,01	0,1
Sonstige Organik	0,16	1,6
Sortierrest (Feinfraktion)	0,87	8,8
SUMME	9,92	100*

*Abweichungen zu 100 % aufgrund von Rundungsfehlern

Abbildung 52 zeigt eine graphische Darstellung des Sortierergebnisses von Durchlauf 3 (fossil) der Hochkalorik. Knapp ein Drittel besteht aus Papier, Pappe und Karton (PPK), etwa die Hälfte aus Textilien, hellen Kunststoffen und Verbundstoffen. 15 % nehmen Holz, dunkle Kunststoffe, PET-Flaschen und sonstige Organik ein. Durchlauf 3 (fossil) enthält Spuren von Inertstoffen, Metallen und Problemstoffen.

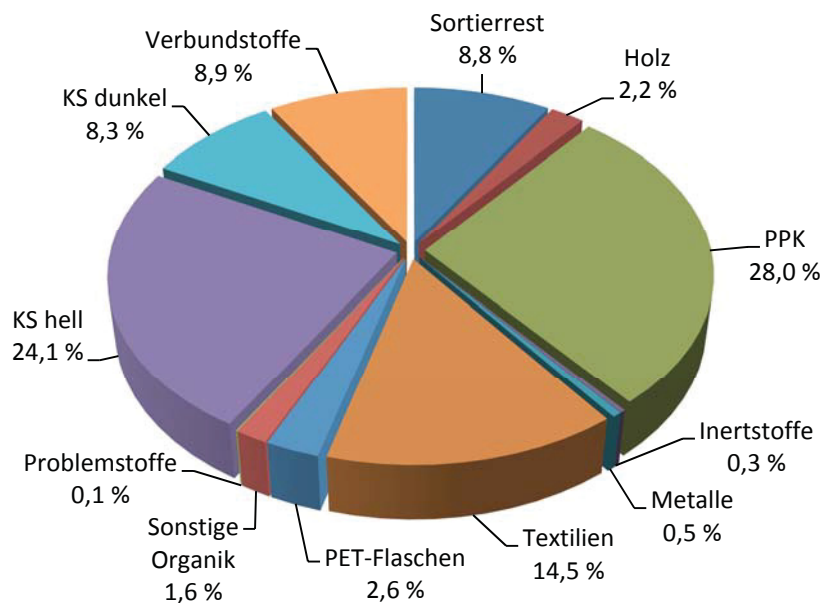


Abbildung 52: Graphische Darstellung des Sortierergebnisses Durchlauf 3 (fossil) HK

4.1.5 Feinfraktion (<45 mm)

Die Feinfraktion der Hochkalorik wurde nicht manuell sortiert. Insgesamt wurden 17,8 kg Probe für eine spätere Laboruntersuchung zur chemisch-physikalischen Charakterisierung entnommen.

4.1.6 Überkorn (>230 mm)

Es wurden insgesamt 24,4 kg Proben des Überkorns der Hochkalorik entnommen und manuell sortiert. Tabelle 11 zeigt das Sortierergebnis in Bezug auf Massen und Anteile der einzelnen Sortierfraktionen.

Tabelle 11: Sortierergebnis Überkorn HK

Überkorn (>230 mm) Hochkalorik		
	[kg]	[%]
Kunststoffe 2D hell	2,03	33,3
Kunststoffe 3D hell	0,96	15,7
Kunststoffe 2D dunkel	0,13	2,1
Kunststoffe 3D dunkel	0,62	10,2
Getränkeflaschen (PET)	0,00	0,0
PPK	0,68	11,1
Holz	0,02	0,3
Textilien	0,92	15,1
Verbundstoffe	0,51	8,4
Inertstoffe	0,00	0,0
Metalle	0,00	0,0
Problemstoffe/gefährliche Abfälle	0,00	0,0
Sonstige Organik	0,00	0,0
Sortierrest (Feinfraktion)	0,24	3,9
SUMME	6,10	100*

*Abweichungen zu 100 % aufgrund von Rundungsfehlern

In Abbildung 53 ist das Sortierergebnis des Überkorns graphisch dargestellt. Das Überkorn der Hochkalorik besteht zum Großteil aus Kunststoffen, wobei rund die Hälfte davon helle Kunststoffe sind. Papier, Pappe und Karton (PPK), Verbundstoffe und Textilien nehmen zusammen rund 35 % ein. Die restlichen 4 % entfallen auf den Sortierrest (Feinfraktion) und ein geringer Anteil auf Holz.

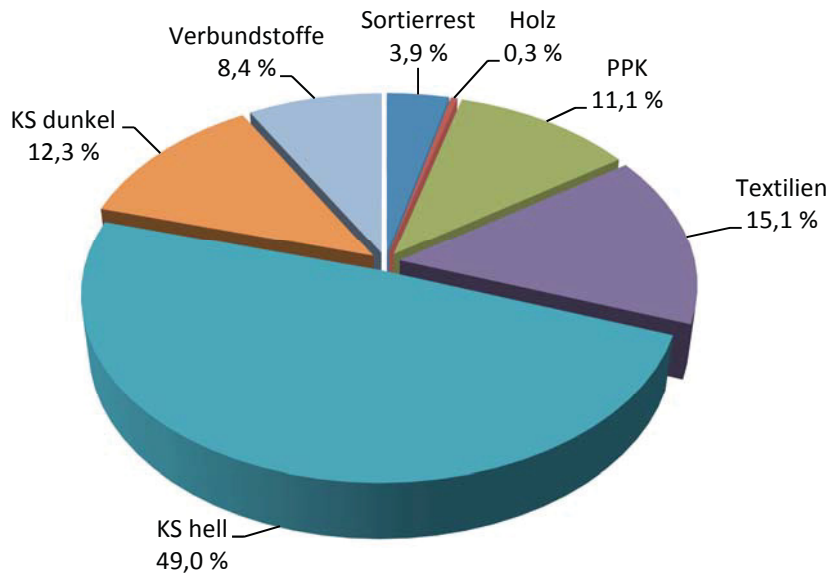


Abbildung 53: Graphische Darstellung des Sortierergebnisses Überkorn HK

4.2 Interpretation des Sortierergebnisses Hochkalorik

Im Folgenden werden die Sortierergebnisse von Hochkalorik-Auswurf 1 (PVC), -Auswurf 2 (biogen) und -Auswurf 3 (PE) interpretiert und auf verschiedene Möglichkeiten einer Verwertung eingegangen.

4.2.1 Auswurf 1 (PVC)

Ziel der Nahinfrarot-Sortiermaschinen eins und drei war die gezielte Ausschleusung von Kunststoffen aus gemischtem Gewerbeabfall. Sortiermaschine eins hatte die Aufgabe den hochkalorischen Anteil des Gewerbeabfalls von PVC zu befreien. Die PVC-Entfrachtung spielt vor allem bei Abfällen, die in Verbrennungs- und Mitverbrennungsanlagen eingesetzt werden, eine große Rolle. Bei der Verbrennung von chlorhaltigen Materialien wie z.B. PVC, können Dioxine und HCl-Rohgas entstehen. Der gasförmige Chlorwasserstoff kann in den Verbrennungsanlagen zu Korrosionsproblemen führen.

Auswurf 1 (PVC) der Hochkalorik enthält nahezu 60 % Kunststoffe, was ohne weitere Optimierungsmaßnahme auf den ersten Blick einer guten Sortenreinheit entspricht. Das Ausbringen liegt jedoch nur bei 6 %. Das bedeutet, dass nur 6 % der im Gewerbeabfall enthaltenen Kunststoffe durch die Sortiermaschine eins richtig aussortiert wurden. Der Fehlwurfanteil im Auswurf 1 (PVC), bestehend aus Textilien, Papier und anderen Störstoffen, beträgt etwa 40 %. Das Fazit aus Auswurf 1 (PVC) ist, dass eine weitere Nutzung des Materials im Sinne einer stofflichen Verwertung nicht sinnvoll erscheint, da der Anteil an Fremdstoffen zu hoch ist. Eine andere Verwertungsmöglichkeit wäre der Einsatz in Mitverbrennungsanlagen. Die Dioxinbildung in Folge der PVC-Verbrennung kann durch eine gute Verbrennungsführung und eine moderne Abgasreinigung vermieden werden. Eine detailliertere Untersuchung der in der Fraktion Auswurf 1 (PVC) enthaltenen Kunststoffe auf die genaue Zusammensetzung wurde nicht durchgeführt. Die chemisch-physikalische

Analyse ergab einen Cl-Gehalt von $12,2 \pm 2,3$ % im Auswurf 1 (PVC). 41 % der Chlorfracht werden mit ca. 3 % der Masse entfernt. [23]

4.2.2 Auswurf 2 (biogen)

Die Möglichkeiten einer stofflichen Verwertung von Papier-, Karton-, und Papperesten sind im Gegensatz zu denen von Kunststoffen bei weitem vielseitiger. Je nach bestehender und erforderlicher Qualität lassen sich Papierabfälle zu verschiedenen Sorten von Altpapier weiterverarbeiten. Der Störstoffgehalt bei Altpapier ist demnach nur ein Kriterium für die Zuordnung zur jeweiligen Papiersorte. Sortiermaschine zwei hatte die Aufgabe den biogenen Anteil (PPK+Holz) vom Gewerbeabfall zu trennen. Der Anteil an Papier, Pappe und Karton in Auswurf 2 (biogen) beträgt fast 54 %. Eine hohe Sortenreinheit bei einer Ausbringungsrate von 15,8 % für PPK. Hinzu kommt der Anteil an Holz, der etwa 7 % ausmacht. Somit besteht Auswurf 2 (biogen) zu mehr als 60 % aus Papier- und Holzfasern die zur Produktion von Recyclingpapier eingesetzt werden könnten. Durch verbesserte Einstellungen der Nahinfrarot-Sortiermaschine in Bezug auf die Abtrennung von PPK, können reinere Fraktionen erzeugt werden. Es werden Sortenreinheiten von 80 bis 90 % prognostiziert. So kann mithilfe der Nahinfrarotsortierung von Gewerbeabfall, eine als Mischpapier verwertbare Fraktion erzeugt werden.

Laut CEPI (Confederation of European Paper Industries)-Sortenliste ist Mischpapier: eine Mischung verschiedener Papier und Pappenqualitäten die max. 40 % Zeitungen und Illustrierte enthält. Die CEPI-Liste legt europäische Standardsorten für Altpapier fest und ist somit als Hilfestellung zu sehen, die von den Industrien, Organisationen und anderen Gruppen beim Einkauf und Verkauf dieses Sekundärrohstoffes genutzt werden kann. Laut CEPI dürfen nur 1,5-3 % Störstoffe im Mischpapier enthalten sein. Zu diesen Störstoffen zählen z.B. Textilien, Kunststoffe, Inertstoffe etc. Die jahrelange Entwicklung des Papiermarktes führte zu einer zusätzlichen, nicht von CEPI festgelegten, Anforderung an Mischpapier. Die Marktteilnehmer haben für sich einen max. Gehalt von 25 % Kartonagen im Mischpapier festgelegt. [24], [25]

Aufgrund der Tatsache, dass durch die Nahinfrarot-Sortierung von Gewerbeabfall eine Papierfraktion erzeugt werden kann, die als Mischpapier vermarktbar ist, wird im Folgejahr eine Versuchsanlage in Betrieb genommen. Die Splittinganlage in Wien/Oberlaa wird um eine Sortiereinheit erweitert um die genaue Sortierleistung der Nahinfrarot-Sortiermaschinen bei der Sortierung von Gewerbeabfall weiter zu untersuchen. Die dabei installierte NIR-Sortiermaschine soll gezielt Papier, Pappe und Karton (PPK) ausschleusen. Bei Erreichung der gewünschten Sortenreinheit von 80 bis 90 % wird die erhaltene Fraktion in Form von Mischpapier stofflich verwertet. In Kapitel 6 wird die geplante Sortiereinheit genauer beschrieben.

4.2.3 Auswurf 3 (PE)

Sortiermaschine drei sollte PE aus dem Abfallstrom der Hochkalorik trennen. Die Ausbringungsrate der Sortiermaschine beträgt etwa 48 %, was ein deutlich besseres Ergebnis im Gegensatz zu Sortiermaschine eins ist. Im Auswurf 3 (PE) beträgt der Anteil an

Kunststoffen ebenso wie in Auswurf 1 (PVC) mehr als die Hälfte. Der Anteil an Fremdstoffen ist jedoch mit rund 47 % deutlich höher. Eine direkte Verwertung der Kunststoffe dieses Auswurfes ist aufgrund des hohen Störstoffgehaltes und der geringen Sortenreinheit nicht möglich.

Um die Unterschiede in den Sortenreinheiten für Kunststoffe und den biogenen Anteil, sowie die Ausbringungsraten der drei Sortiermaschinen nochmals deutlich zu machen, ist ein Vergleich in Tabelle 12 aufgelistet.

Tabelle 12: Vergleich der Sortenreinheiten HK

HOCHKALORIK		
Sortenreinheiten	Kunststoffe	biogener Anteil
	[%]	[%]
Auswurf 1 (PVC)	57,5	7,7
Auswurf 2 (biogen)	17,3	60,7
Auswurf 3 (PE)	52,4	19,8
Durchlauf 3	32,4	30,2
Überkorn	61,3	11,4
Ausbringungsraten		
Sortiermaschine 1	6,2	1,1
Sortiermaschine 2	3,6	16,7
Sortiermaschine 3	48,5	27,6

Anhang I enthält die Massenbilanzen für den gesamten hochkalorischen Gewerbeabfall sowie für Kunststoffe und den biogenen Anteil der Sortieranlage in Graz/Puchstraße.

In Anhang V sind die Ergebnisse des Sortierversuchs Hochkalorik in Form eines Flowcharts dargestellt.

4.3 Sortierergebnis Mittelkalorik

Im folgenden Kapitel werden die Ergebnisse des Sortierversuches mit dem Material der Mittelkalorik betrachtet. Die Sortierergebnisse der Fraktionen Auswurf 1 (PVC), Auswurf 2 (biogen), Auswurf 3 (PE), Durchlauf 3 (fossil), Feinfraktion und Überkorn werden wie bei der Hochkalorik analysiert und deren Zusammensetzung graphisch dargestellt.

Im Zuge der Großversuche wurden jeweils drei Proben der Fraktionen Auswurf 1 (PVC), Auswurf 2 (biogen), Auswurf 3 (PE), Durchlauf 3 (fossil), Feinfraktion und Überkorn entnommen. Die Proben wurden manuell in die einzelnen Sortierfraktionen aus Tabelle 2 sortiert. Für die Darstellung der Ergebnisse der manuellen Sortierung wurden jeweils die Massenmittelwerte der drei entnommenen Proben ermittelt.

4.3.1 Auswurf 1 (PVC)

Es wurden insgesamt 37,2 kg Probenmaterial des Auswurfs 1 (PVC) der Mittelkalorik manuell sortiert. Die Massen- und Prozentangaben der einzelnen Sortierfraktionen in Tabelle 13 repräsentieren jeweils die Massenmittelwerte der drei entnommenen Proben.

Tabelle 13: Sortierergebnis Auswurf 1 (PVC) MK

Auswurf 1 (PVC) Mittelkalorik		
	[kg]	[%]
Kunststoffe 2D hell	1,55	12,5
Kunststoffe 3D hell	4,32	34,9
Kunststoffe 2D dunkel	0,08	0,6
Kunststoffe 3D dunkel	0,16	1,3
Getränkeflaschen (PET)	0,05	0,4
PPK	1,59	12,8
Holz	0,58	4,7
Textilien	1,84	14,8
Metalle	0,05	0,4
Inertstoffe	0,01	0,1
Verbundstoffe	1,35	10,9
Problemstoffe/gefährliche Abfälle	0,00	0,0
Sonstige Organik	0,03	0,2
Sortierrest (Feinfraktion)	0,78	6,3
SUMME	12,39	100*

*Abweichungen zu 100 % aufgrund von Rundungsfehlern

Abbildung 54 zeigt eine graphische Darstellung des Sortierergebnisses. Auswurf 1 (PVC) der Mittelkalorik besteht fast zur Hälfte aus Kunststoffen, wobei den größten Teil die hellen Kunststoffe mit rund 47 % einnehmen. Die restlichen 2 % bestehen aus dunklen Kunststoffen und PET-Flaschen. Beinahe 40 % bestehen aus Papier, Pappe und Karton (PPK), Verbundstoffen und Textilien. Der Anteil an Holz beträgt etwa 5 %. Auswurf 1 (PVC) der Mittelkalorik enthält Spuren von Inertstoffen, Metallen und sonstiger Organik.

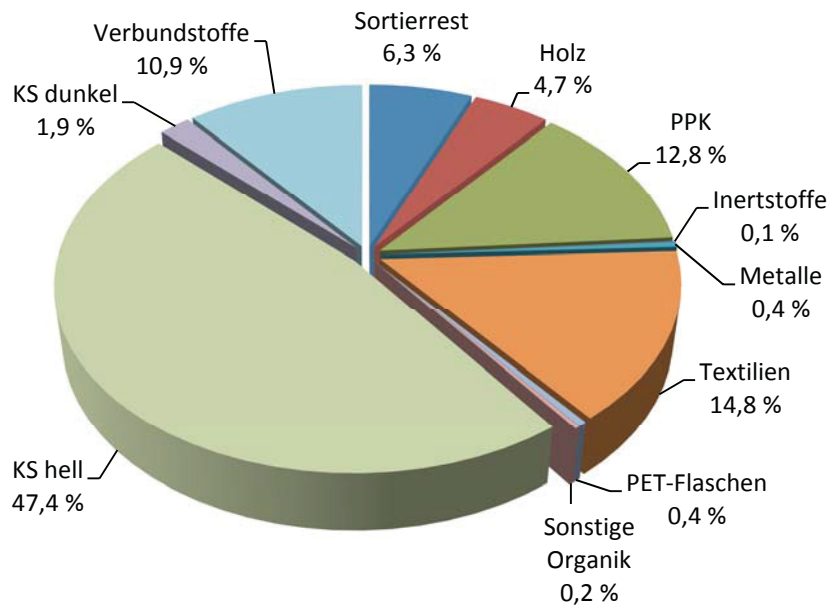


Abbildung 54: Graphische Darstellung des Sortierergebnisses Auswurf 1 (PVC) MK

4.3.2 Auswurf 2 (biogen)

Insgesamt wurden 43,6 kg Proben des Auswurfs 2 (biogen) der Mittelkalorik manuell sortiert. Tabelle 14 zeigt die Zusammensetzung dieser Fraktion.

Tabelle 14: Sortierergebnis Auswurf 2 (biogen) MK

Auswurf 2 (biogen) Mittelkalorik		
	[kg]	[%]
PPK	5,50	37,8
Holz	5,62	38,7
Kunststoffe 2D hell	0,81	5,6
Kunststoffe 3D hell	0,40	2,8
Kunststoffe 2D dunkel	0,07	0,5
Kunststoffe 3D dunkel	0,15	1,0
Getränkeflaschen (PET)	0,05	0,3
Textilien	0,87	6,0
Verbundstoffe	0,20	1,4
Inertstoffe	0,00	0,0
Metalle	0,05	0,3
Problemstoffe/gefährliche Abfälle	0,00	0,0
Sonstige Organik	0,00	0,0
Sortierrest (Feinfraktion)	0,82	5,6
SUMME	14,54	100

In Abbildung 55 wird das Sortierergebnis graphisch dargestellt. Der biogene Anteil besteht aus über zwei Drittel Papier, Pappe, Karton (PPK) und Holz. Kunststoffe sind mit knapp 10 %

im Auswurf 2 (biogen) der Mittelkalorik vertreten. Ein weiterer großer Anteil ist Textilien zuzuschreiben. Verbundstoffe und Metalle sind nur in geringen Mengen vorhanden.

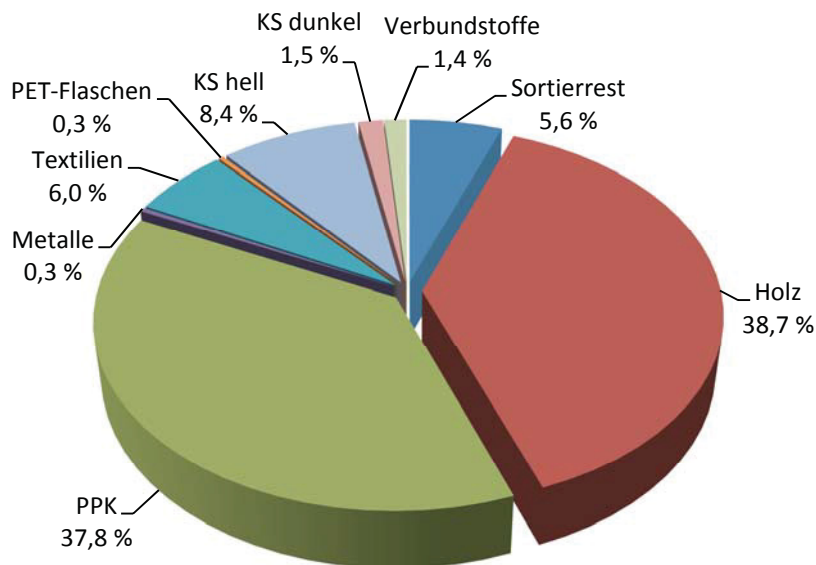


Abbildung 55: Graphische Darstellung des Sortierergebnisses Auswurf 2 (biogen) MK

4.3.3 Auswurf 3 (PE)

Es wurden insgesamt 32,9 kg Auswurf 3 (PE) der Mittelkalorik manuell sortiert. In Tabelle 15 wird das Ergebnis dieser Sortierung aufgelistet.

Tabelle 15: Sortierergebnis Auswurf 3 (PE) MK

Auswurf 3 (PE) Mittelkalorik		
	[kg]	[%]
Kunststoffe 2D hell	3,18	29,0
Kunststoffe 3D hell	1,20	11,0
Kunststoffe 2D dunkel	0,12	1,1
Kunststoffe 3D dunkel	0,24	2,2
Getränkeflaschen (PET)	0,07	0,6
PPK	2,84	25,9
Holz	0,46	4,2
Textilien	1,02	9,3
Metalle	0,05	0,5
Inertstoffe	0,14	1,3
Verbundstoffe	0,38	3,5
Problemstoffe/ gefährliche Abfälle	0,00	0,0
Sonstige Organik	0,02	0,2
Sortierrest (Feinfraktion)	1,23	11,2
SUMME	10,95	100

Die graphische Darstellung des Sortierergebnisses wird in Abbildung 56 gezeigt. Auswurf 3 (PE) besteht vorwiegend aus Kunststoffen, wobei etwa 40 % helle und 3 % dunkle Kunststoffe und weniger als 1 % PET-Flaschen enthalten sind. Der biogene Anteil wozu Papier, Pappe, Karton (PPK) und Holz zählen beträgt etwa 30 %. Etwa 9 % des Auswurfes 3 (PE) bestehen aus Textilien. Verbund- und Inertstoffe nehmen nur einen geringen Anteil von etwa 5 % ein. Ebenso sind Spuren von Metallen und sonstiger Organik enthalten.

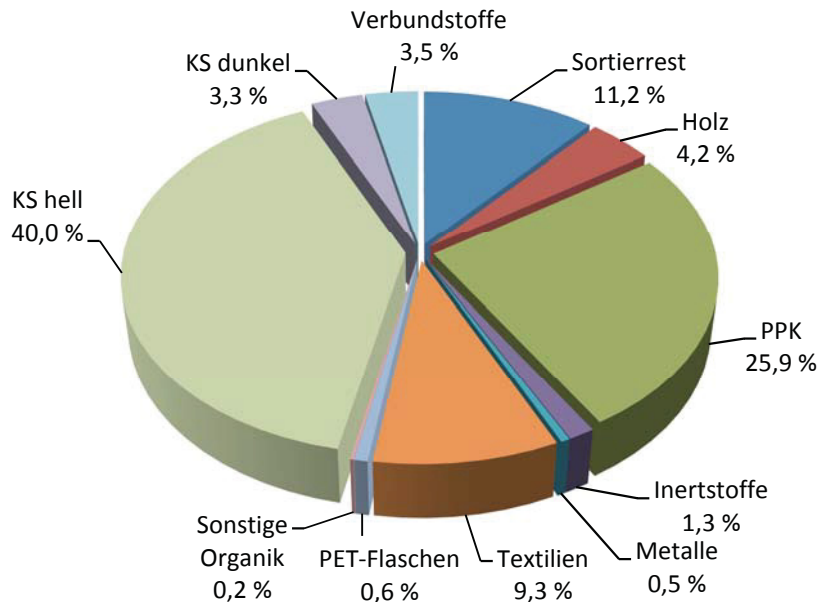


Abbildung 56: Graphische Darstellung des Sortierergebnisses Auswurf 3 (PE) MK

4.3.4 Durchlauf 3 (fossil)

Es wurden insgesamt 40,6 kg Durchlauf 3 (fossil) der Mittelkalorik manuell sortiert. Tabelle 16 zeigt die Zusammensetzung als Ergebnis der manuellen Sortierung.

Tabelle 16: Sortierergebnis Durchlauf 3 (fossil) MK

Durchlauf 3 (fossil) Mittelkalorik		
	[kg]	[%]
Kunststoffe 2D hell	0,91	6,7
Kunststoffe 3D hell	1,48	10,9
Kunststoffe 2D dunkel	0,13	0,9
Kunststoffe 3D dunkel	0,93	6,9
Getränkeflaschen (PET)	0,19	1,4
PPK	3,66	27,0
Holz	2,05	15,1
Textilien	1,25	9,2
Metalle	0,13	0,9
Verbundstoffe	1,22	9,0
Inertstoffe	0,16	1,2
Sonstige Organik	0,00	0,0

Problemstoffe/gefährliche Abfälle	0,00	0,0
Sortierrest (Feinfraktion)	1,45	10,7
SUMME	13,56	100*

*Abweichungen zu 100 % aufgrund von Rundungsfehlern

Abbildung 57 schlüsselt die Ergebnisse der Sortieranalyse graphisch auf. Durchlauf 3 (fossil) besteht zum Großteil aus biogenem Anteil, wobei Papier, Pappe und Karton (PPK) 27 % und Holz etwa 15 % ausmachen. Helle und dunkle Kunststoffe und PET-Flaschen sind zu etwa einem Viertel enthalten. Die Fraktion besteht zu etwa jeweils 9 % aus Textilien und Verbundstoffen. Die restlichen Anteile beinhalten Metalle und Inertstoffe.

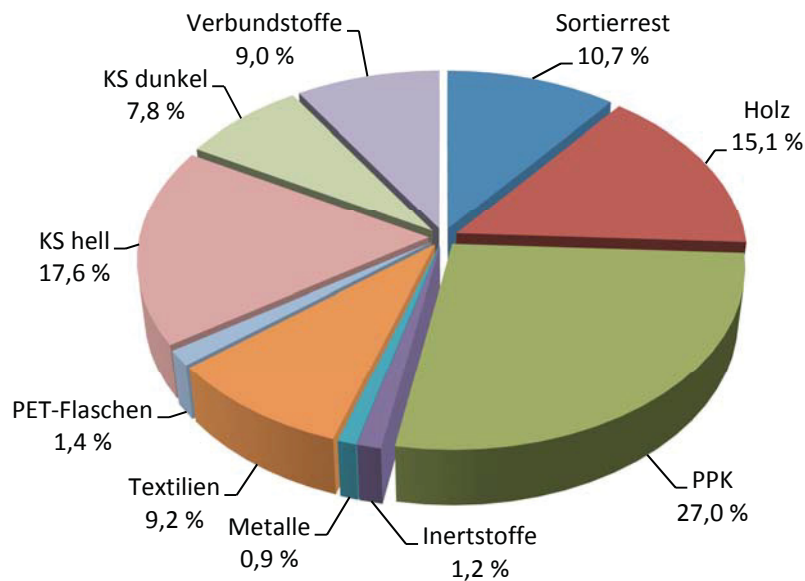


Abbildung 57: Graphische Darstellung des Sortierergebnisses Durchlauf 3 (fossil) MK

4.3.5 Feinfraktion (<45 mm)

Die Feinfraktion der Mittelkalorik wurde nicht manuell sortiert. Es wurde eine Probemenge von 21,6 kg für spätere Laboruntersuchungen zur chemisch-physikalischen Charakterisierung entnommen.

4.3.6 Überkorn (>230 mm)

Insgesamt wurden 0,8 kg Überkorn der Mittelkalorik manuell sortiert. Die Ergebnisse der Sortieranalyse zeigt Tabelle 17.

Tabelle 17: Sortierergebnis Überkorn MK

Überkorn (>230 mm) Mittelkalorik		
	[kg]	[%]
Kunststoffe 2D hell	0,20	76,9
Kunststoffe 3D hell	0,03	11,5
Kunststoffe 2D dunkel	<0,01	2,0

Kunststoffe 3D dunkel	0,02	7,7
Getränkeflaschen (PET)	0,00	0,0
PPK	<0,01	1,4
Holz	0,00	0,0
Textilien	0,00	0,0
Metalle	0,00	0,0
Verbundstoffe	0,00	0,0
Inertstoffe	0,00	0,0
Sonstige Organik	0,00	0,0
Problemstoffe/gefährliche Abfälle	0,00	0,0
Sortierrest (Feinfraktion)	0,00	0,0
SUMME	0,26	100*

*Abweichungen zu 100 % aufgrund von Rundungsfehlern

Die folgende Abbildung 58 zeigt die Zusammensetzung des Überkorns der Mittelkalorik. Dabei nehmen die hellen Kunststoffe den Großteil mit rund 88 % ein. Die Fraktion enthält etwa 10 % dunkle Kunststoffe und einen geringen Anteil an Papier, Pappe und Karton.

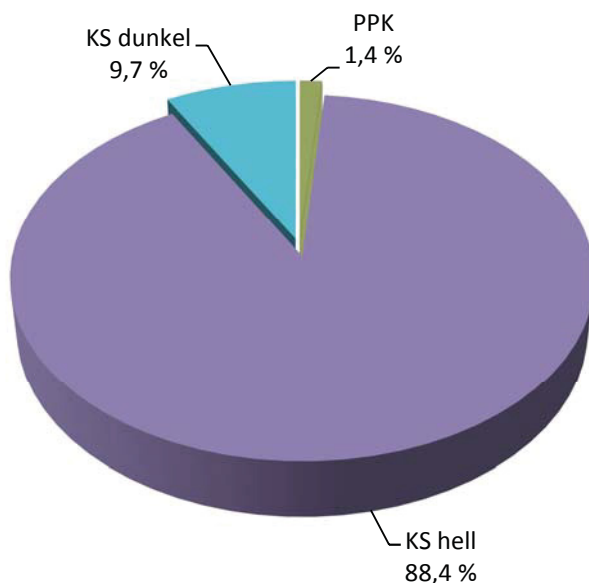


Abbildung 58: Graphische Darstellung des Sortierergebnisses Überkorn MK

4.4 Interpretation des Sortierergebnisses Mittelkalorik

Die Fraktionen Auswurf 1 (PVC), Auswurf 2 (biogen) und Auswurf 3 (PE) der Mittelkalorik verhalten sich in Bezug auf ihre Zusammensetzung ähnlich wie die Auswürfe der Hochkalorik.

Auswurf 1 (PVC) enthält rund 50 % Kunststoffe, wobei der genaue Anteil an PVC in der Fraktion nicht genauer untersucht wurde. Die Laboranalytik ergab einen Cl-Gehalt von $15,3 \pm 1,8$ % in Auswurf 1 (PVC). 30 % der Cl-Fracht werden mit ca. 3 % der Masse ausgeschleust. [23] Mehr als die Hälfte von Auswurf 1 (PVC) setzt sich aus Störstoffen, wie PPK, Textilien und Verbundstoffen zusammen. Die Möglichkeit einer stofflichen Verwertung

ist somit ausgeschlossen, da diese nur einen sehr niedrigen Störstoffgehalt zulässt. (Bsp. PET-Sortierung: Störstoffgehalt <2 %)

Die Sortieranalyse von Auswurf 3 (PE) liefert ähnliche Ergebnisse. Ebenso ist der Anteil an Kunststoffen in Auswurf 3 (PE) zu gering um eine Wiederverwertung technisch und ökonomisch sinnvoll zu betreiben. Die Fraktion besteht aus nur knapp 43 % helle und dunkle Kunststoffe mit einer Ausbringungsrate von 28,9 %. Störstoffe nehmen einen Anteil von 57 % ein.

Auswurf 2 (biogen) liefert sehr gute Werte im Hinblick auf eine stoffliche Verwertung von Papierabfällen. Mehr als Dreiviertel des Auswurfes bestehen aus Papier, Pappe, Karton (PPK) und Holzabfällen. Die Sortenreinheit des biogenen Anteils der Mittelkalorik beträgt 76,5 % mit einer Ausbringungsrate von rund 16 %. Somit ist die Reinheit des biogenen Auswurfes der Mittelkalorik in Hinsicht auf eine Verwertung als Altpapier wesentlich höher als die der Hochkalorik. Die Ausbringungsrate der Mittelkalorik liegt jedoch ein wenig unter jener der Hochkalorik. Der Fremdstoffanteil beträgt rund 25 %. Wie bei Auswurf 2 (biogen) der Hochkalorik wäre eine weitere Untersuchung der Fraktion in der Sortierversuchsanlage in Bezug auf die zu erreichende Sortenreinheit von Vorteil um eine stoffliche Verwertung abschätzen zu können. Bei einer Steigerung der Sortenreinheit wäre eine stoffliche Verwertung in Form von Mischpapier durchaus möglich.

Um Unterschiede in den Sortenreinheiten der Kunststoffe und des biogenen Anteils sowie die Ausbringungsraten der drei Sortiermaschinen im Versuch der Mittelkalorik deutlich zu machen, ist Tabelle 18 angeführt.

Tabelle 18: Vergleich der Sortenreinheiten und Ausbringungsraten MK

MITTELKALORIK		
Sortenreinheiten	Kunststoffe	biogener Anteil
	[%]	[%]
Auswurf 1 (PVC)	49,3	17,5
Auswurf 2 (biogen)	9,9	76,5
Auswurf 3 (PE)	43,3	30,1
Durchlauf 3	25,4	42,1
Überkorn	98,1	1,4
Ausbringungsraten		
Sortiermaschine 1	7,8	1,9
Sortiermaschine 2	3,2	15,7
Sortiermaschine 3	28,9	14,5

Anhang II enthält die aus dem Versuch abgeleiteten Massenbilanzen für den gesamten mittelkalorischen Gewerbeabfall sowie speziell für Kunststoffe und den biogenen Anteil der Sortieranlage in Graz/Puchstraße.

In Anhang VI sind die Ergebnisse des Sortierversuchs Mittelkalorik in Form eines Flowcharts dargestellt.

5 Marktstudie

In diesem Kapitel wird auf die Entwicklung des Sekundärrohstoffmarktes eingegangen. Dabei wird der Markt des Altpapiers und der Altkunststoffe genauer beleuchtet. Es erfolgt eine Analyse des Sekundärrohstoffmarktes mit Bezugnahme auf den österreichischen Kunststoff- und Altpapiermarkt. Das Ziel besteht darin die derzeit erreichbaren Erlöse für die beiden Fraktionen abschätzen zu können.

5.1 Entwicklung des Sekundärrohstoffmarktes

Angesichts der steigenden Rohstoffpreise wird der Einsatz von Sekundärrohstoffen zunehmend interessanter. Aufgrund des Wirtschaftswachstums in China und anderen Schwellenländern stiegen die Nachfrage nach Rohstoffen und somit auch die Preise. Im Zeitraum von 2000 bis 2005 sind die Weltmarktrohstoffpreise für die im EU-Raum importierten Rohstoffe um etwa 81 % gestiegen. Vor allem der Marktpreis für Energierohstoffe hat sich in diesen Jahren nahezu verdoppelt. [26, S. 1]

Eine gesetzliche Definition für den Begriff Sekundärrohstoff wird weder in der Abfallrahmenrichtlinie 2006/12/EG noch in der REACH-Verordnung (EG) Nr. 1907/2006 festgelegt. Allgemein versteht man darunter Rohstoffe, die mittels stofflicher Verwertung aus Abfällen aus Industrie, Gewerbe und Haushalten gewonnenen werden, als Ausgangsstoffe für neue Produkte dienen und somit Primärrohstoffe ersetzen. [27, S. 20]

Sekundärrohstoffe können neben dem thermischen Einsatz in Form von qualitätsgesicherten Ersatzbrennstoffen in industriellen Feuerungsanlagen zur Substitution von fossilen Brennstoffen eingesetzt werden, aber auch in die Schiene der stofflichen Verwertung gehen. Altglas und Altpapier sind klassische Beispiele für eine Wiederverwertung von Rohstoffen. Im Gegenzug zur stofflichen Wiederverwertung, welches eine gleichwertige Rückführung der eingesetzten Materialien anstrebt, werden bei einer stofflichen Weiterverwertung die als Rohstoff nutzbaren Elemente aus den Abfällen und Reststoffen extrahiert um wieder in die Produktion rückgeführt zu werden. Durch diese Kreislaufführung wird ein Großteil der enthaltenen Wertstoffe zurückgewonnen und für die Produktion von z.B. Papier und Glas verwendet. Vorteile der stofflichen Verwertung sind die Einsparung von Rohstoffen verbunden mit einer weitgehenden Unabhängigkeit von Primärrohstoffpreisen und weiters die Kreislaufückführung von Wertstoffen sowie die Vermeidung von entstehendem Deponievolumen. [26, S. 1 u. 4]

In vielen Industriesparten, vor allem in der Papierindustrie hat der Einsatz von Alt- und Reststoffen als Sekundärrohstoff lange Tradition. Doch nicht nur der Produktionssektor, auch die Entsorgungsunternehmen sehen in der Nutzung von Sekundärrohstoffen ein wachsendes Geschäftsfeld. Die tendenziell steigenden Rohstoffpreise verbessern die Rentabilität bei der Erzeugung von Sekundärrohstoffen aus Abfällen. Somit können Entsorgungsunternehmen als Rohstoffanbieter auftreten und finden international Abnehmer. Aufgrund der steigenden Nachfrage nach Primärrohstoffen und die damit verbundenen Kosten können Sekundärrohstoffe einen wichtigen Beitrag zur Rohstoffversorgung leisten. [26, S. 5f.]

Nicht nur z.T. hohe Marktpreise der Primärrohstoffe, sondern auch gesetzliche Regelungen drängen Hersteller, Importeure und Vertrieber vermehrt zu einer stofflichen Verwertung von Abfällen. Seit Inkrafttreten der Verpackungsverordnung (BGBl. Nr. 648/1996 idF BGBl. II Nr. 364/2006) im Jahr 1996 sind

„Hersteller, Importeure, Abpacker und Vertrieber – soweit dies nicht unverhältnismäßig ist (§ 1 Abs. 2 AWG 2002) – verpflichtet, im Falle der Verwertung gemäß § 3 Abs. 1 die zurückgenommenen und die im Betrieb des Unternehmens angefallenen Verpackungen je Packstoff nachweislich insgesamt zu zumindest folgenden Massenanteilen bezogen auf die Summe von Transport- und Verkaufsverpackungen (nach Aussortierung von Fremdstoffen, Stoffen und Verpackungen, die nicht dieser Verordnung unterliegen) in eine Anlage zur stofflichen Verwertung nach dem Stand der Technik einzubringen.“ [28]

Tabelle 19 zeigt die in der Verpackungsverordnung festgelegten Massenanteile an Packstoffen, die einer stofflichen Verwertung nach dem Stand der Technik zugeführt werden müssen.

Tabelle 19: Stoffliche Verwertungsquoten laut Verpackungsverordnung (BGBl. Nr. 648/1996 idF BGBl. II Nr. 364/2006) [28]

Papier, Karton, Pappe und Wellpappe	90 %
Glas	93 %
Keramik	95 %
Metalle	95 %
Kunststoffe	40 %
Getränkeverbundkarton	40 %
Sonstige Materialverbunde	15 %
Holz	15 %

Mit der Verpackungsverordnung (Novelle 2006) müssen die in Tabelle 19 gezeigten Verwertungsquoten für Packstoffe erreicht werden. Verpackungen aus Kunststoffen sind zu 40 % und Verpackungen aus Papier, Karton, Pappe und Wellpappe zu mindestens 90 % stofflich zu verwerten. Diese Verordnung bildete die Grundlage für die Entwicklung einer Kreislaufwirtschaft im Bereich von Verpackungsmaterialien. [28]

Im Sinne einer stofflichen Verwertung steht auch die Gewinnung von Wertstoffen aus Abfällen. Durch die automatische Sortierung können höhere Wertstoff-Ausbringungsraten als bei der noch weit verbreiteten manuellen Sortierung erreicht werden. Ziel ist es, durch höhere Reinheiten höhere Erlöse für die aussortierten Wertstoffe zu erhalten. Gelangen Materialien wie z.B. Kunststoffe, Papier und Metalle in die Ersatzbrennstoffproduktion, gehen sie somit als Wertstoffe verloren. Zusätzlich sind Zuzahlungen beim Einsatz dieser Stoffe im Zuge einer thermischen Verwertung zu leisten. Schafft man es diese Wertstoffe in akzeptabler Qualität für eine stoffliche Verwertung zu gewinnen kann in Zukunft mit positiven Marktpreisen gerechnet werden. So können z.B. sortenreine Kunststoffe gegenwärtig Erlöse von einigen hundert Euro pro Tonne erzielen. [9, S. 23]

5.2 Altstoffmarkt

Im folgenden Unterkapitel werden aufgrund der Ergebnisse der Großversuche gezielt die Märkte für Altpapier und Altkunststoffe betrachtet. Ebenso wird die Entwicklung der Erlöse für beide Altstoffe abgebildet.

5.2.1 Altpapiermarkt

Sekundärfasern sind ein wichtiger Rohstoff für die Produktion von Papier. Die Papierindustrie setzt immer mehr auf den Einsatz von Altpapier. Somit können primäre Rohstoffe eingespart und Abfallstoffe verwertet werden. Dies bedeutet eine Kreislaufführung von Rohstoffen, die aufgrund gut funktionierender Sammelsysteme (vor allem in Österreich) einen hohen ökologischen und ökonomischen Nutzen zum Ziel hat.

5.2.1.1 Analyse des Altpapiermarktes

In der Papierindustrie werden heute im Durchschnitt 50 % Sekundärrohstoffe in Form von Altpapier und Pappe für die Produktion von Papier eingesetzt. Weltweit ist Papier das am häufigsten recycelte Material. Europa ist mit einer Papier-Recyclingrate von 72,2 % weltweit führend. [24, S. 3] 2008 lag in Österreich die Rücklaufquote von Altpapier bei 65,4 %. [29, S. 5] Jährlich werden in Österreich rund 1,5 Mio. t Papier gesammelt und verwertet. [9, S. 22]

Tabelle 20 zeigt die Entwicklung des Einsatzes und des Absatzes von Papier in Österreich und im Ausland seit 1990. Ebenso sind die Rücklauf-, Einsatz- und Recyclingquoten abgebildet.

Tabelle 20: Entwicklung der Mengen und Quoten von Altpapier in Österreich seit 1990 [29, S. 5], [30, S. 54]

ALTPAPIER	2009	2008	2007	2006	2000	1990
Einsatz	2.290.080*	2.330.281	2.394.090	2.384.134	1.942.884	1.142.780
Import	1.168.993*	1.287.079	1.334.720	1.201.504	837.792	589.701
Inlandsbezug	1.121.897*	1.043.202	1.059.370	1.182.630	1.105.092	553.079
Export	429.890*	357.116	454.180	301.170	164.375	111.720
Inlandsaufkommen	1.551.787*	1.400.318	1.513.550	1.483.800	1.269.467	664.799
Rücklaufquote	80,8 %*	65,4 %	69,3 %	69,6 %	64,1 %	51,8 %
Einsatzquote	49,7 %*	45,2 %	46,1 %	45,7 %	44,3 %	39,0 %
Recyclingquote	80,8 %	108,8 %	109,6 %	111,9 %	98,1 %	89,1 %

*Statistik bis Sommer 2009. Daten wurden auf das Jahr hochgerechnet.

Die Begriffe Rücklauf-, Einsatz- und Recyclingquote aus Tabelle 20 werden im Folgenden definiert und anhand von Beispielen für das Jahr 2008 erklärt. Die Berechnungen basieren auf dem Jahr 2008 mit einem Neupapierverbrauch von 2.140.843 t (2009: 1.920.533 t) und einer Neupapierproduktion von 5.152.635 t in Österreich. [30, S. 52]

Die Altpapierrücklaufquote ist definiert als das Inlandsaufkommen in Prozent des Papier-, Karton- und Pappeverbrauchs. [30, S. 54]

$$\text{Altpapierrücklaufquote} = \frac{\text{Inlandsaufkommen}}{\text{Neupapierverbrauch}} = \frac{1.400.318 \text{ t}}{2.140.843 \text{ t}} \times 100 = 65,4 \%$$

Die Altpapiereinsatzquote beschreibt den Altpapierverbrauch (= Altpapiereinsatz) in Prozent der österreichischen Papier-, Karton- und Pappeproduktion. [30, S. 54]

$$\text{Altpapiereinsatzquote} = \frac{\text{Altpapiereinsatz}}{\text{Neupapierproduktion}} = \frac{2.330.281 \text{ t}}{5.152.635 \text{ t}} \times 100 = 45,2 \%$$

Die Altpapierrecyclingquote ist ursprünglich als das prozentuelle Verhältnis des Altpapierverbrauchs zum Neupapierverbrauch definiert. [30, S. 54] Im Jahr 2009 wurde die Altpapierrecyclingquote europaweit neu definiert und berücksichtigt nun auch den Altpapier-Nettohandel (= Einsatz+Export-Import). [30, S. 21]

alte Definition (bis 2008):

$$\text{Altpapierrecyclingquote (alt)} = \frac{\text{Altpapiereinsatz}}{\text{Neupapierverbrauch}} = \frac{2.330.281 \text{ t}}{2.140.843 \text{ t}} \times 100 = 108,8 \%$$

neue Definition (seit 2009):

$$\begin{aligned} \text{Altpapierrecyclingquote (neu)} &= \frac{\text{Altpapier-Nettohandel}}{\text{Neupapierverbrauch}} = \frac{\text{Altpapiereinsatz} + \text{Export} - \text{Import}}{\text{Neupapierverbrauch}} \\ &= \frac{1.550.977 \text{ t}}{1.920.533 \text{ t}} \times 100 = 80,7 \% \end{aligned}$$

Die Altpapierrecyclingquote und Altpapierrücklaufquote sind seit 2009 ident. Der errechnete Wert der Recyclingquote nach neuer Definition weicht jedoch leicht von der Rücklaufquote ab, da die Daten für das Jahr 2009 hochgerechnet wurden.

Abbildung 59 veranschaulicht die Entwicklungen der Rücklauf-, Einsatz- und Recyclingquoten von Altpapier in Österreich seit 1990.

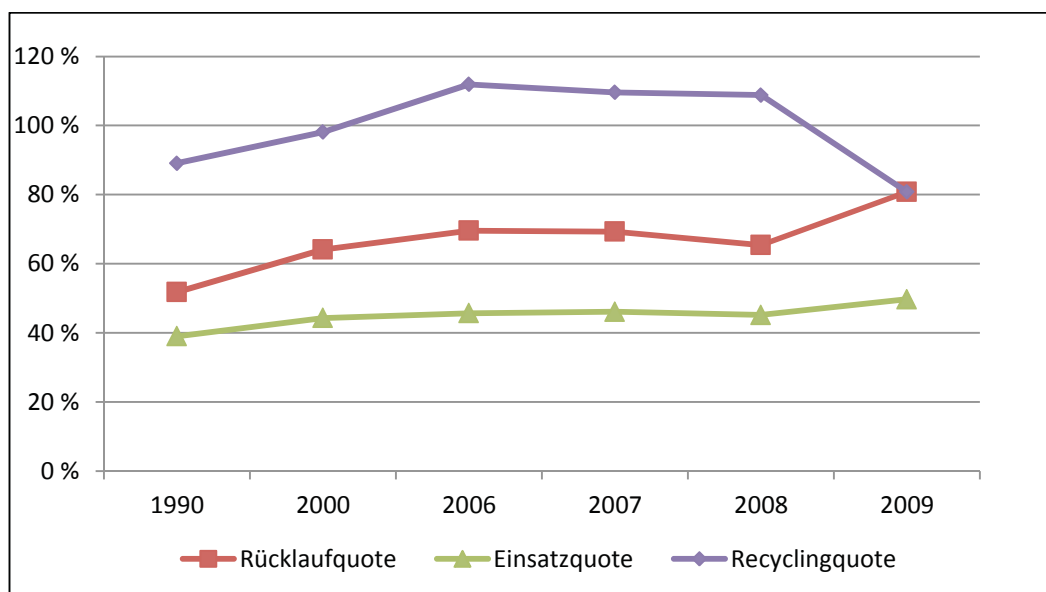


Abbildung 59: Entwicklung der Altpapierquoten in Österreich seit 1990 [29, S. 5], [30, S. 54]

Der Einsatz von Altpapier in der Papierindustrie hat sich in den letzten 10 Jahren fast verdoppelt. 2009 wurden etwa 2,3 Mio. t Altpapier in Österreich eingesetzt und 1,93 Mio. t an Neupapier produziert. Somit wurde mehr Altpapier wiederverwertet als neues Papier verbraucht wurde. Das erklärt auch die große Menge an importiertem Altpapier. Mehr als die Hälfte des Bedarfs der Papierfabriken wurde importiert. Das eingeführte Altpapier stammt hauptsächlich aus Nachbarländern wie Deutschland und Italien. Der österreichische Altpapierexport ist vergleichsweise gering und beläuft sich auf etwa 300.000 t pro Jahr. Trotz der Wirtschaftskrise 2008/09 konnte eine etwa gleichbleibende Einsatzmenge in den darauffolgenden Jahren verzeichnet werden. Dies lässt sich auf den vermehrten Einsatz von Altpapier zur Herstellung von Hygienepapier und Faltschachtelkarton zurückführen. Ein weiterer Grund ist die vermehrte Substitution von Rohstoffen. 2009 wurden fast 50 % Altpapier zur Herstellung von Papier eingesetzt. Das ist eine Steigerung von mehr als 10 % in den letzten 10 Jahren. Die Recyclingquote von Altpapier betrug in Österreich im Jahr 2008 108,8 %. Somit wurden rund 9 % mehr Altpapier wiederverwertet als neues Papier produziert. Österreich lag mit dieser Recyclingquote für Altpapier an europäischer Spitze. Heute berücksichtigt die Definition der Recyclingquote auf europäischer Ebene auch den Altpapier-Nettohandel (Export minus Import). Daraus folgt, dass die Kennzahl Recyclingquote und Rücklaufquote jetzt ident sind. Die Recyclingquote für das Jahr 2009 beträgt somit nach neuer Definition 80,8 %. [30, S. 21]

Die Rücklaufquote beschreibt die in Österreich anfallenden Altpapiermengen im Verhältnis zum Neupapierverbrauch. 2007 kamen in Österreich 69,3 % des Papier-, Karton- und Pappeverbrauchs als Altpapier auf. In diesem Jahr führte Norwegen die europäische Spitze mit 80,8 % Rücklaufquote nach der Schweiz und Deutschland an, siehe Abbildung 60. Österreich konnte bereits nach zwei Jahren den norwegischen Spitzenwert von 80,8 % erreichen. [29, S. 5], [30, S. 21 u. S. 54], [31, S. 31]

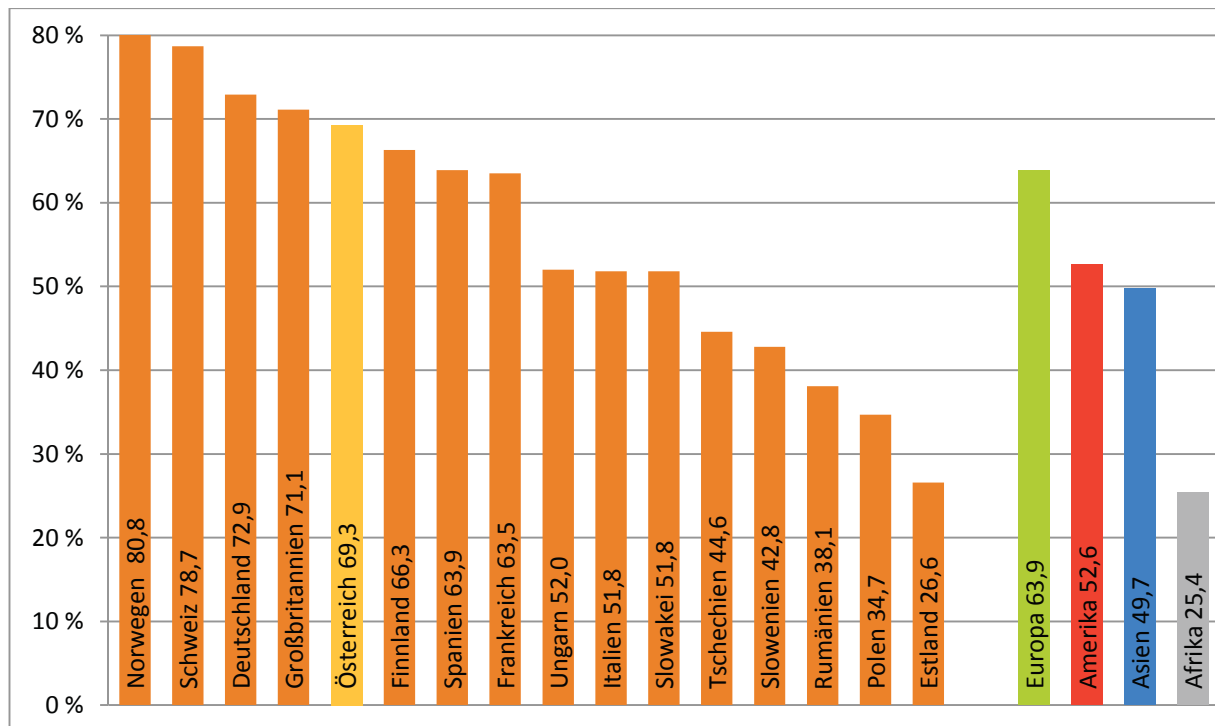


Abbildung 60: Altpapier-Rücklaufquote europäischer Länder 2007 [31, S. 31]

Tabelle 21 zeigt den Einsatz von Altpapier in den verschiedenen Papiersorten wie Druckpapier, Hygienepapier, Pappe und Verpackungspapier. Hygienepapier wird fast ausschließlich aus Sekundärfasern hergestellt. 95 % der eingesetzten Rohstoffe sind Altpapier. Zeitungspapier besteht zu etwa 93 % aus stofflich verwertetem Altpapier. Eine hohe Einsatzquote zeigt auch die Produktion von Faltschachtelkarton und Pappe. Hier werden etwa 88 % der eingesetzten Rohstoffe durch Altpapier ersetzt.

Tabelle 21: Einsatz von Altpapier in den Papiersortengruppen [30, S. 54]

ALTPAPIER	2007	2008	2009
	[%]	[%]	[%]
Zeitungsdruckpapiere	87,0	88,1	92,7
Druck- und Schreibpapiere	15,4	16,2	22,2
Hygienepapiere	95,0	95,2	95,0
Verpackungspapiere	66,4	66,7	65,9
Faltschachtelkarton und Pappe	88,6	85,4	87,7
Durchschnitt	46,1	45,2	49,7

Die CEPI (Confederation of european paper industries) erstellt eine sogenannte Sortenliste, in der europäische Standardsorten für Altpapier festgelegt sind. Sie soll als Hilfestellung beim Einkauf und Verkauf von Altpapieren für Industrie, Organisationen und andere Gruppen dienen. Tabelle 22 zeigt einen Auszug der Altpapiersortenlisten gemäß CEN EN 643 und die Unterteilung der verschiedenen Sorten auf die Klassen I-IV laut CEPI-Definition. [32]

Tabelle 22: Auszug aus der CEPI-Sortenliste für Altpapier [32]

Klasse I: Gemischte Sorten	
1.01	Papier und Pappen gemischt, unsortiert, Fremdstoffe entfernt
1.02	Papier und Pappen gemischt (sortiert), mind. 40 % Zeitungen und Illustrierte
1.03	Graukarton, bedruckt oder unbedruckt, ohne Wellpappen
5.01	Papier und Pappen gemischt, unsortiert, an der Quelle getrennt
5.02	Verpackungen aus Papier und Pappen, ohne Zeitungen und Illustrierte
5.03	Getränkeverpackungen, PE-beschichtet, mit oder ohne Alu-Schicht, mind. 50 % Faseranteil
5.05	Nassreißfeste Etiketten, max. 1 % Glasanteil, max. 50 % Feuchtigkeitsgehalt, ohne Fremdstoffe
Klasse II: Wellpappen und Kraftpapiere	
1.04	Kaufhausabfälle aus Wellpappen und Karton, mind. 70 % Wellpappen, Rest Festkarton oder Verpackungspapiere
1.05	Gebrauchte Wellkartonschachteln, verschiedene Qualitäten
4.01	Schnitzel aus ungebrauchter Wellpappe, mit Schichten aus Kraft- oder Testliner
4.02	Gebrauchte Wellpappen Kraft I, nur mit Kraftliner, Wellenstoff auf Zellstoff oder Thermochemical Pulp
4.03	Gebrauchte Wellpappen Kraft II, Schichten aus Test- oder Kraftliner, mind. eine Schicht aus Kraftliner
4.04	Gebrauchte Säcke aus Kraftzellstoff, nassreißfest oder nicht nassreißfest
4.05	Ungebrauchte Säcke aus Kraftzellstoff, nassreißfest oder nicht nassreißfest
4.06	Gebrauchte Pappen und Papiere aus Kraftzellstoff, Naturfarbe oder weiß
4.07	Schnitzel aus ungebrauchten Pappen und Papieren aus Kraftzellstoff, ungefärbt
4.08	Neue Tragtaschen aus Kraftzellstoff, kann nassreißfestes Papiere enthalten
5.04	Hüllen aus Kraftpapier, mehrfach überzogen, beschichtet, gebraucht. Darf kein Bitumen oder Wachssiegelung enthalten.
Klasse III: Zeitungen und Illustrierte	
1.06	Unverkaufte Illustrierte, mit oder ohne Klebrücken
1.07	Telefonbücher, in Schnitzel oder ganz, mit oder ohne in der Masse gefärbten Seiten, mit oder ohne Klebebrücken
1.08	Zeitungen und Illustrierte gemischt I, mind. 50 % Zeitungen, mit oder ohne Klebrücken
1.09	Zeitungen und Illustrierte gemischt II, mind. 60 % Zeitungen, mit oder ohne Klebrücken
1.10	Illustrierte und Zeitungen gemischt, mind. 60 % Illustrierte, mit oder ohne Klebrücken
1.11	Sortierte Papier für Deinking aus Privathaushalten, mind. je 40 % Zeitungen und 40 % Illustrierte, max. 1.5 % nicht deinkbare Papier und Pappen
2.01	Zeitungen, max. 5 % in der Masse gefärbte Papiere
2.02	Unverkaufte Zeitungen, ohne Einlagen oder in der Masse gefärbte Werbebeilagen

Klasse IV: Höhere Sorten	
2.03	Weißer Schnitzel, leicht bedruckt, hauptsächlich aus Holzstoff
2.04	Weißer Schnitzel, stark bedruckt, hauptsächlich aus Holzstoff
2.05	Büropapiere, sortiert
2.06	Farbige Schreibpapiere, bedruckt oder unbedruckt, ohne Karbonpapiere und Kartonrücken
2.07	Bücher, weiß, aus Zellstoff, ohne Buchrücken, max. 10 % gestrichene Papiere
2.08	Farbige Magazine, aus Zellstoff, gestrichene oder ungestrichene Papiere, ohne Hartrücken, Bindungen, nichtlösliche Druckfarben, Kleber, Etiketten, max. 10 % Papier aus Holzstoff
2.09	Kohlefreies Kopierpapier
2.10	PE-beschichteter Karton, gebleicht, aus Zellstoff, von Herstellern oder Verarbeitern
2.11	Andere PE-beschichtete Pappen, kann ungebleichte Pappen und Papiere von Herstellern oder Verarbeitern enthalten
2.12	EDV-Endlospapiere, hauptsächlich aus Holzstoffen, mit oder ohne recycelte Fasern

Wie bereits in Kapitel 4.2.2 beschrieben, soll die abgetrennte PPK-Fraktion aus der NIR-Sortierung von Gewerbeabfall einer stofflichen Verwertung in Form von Mischpapier zugeführt werden. Mischpapier bezeichnet die Altpapiersorte B12 bzw. 1.02 (neue Nomenklatur). Laut CEPI-Sortenliste ist Mischpapier eine Mischung verschiedener Papier- und Pappenqualitäten die max. 40 % Zeitungen und Illustrierte enthält. Dabei dürfen nur 1,5-3 % Störstoffe, wie z.B. Textilien, Kunststoffe, Inertstoffe etc. im Mischpapier enthalten sein. Die jahrelange Entwicklung des Papiermarktes führte zu einer zusätzlichen, nicht von CEPI festgelegten, Anforderung an die Qualität von Mischpapier. So wird von den Marktteilnehmern ein max. Gehalt von 25 % Kartonagen im Mischpapier gefordert. [24], [25]

5.2.1.2 Erlöse für Altpapier

Die Erlöse für gemischtes Altpapier (in Form von Ballen) am europäischen Markt liegen derzeit zwischen 85 und 90 €/t. [33] Das war nicht immer so. Die Wirtschaftskrise im Jahr 2008/09 war auch bei den Altstoffen deutlich spürbar. Ende 2008 wurde ein drastischer Preisverfall verzeichnet. Im darauffolgenden Jahr stagnierte der Erlös für Altpapier auf einem sehr niedrigen Niveau. Für z.B. Mischpapier konnten keine bis sehr geringe Erlöse von etwa 5 €/t erzielt werden. Ende 2009 wurde ein langsamer Aufschwung spürbar. Aufgrund der weltweit besseren Auftragslage der Industrie erholte sich auch die Altpapierbranche. Somit erreichte die Vergütung für Altpapier inzwischen wieder das Vorkrisenniveau vom Herbst 2008.

Der Altpapierpreis wird europaweit einheitlich nach dem Wiesbadener Index berechnet. Dieser Index misst die Entwicklung der Preise für die von Großhändlern in Deutschland abgesetzten Waren. Die Preise werden monatlich von repräsentativ ausgewählten Großhandelsunternehmen erhoben und in Form von Messzahlen auf der Grundlage des

Preisstandes im Basisjahr (= 100) dargestellt. Der Index erscheint monatlich immer am 14. bzw. 15. für den vorherigen Monat. [34, S. 3]

Zur Berechnung des Preisindex (I) für gemischtes Altpapier (Altpapiersorte B12/1.02) werden die im Inlandsabsatz erzielten Verkaufspreise von 20 Großhandelsunternehmen in Deutschland erhoben. Die Indexberechnung erfolgt nach folgender Formel [34, S. 5]:

$$I = \frac{\sum_{i=1}^n \frac{p_{ti}}{p_{0i}}}{n}$$

p_{ti} Preis der Firma i im Berichtsmonat t (= Berichtspreis)

p_{0i} Preis der Firma im Basisjahr 0 (= Basispreis)

n Anzahl der Meldungen

Die Gegenüberstellung von Berichtspreis und Basispreis ergibt die Einzelmesszahl. Das arithmetische Mittel der Einzelmesszahlen ergibt die Durchschnittsmesszahl, die gleich dem Preisindex für gemischtes Altpapier ist. Das derzeitige Basisjahr ist das Jahr 2005. [34, S. 5]

Tabelle 23 zeigt die Entwicklung des Wiesbadener Index für gemischtes Altpapier der letzten fünf Jahre auf Basis des Jahres 2005.

Tabelle 23: Wiesbadener Index für gemischtes Altpapier seit 2005 [34, S. 6], [35]

Jahr	Jan	Feb	Mrz	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez
2005	86,3	97,8	116,6	118,9	114,8	98,8	92,3	93,8	94,3	96,6	96,5	92,9
2006	91,0	90,1	90,6	113,1	114,6	115,6	115,8	115,7	115,7	116,4	117,1	117,3
2007	118,9	132,8	152,5	154,6	155,5	160,2	177,5	182,2	186,4	188,5	175,1	155,8
2008	155,6	174,6	175,2	164,9	144,8	130,0	130,5	130,9	130,9	119,2	41,3	17,9
2009	20,5	23,0	23,3	33,1	49,4	53,3	58,5	98,5	102,8	104,4	105,3	105,2
2010	136,4	154,1	217,6	216,9	211,2	193,6	197,9	200,7	201,1	201,8	200,8	202,4
2011	236,6											

In Abbildung 61 ist die Entwicklung des Wiesbadener Index für gemischtes Altpapier der letzten 10 Jahre graphisch dargestellt. [34, S. 6]

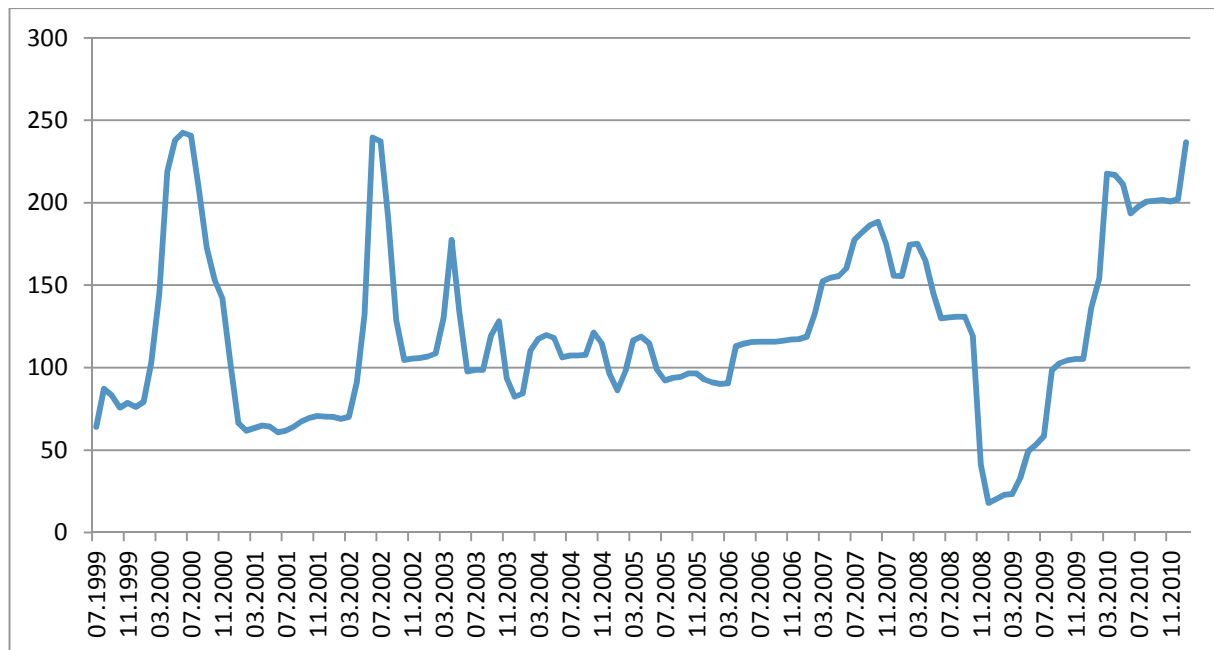


Abbildung 61: Graphische Darstellung des Wiesbadener Index seit 1999 [34, S. 6], [35]

Die dargestellten Werte sind sogenannte Indexpunkte, aus denen sich die Erlöse für gemischtes Altpapier mithilfe eines Faktors errechnen lassen. Der Faktor wird in den Verträgen zwischen Altpapiererzeuger und -abnehmer festgelegt und ist somit Verhandlungssache. In Österreich liegt der Faktor zwischen 0,3-0,4. Für die Steiermark gilt derzeit ein Faktor von etwa 0,38. Zur Berechnung des Erlöses für gemischtes Altpapier kommt folgende Formel zur Anwendung [25]:

$$E = I \times f$$

E Erlös für gemischtes Altpapier in €/t

I Indexpunkte

f Faktor (0,3-0,4)

Beispiel für den Erlös von gemischtem Altpapier in der Steiermark im November 2010:

$$E = 200,8 \times 0,38 = 76,3 \text{ €/t}$$

Auch die Saubermacher Dienstleistungs AG berechnet die Vergütung des Altpapiers anhand des Wiesbadener Index 2005. Grundsätzlich werden die genauen Preise bzw. der Faktor für Altpapier in den Verträgen zwischen SDAG und den Altpapier-Abnehmern festgelegt. Derzeit liegt der Faktor bei etwa 0,38. Es gibt Verträge zwischen SDAG und Gemeinden und zwischen SDAG und Privatkunden. [35]

Abbildung 62 zeigt die Entwicklung der Erlöse des Wiesbadener Index für gemischtes Altpapier der letzten fünf Jahre. Aufgrund des konjunktur- und winterbedingten Aufkommens von Altpapier sind für die Darstellung die durchschnittlichen Jahreswerte in Euro verwendet worden. [35]

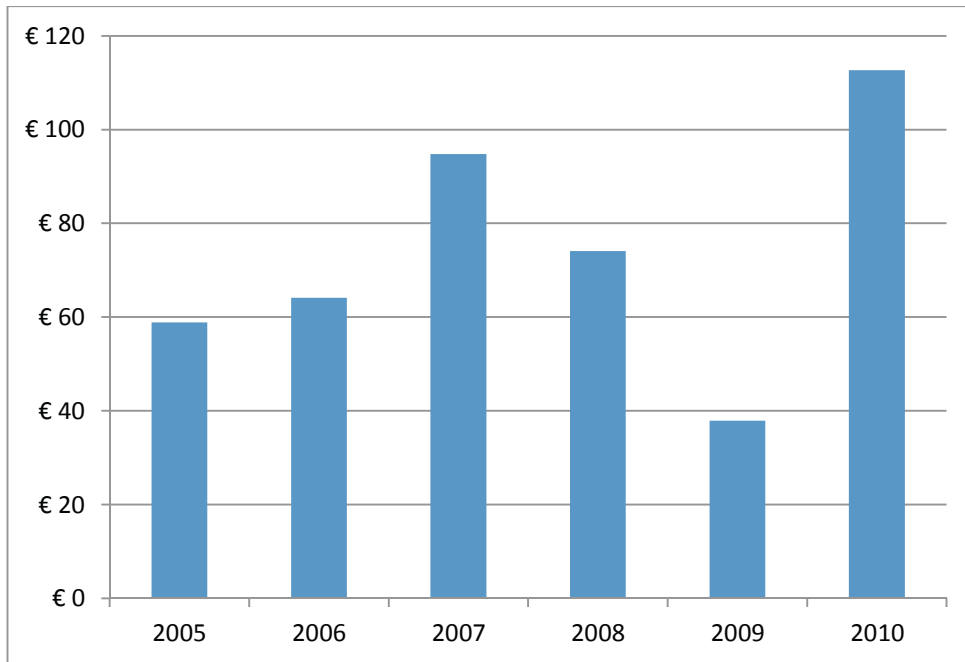


Abbildung 62: Entwicklung der Erlöse für gemischtes Altpapier nach dem Wiesbadener Index auf Basis 2005 (durchschnittliche Jahreswerte in Euro) [35]

Abbildung 63 zeigt speziell die Entwicklung des Wiesbadener Index für die Jahre 2008 bis 2010. Daraus ist die Auswirkung der Wirtschaftskrise auf die Altpapierbranche in der Zeit zwischen Oktober 2008 und April 2010 genau erkennbar.

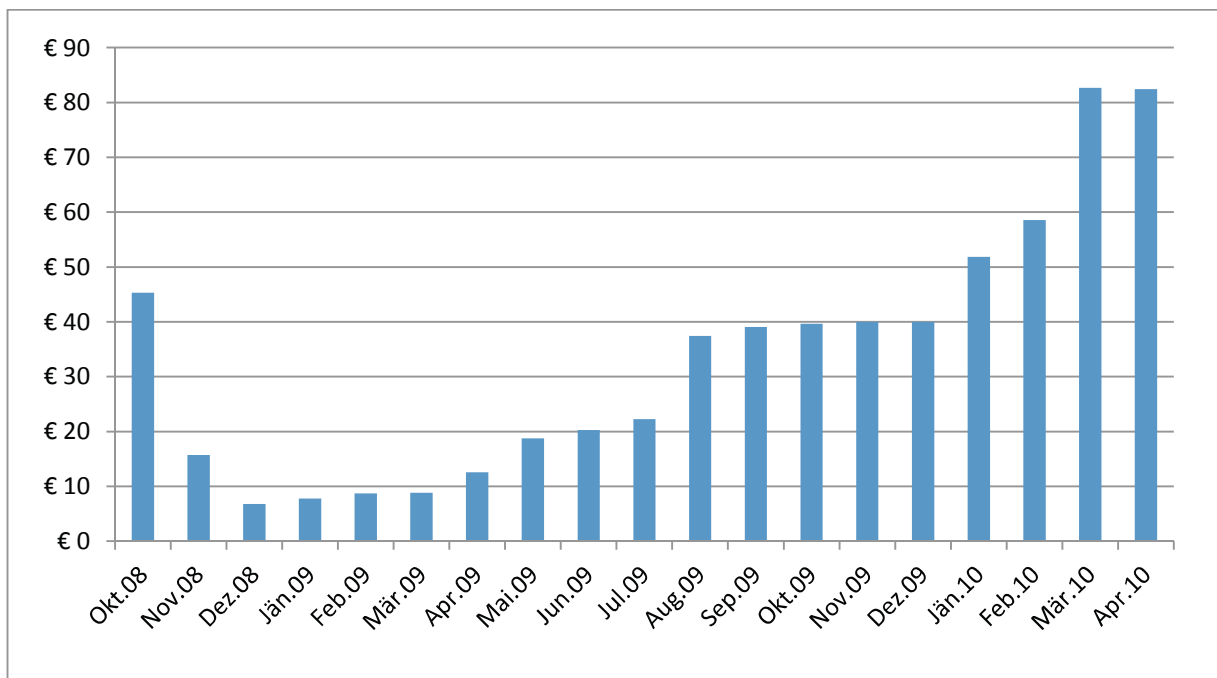


Abbildung 63: Vergütung für gemischtes Altpapier nach Wiesbadener Index während der Wirtschaftskrise 2008/09 (Basisjahr 2005) [34, S. 6]

Sowie in den Jahren zuvor ist im Frühjahr 2008 der hohe Preis für Altpapier weiter gestiegen. Diese Entwicklung ist weder aufgrund der Nachfrage noch anderen Rahmenbedingungen erklärbar. Ab Oktober 2008 ist ein deutlicher Preisverfall zu verzeichnen. Die Vergütung für eine Tonne Altpapier sinkt von etwa 66 € Anfang 2008 auf zuerst 45 €/t im Herbst 2008 und erreicht Anfang 2009 einen Tiefstand von 7 €/t. Zu dieser Zeit wurde teilweise ein Übernahmestopp für Altpapier eingeführt, das wiederum zu einem gesteigerten Mengenbedarf führte. Gleichzeitig verfiel der Preis für Altpapier. Es kam sogar zu Zuzahlungen. Zu Beginn des Jahres 2009 stabilisierte sich der Preis und stagnierte auf niedrigem Niveau. Im zweiten Quartal 2009 war eine leichte Aufwärtsentwicklung zu verzeichnen. Im August 2009 kam es zu weiteren Erlöserhöhungen. Der Index stieg weiter an und erreichte im März 2010 einen Jahreshöchstwert von 217,6. Derzeit steigt der Index für gemischtes Altpapier wieder leicht und für das Jahr 2011 wird eine Indexentwicklung ähnlich dem Jahr 2007 prognostiziert. Es ist ein durchschnittlicher Jahreswert von etwa 160 zu erwarten. [25], [33]

Neben dem Wiesbadener Index für Großhandelsverkaufspreise kann der Erlös für Altstoffe aus den Fachzeitschriften des Europäische Wirtschaftsdienst GmbH (kurz: EUWID) entnommen werden. Die EUWID-Informationendienste erscheinen wöchentlich und geben Informationen über die Branchen Papier, Holz, Recycling, Entsorgung, Verpackung, Facility Management und neue Energien. Ebenso enthält die Zeitschrift Preistabellen über die Altstoffe: Altpapier, Altkunststoffe und Altmetalle. Abbildung 64 zeigt die Entwicklung des Preises für Mischpapier (1.02) der letzten vier Jahre. [33]

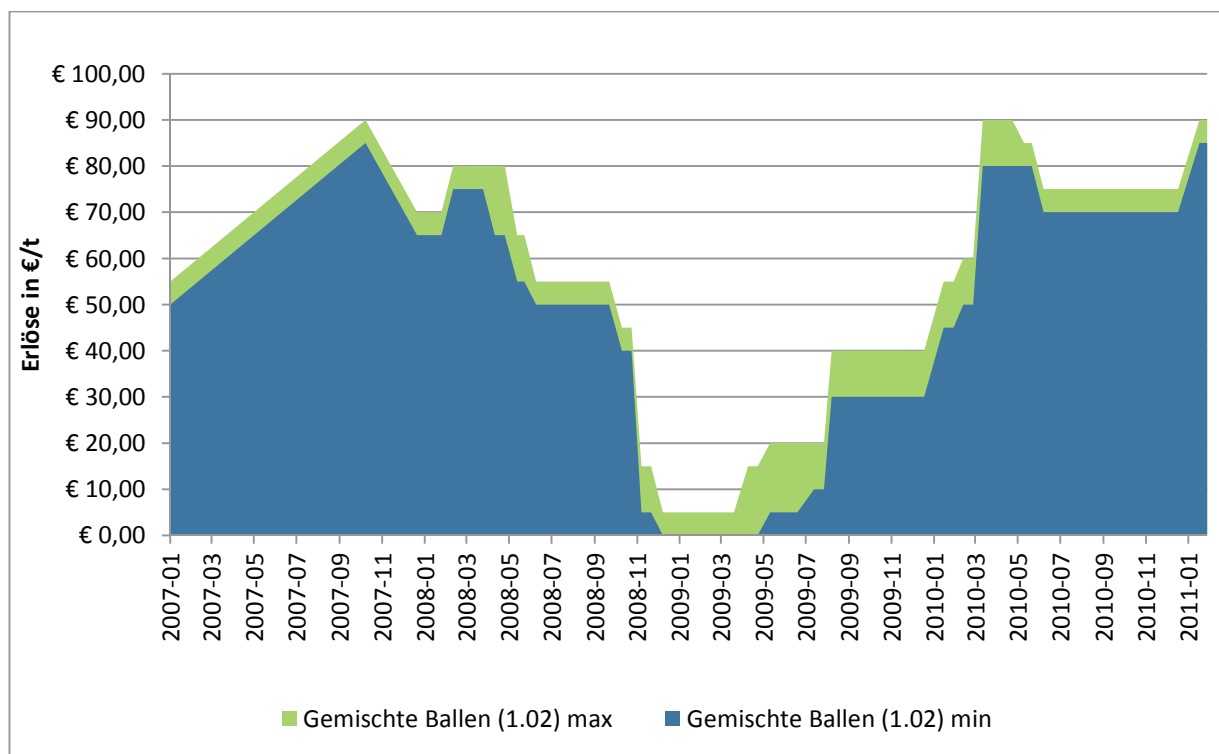


Abbildung 64: Preisentwicklung Altpapier seit 2007 nach EUWID [33]

Die hintere Kurve kennzeichnet den maximalen Erlös für eine Tonne Altpapier der Qualität 1.02. Die vordere Kurve stellt die Untergrenze des Preises für gemischte Ballen dar. Derzeit

liegt der Erlös für eine Tonne gemischte Ballen zwischen 80 und 95 €. In dieser Darstellung der Preisentwicklung sind wieder die negativen Auswirkungen der Wirtschaftskrise 2008/09 für die Altpapierbranche erkennbar. Der Preis fiel seit Ende 2008 und erreichte im Jahr 2009 seinen tiefsten Punkt. Im ersten Quartal lag der Preis für gemischte Ballen zwischen null und 15 €/t. Erst Mitte 2009 erholte sich die Wirtschaft und die Nachfrage nach Altpapier stieg. Dies hat verschiedene Faktoren als Ursache. Unter anderem wurden innereuropäisch und auch in Asien neue Produktionskapazitäten für Papier geschaffen, die Altpapier als Rohstoff einsetzen. Da die Altpapierlagerbestände bei den Lieferanten durch konjunktur- und winterbedingte Umstände nicht vorhanden waren, führte die gestiegene Nachfrage zu einer „just-in-time“- Versorgung. Nach der saisonbedingten Preiserhöhung im Winter 2010, hat sich das Angebot-Nachfrage-Verhältnis wieder eingestellt. Der Preis für Altpapier hat mittlerweile wieder Vorkrisenniveau erreicht und steigt Jahr für Jahr leicht an. [33]

5.2.2 Altkunststoffmarkt

Um die Verwertbarkeit für Altkunststoffe im österreichischen und europäischen Markt besser einschätzen zu können, wird im folgenden Unterkapitel der Altstoffmarkt für Kunststoffe analysiert und dabei die Erlöse für Altkunststoffe betrachtet.

5.2.2.1 Analyse des Altkunststoffmarkts

Dieses Kapitel beschäftigt sich mit dem Aufkommen, dem Einsatz und den Verwertungsmöglichkeiten von Kunststoffen am europäischen Markt. Im Jahr 2009 wurden europaweit (EU-Länder, Norwegen und Schweiz) etwa 55 Mio. t Kunststoffe produziert, was einen Rückgang von 8,3 % im Vergleich zum Vorjahr ausmacht. Der Bedarf der Industrie an Kunststoffen betrug 2009 etwa 45 Mio. t. Abbildung 65 stellt die Marktanteile verschiedener Branchen bzw. Produkte für die Endanwendung von Kunststoffen dar. [36, S. 10]

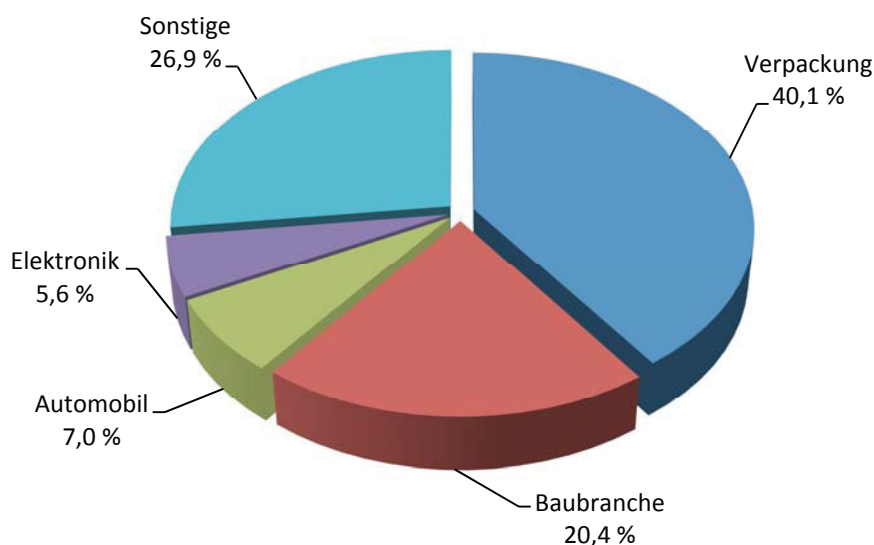


Abbildung 65: Europäische Marktanteile am Kunststoffsektor [36, S. 10]

40 % der erzeugten Kunststoffe werden zu Verpackungen verarbeitet. Das sind rund 18 Mio. t Verpackungsmaterialien aus Kunststoff, die aus der europäischen Industrie stammen. Einen weiteren Teil nimmt die Baubranche mit 20,4 % ein. Die Automobilindustrie hat einen Anteil von 7,4 % und der Elektroniksektor 5,6 %. Die sonstigen 26,9 % teilen sich kleine Sektoren wie Sport und Freizeit, Landwirtschaft, Maschinenbau etc. [36, S. 10]

Abbildung 66 zeigt die verschiedenen Kunststoffsorten die 2009 produziert wurden. Großteils wurden Polyethylene (PE) hergestellt, die meist zu Folienprodukten (PE-LD) oder zu Hohlkörpern mit großen Fassungsvermögen für z.B. Reinigungsmittel (PE-HD) verarbeitet wurden. 19 % der erzeugten Kunststoffe bestanden aus Polypropylen (PP), die im Maschinen- und Fahrzeugbau, in der Elektrotechnik und im Bauwesen Verwendung finden. Die chlorhaltigen PVC-Kunststoffe nahmen den drittgrößten Teil mit 11 % ein. 8 % aller europäischen Kunststoffe wurden 2009 zu PET-Flaschen verarbeitet. Zum gleichen Anteil wurden auch Polystyrole (PS) hergestellt, die in Form von Schaumstoffen und Joghurtbechern Verwendung finden. [36, S. 11]

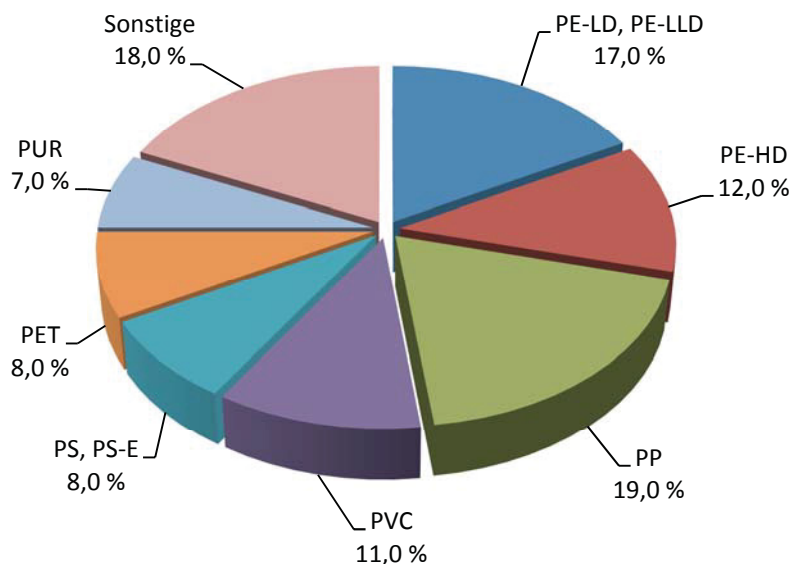


Abbildung 66: Erzeugte Kunststoffsorten 2009 [36, S. 11]

Der Export von Kunststoffen in nicht EU-Länder stieg in den letzten Jahren rasch an. Zwischen 2000 und 2009 wuchs die Exportrate um 100 %. Die größten Exportländer sind vor allem die USA und aufstrebende Schwellenländer. Reine Kunststoffmaterialien gehen hauptsächlich nach China, in die Türkei und nach Russland. Zu Produkten verarbeitete Kunststoffe werden vor allem in die USA, nach Russland und China exportiert. Zu diesen Produkten zählen vor allem Kunststofffolien und -bänder, Kunststoffplatten etc. Seit 2008 hat die EU durch das aufstrebende China Konkurrenz bekommen. 2009 exportierte China bereits ein Drittel der Kunststoffe an den globalen Markt. [36, S. 12]

Durch die großen Mengen an Kunststoffexporten globalisierte sich auch der Recyclingmarkt. Ein Großteil der Kunststoffe wird in Europa für eine Verwertung eingesetzt. Die stoffliche Verwertung hat dabei einen großen Stellenwert. So werden z.B. PET-Flaschen nach

geeigneter Aufbereitung wieder in den Produktkreislauf zurückgeführt. Ebenso werden aus Altkunststoffen neue Produkte wie Sitzbänke, Textilien etc. hergestellt. Eine weitere Möglichkeit Kunststoffe zu verwerten ist die thermische Verwertung. Laut Deponieverordnung ist eine Endlagerung von hochkalorischem Material verboten. Somit sind die Produzenten und Sammler von Kunststoff-Leichtfraktionen gedrängt diese zu verwerten oder zu behandeln. Die Kunststoffe können entweder in Müllverbrennungsanlagen verbrannt werden um daraus Energie zu gewinnen oder als Ersatzbrennstoffe in Industriefeuerungsanlagen eingesetzt werden. Abbildung 67 zeigt die Anteile an den verschiedenen Behandlungsarten von Kunststoffen in Europa, wobei in den meisten Ländern die Deponierung von Kunststoffabfällen noch erlaubt ist.

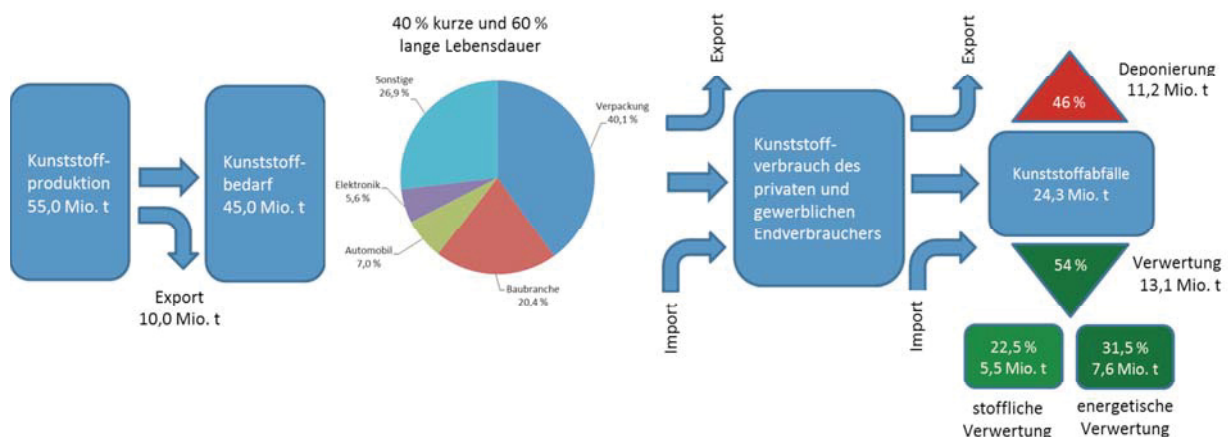


Abbildung 67: Verwertung von Kunststoffen in Europa (modifiziert) [36, S. 16]

Im Jahr 2009 lag der Bedarf des europäischen Marktes an Kunststoffen bei 45 Mio. t. Nach erfolgten Exporten, Importen und dem Konsum fielen 24,3 Mio. t an Kunststoffabfällen an. Mehr als die Hälfte wurden für eine Verwertung eingesetzt. Davon wurden europaweit 5,5 Mio. t recycelt und 7,6 Mio. t energetisch genutzt. Die energetische Verwertung stieg im Gegensatz zum Vorjahr um 2,2 %. Der Grund dafür ist, dass immer mehr Betriebe Kunststoffabfälle als Ersatzbrennstoffe einsetzen. [36, S. 16] Abbildung 68 zeigt einen Vergleich der EU-Mitgliedsstaaten bezüglich ihrer stofflichen und energetischen Verwertungsraten für das Jahr 2009. Die Schweiz führt diesen Vergleich mit einer Rate von beinahe 100 % an. Österreich liegt europaweit im Spitzenfeld mit etwa 28 % Recyclingrate und einer energetischen Verwertungsrate von 68 %.

Trotz einer Reduzierung der Kunststoffabfälle um 2,6 % im Vergleich zum Vorjahr wurden immer noch 11,2 Mio. t europaweit deponiert. Grund dafür ist, dass es in vielen europäischen Ländern noch keine strikten Regelungen bzgl. der Deponierung von hochkalorischem Material gibt. In Abbildung 68 ist dieser Sachverhalt klar erkennbar. Die Top-Verwertungsländer erreichen eine so hohe Rate aufgrund strengerer Regelungen bezüglich der Deponierung von Abfällen. In Österreich wurde im März 2008 die neue Deponieverordnung BGBl. II Nr. 39/2008 eingeführt. Mit der neuen Deponieverordnung wurde in Österreich ein Regelwerk im Bereich der Abfalldéponierung eingeführt, das weit über die EU-rechtlichen Mindestanforderungen hinausgeht. In Bezug auf die thermische

Verwertung ist eine Deponierung von heizwertreichen Fraktionen mit Ausnahmen ab 2004 verboten. Laut Deponierverordnung 2008 BGBl. II Nr. 39/2008, Anhang 1, Tabelle 9: „Grenzwerte für Gehalte im Feststoff (Gesamtgehalte) und für Brennwert und Stabilitätsparameter für die Annahme von Abfällen auf Massenabfalldeponien“ darf der Brennwert des zu deponierten Materials 6.600 kJ/kg TM nicht überschreiten. [36, S. 16], [37]

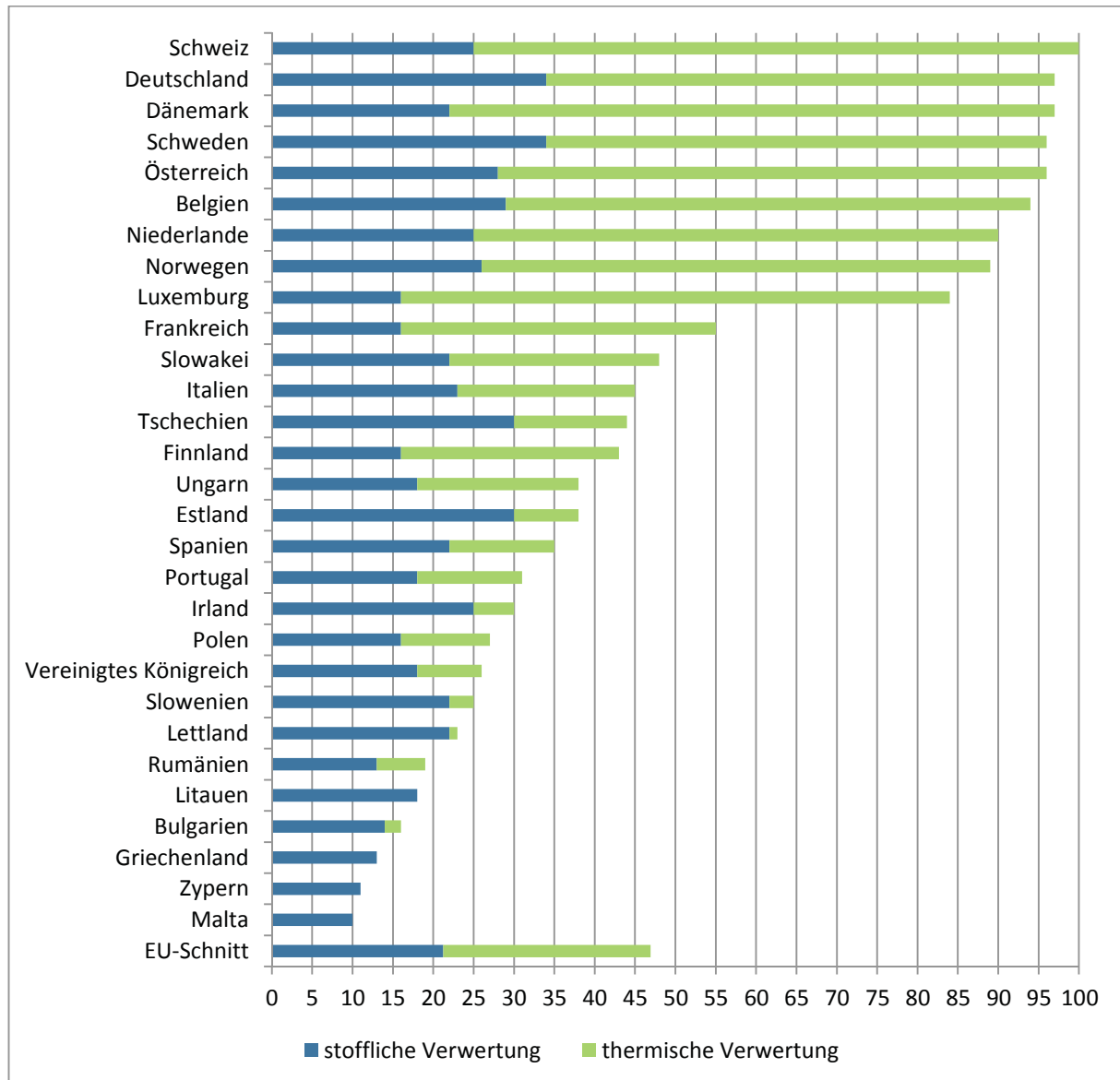


Abbildung 68: Europaweiter Vergleich der Kunststoff-Verwertungsraten 2009 (modifiziert), (Hinweis: Rest auf 100 % = Deponierung) [36, S. 17]

Genauere Angaben über die Menge der anfallenden Kunststoffabfälle in Österreich sind schwierig zu erhalten. Manche Abfallströme sind hinsichtlich ihrer Zusammensetzung recht gut untersucht, für andere wie z.B. Baustellenabfälle, Sperrmüll oder Gewerbeabfälle gibt es nur grobe Abschätzungen über die Zusammensetzung. Die folgenden Daten stammen aus der Datenbank des statistischen Amtes der europäischen Union (Eurostat) und aus dem Bundesabfallwirtschaftsplan (BAWP) 2011.

Im Jahr 2008 sind in Österreich 640.521 t Kunststoffabfälle angefallen. Rund 22 % davon fielen in privaten Haushalten und etwa 54 % in Industrie und Gewerbe an. Der Rest teilt sich auf den Dienstleistungs- und Handelssektor sowie auf die Abfall- und Abwasserentsorgung. In Abbildung 69 ist das österreichische Kunststoffabfallaufkommen für das Jahr 2008 nach allen Wirtschaftszweigen sortiert. [38]

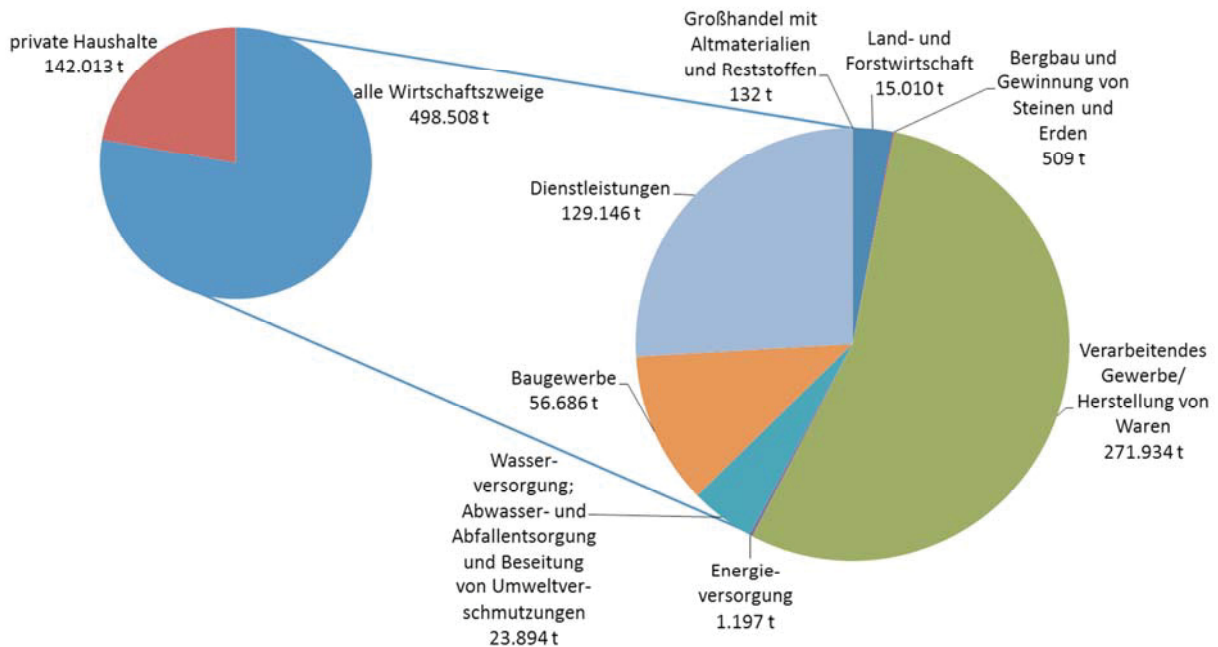


Abbildung 69: Kunststoffabfallaufkommen in Österreich in privaten Haushalten und allen Wirtschaftszweigen im Jahr 2008 [38]

Etwa 40 % aller Kunststoffabfälle fielen im Jahr 2008 als Verpackungskunststoffe an (251.569 t). [38], [39, S. 70] Die restlichen Kunststoffabfälle stammen aus Industrie, Gewerbe und Bau, sowie aus der getrennten Sammlung. Mögliche Behandlungswege von Kunststoffabfällen sind die stoffliche und thermische Verwertung sowie die Verbrennung. In die stoffliche Verwertung gingen in Österreich im Jahr 2008, wie aus Abbildung 68 abgeleitet, etwa 28 % der Kunststoffabfälle (179.346 t). [36, S. 17] Der Großteil stofflich verwerteter Kunststoffabfälle in Österreich besteht aus Verpackungskunststoffen. Im Jahr 2008 wurden rund 87.717 t Verpackungsabfälle aus Kunststoffen werkstofflich verwertet. Etwa 62.981 wurden energetisch verwertet und 94.062 t gingen in Abfallverbrennungsanlagen mit Energierückgewinnung, wie Abbildung 70 zeigt. [38], [39, S. 70] Für den Verbleib der restlichen 6.809 t sind keine Daten eruiert.

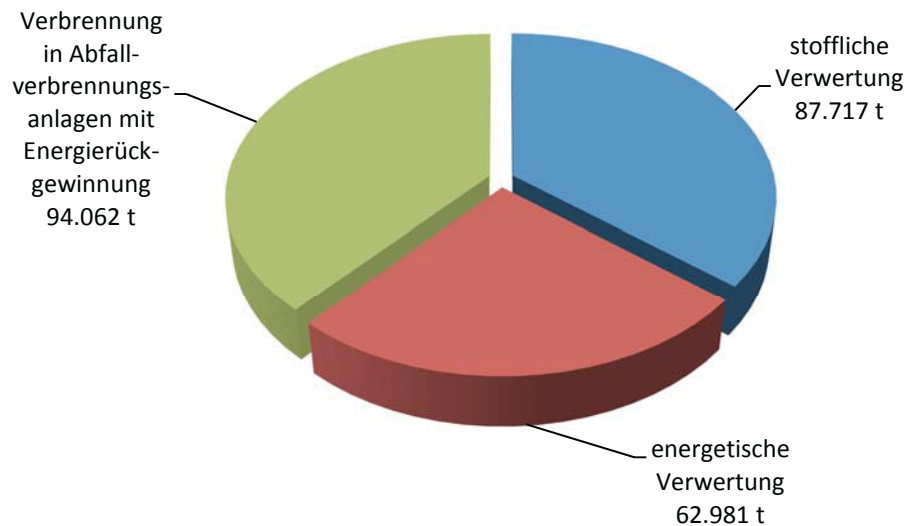


Abbildung 70: Verwertung und Beseitigung von Verpackungskunststoffen in Österreich im Jahr 2008 [38]

2008 wurden 68 % (siehe Abbildung 68) der anfallenden Kunststoffabfälle in Österreich thermisch verwertet. [36, S. 17] Das sind rund 435.500 t Kunststoffabfälle, die energetisch genutzt werden.

5.2.2.2 Erlöse für Altkunststoffe

Die Entwicklung der Erlöse für Altkunststoffe in den letzten Jahren verhält sich ähnlich der Preisentwicklung für Altpapier. Eine kontinuierliche Steigung der Vergütung für Altkunststoffe über die Jahre ist zu verzeichnen. Abbildung 71 veranschaulicht diese Entwicklung am Beispiel von PE (Polyethylen) post-user Ware. Die angegebenen Preise für PE post-user (bereits gebrauchte Ware) sind dem EUWID entnommen. Derzeit liegt der minimale Erlös für eine Tonne PE-Gewerbemischfolie 90/10 (90% transparente Ware, Rest: bunte Ware) bei 240 €. [33]

An den in Abbildung 71 gezeigten Beispielen für PE post-user Ware lagen die Preise für bestimmte Sorten im Bereich von mehreren hundert Euro pro Tonne. PE-Folie transparent natur erreichte 2008 einen Höchstwert von mehr als 400 €/t. Ende 2008 wurde die Wirtschaftskrise 2008/09 auch am Kunststoffsektor spürbar. Die Preise für Altkunststoffe fielen sprichwörtlich in den Keller. Nach Einschätzungen vieler Unternehmen war die Marktlage sehr düster, da die Neuwarenpreise weiter fielen und die Nachfrage immer geringer wurde. Im November 2008 brach der Absatz vieler Recycling-Unternehmen aufgrund mangelnder Nachfrage massiv ein. Der Export nach Fernost stand mit wenigen Ausnahmen still. Selbst die an europäische Recycling-Unternehmen verkauften Altkunststoffe brachten aufgrund zu geringer Mengen keine Entlastung. Die Situation galt als nicht mehr überschaubar. Aufgrund der schwankenden ungewissen Marktbewegung konnten eine Zeit lang keine seriösen Preise angegeben werden. [33]

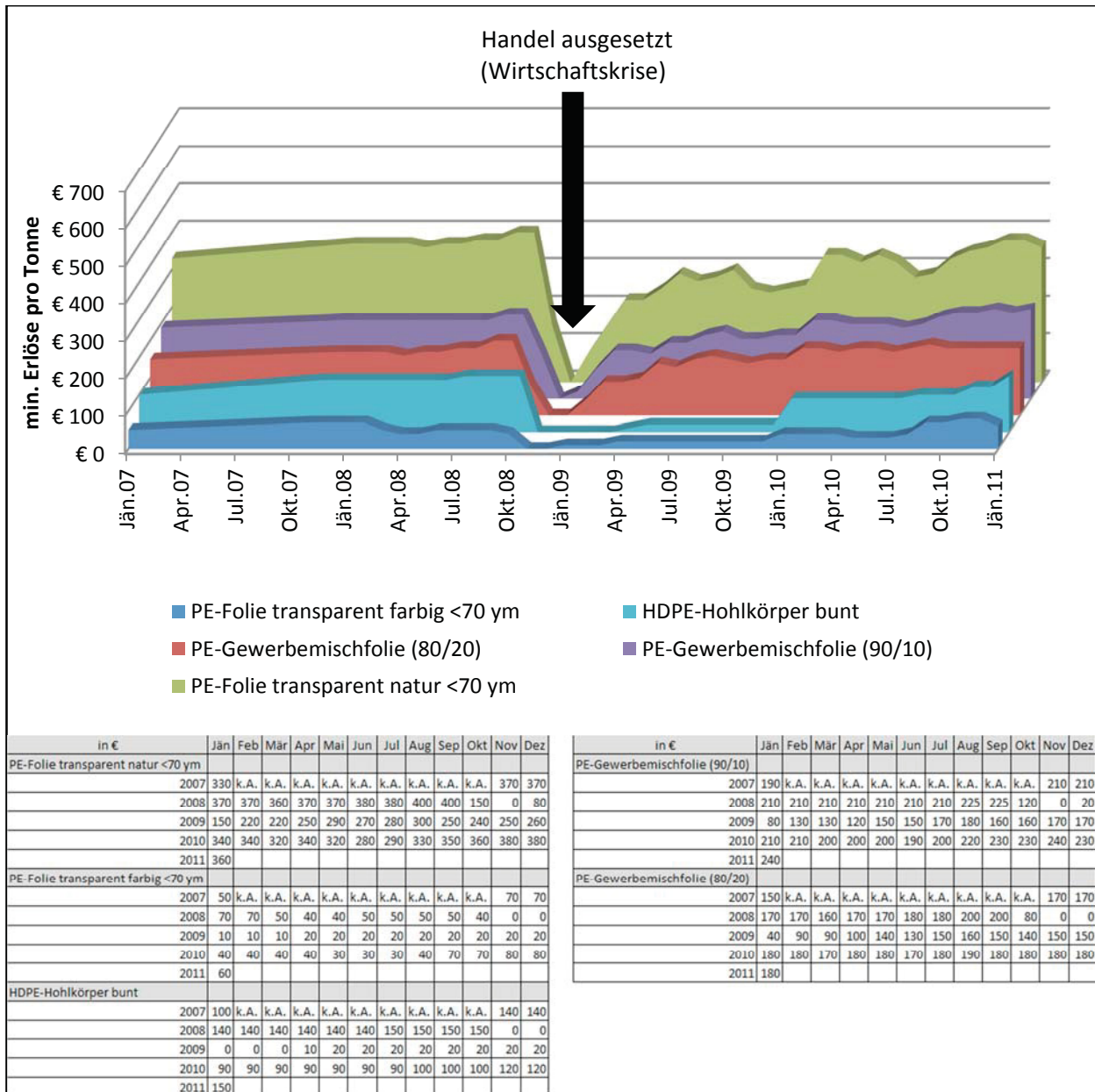


Abbildung 71: Preisentwicklung der Altkunststoffe am Beispiel von PE post-user Ware nach EUWID [33]

Doch die Wirtschaft erholte sich schnell und im ersten Quartal 2009 stiegen die Preise für Altkunststoffe wieder deutlich an. Nach etwa einem Jahr Stagnationsphase war ab Ende 2009 ein Anstieg zu verzeichnen, der bis heute anhält. Gegenwärtig erreichen die Erlöse für eine Tonne Altkunststoffe beinahe Vorkrisenniveau.

6 NIR-Sortiereinheit

Im Zuge der Großversuche in Graz/Puchstraße wurde die Sortierung von hoch- und mittelkalorischen Gewerbeabfall mittels Nahinfrarottechnik untersucht. Die aussortierten PPK- und Kunststofffraktionen wurden in Bezug auf eine stoffliche Verwertung bewertet. Die Marktanalyse ergab verschiedene Trends in Bezug auf die Erlöse der beiden Altstoffe.

Die Altkunststoffe besitzen aufgrund der hohen Erlöse im Bereich von mehreren hundert Euro pro Tonne das wirtschaftlich größere Potential. Der Einsatz von Altkunststoffen in einer stofflichen Verwertung setzt jedoch sehr hohe Reinheiten voraus. Die erforderliche Qualität wurde in den Großversuchen noch nicht erreicht. Deshalb sollen die Ausbringungs- und Reinheitsgrade von Kunststoffen bei der NIR-Sortierung von Gewerbeabfall zukünftig in einer geplanten NIR-Sortiereinheit genauer untersucht und optimiert werden. Dazu wird die Splittinganlage in Wien/Oberlaa um ein Sortieraggregat erweitert. Der Ausbau und Versuchsbetrieb findet im Jahr 2011 statt.

Die bei den Großversuchen der Hochkalorik abgetrennte PPK-Fraktion erreichte eine höhere Sortenreinheit als die Kunststofffraktion. Ein Einsatz in einer stofflichen Verwertung ist somit ökonomisch und ökologisch sinnvoller. Aus diesem Grund liegt der Fokus dieses Kapitels primär auf der Abtrennung von Papier, Pappe und Karton (PPK) aus hochkalorischem Gewerbeabfall mittels Nahinfrarotsortierung. In der geplanten NIR-Sortiereinheit soll das hochkalorische Material aus der Splittinganlage der Nahinfrarot-Sortiermaschine zugeführt werden und gezielt Papier, Pappe und Karton (PPK) abgetrennt werden. Ziel ist es, eine Sortenreinheit im PPK-Auswurf von 80-90 % zu erreichen. Die aussortierte Fraktion soll dann als Mischpapier verkauft werden. Um die in den Großversuchen erreichten Ausbringungsraten und Sortenreinheiten von PPK zu optimieren, sind weiterführende Untersuchungen und Versuche mit der geplanten NIR-Sortiereinheit in Wien/Oberlaa notwendig.

In den folgenden Unterkapiteln wird die geplante NIR-Sortiereinheit für die Abtrennung von Wertstoffen, im speziellen für PPK, aus Gewerbeabfall genauer beschrieben. Das Anlagenschema, sowie die Zusammensetzung des Input- und Outputmaterials werden beleuchtet. Ebenso wird ein Zukunftsszenario der geplanten NIR-Sortiereinheit von Gewerbeabfall im Hinblick auf die Aussortierung von PPK erstellt.

6.1 Anlagenschema

Um Abfälle aus Gewerbe und Industrie automatisch sortieren zu können, ist eine Voraufbereitung notwendig. Je besser das zu sortierende Material aufgeschlossen ist, desto besser ist das Sortierergebnis. In der Splittinganlage in Wien/Oberlaa werden gemischte Gewerbeabfälle nach dem Heizwert in hoch- und mittelkalorisches Material getrennt. Die Vorbehandlung erfolgt in mehreren Schritten. Dazu gehören: Vorzerkleinerung, Siebung, Windsichtung und eine Abtrennung von Metallen, Nichteisenmetallen und Inertstoffen. Das hochkalorische Material soll mittels Nahinfrarottechnik sortiert und Papier, Pappe und Karton (PPK) abgetrennt werden. Abbildung 72 zeigt das Anlagenschema der Splittinganlage für Gewerbeabfall. Die geplante NIR-Sortiereinheit ist bereits im Schema berücksichtigt worden.

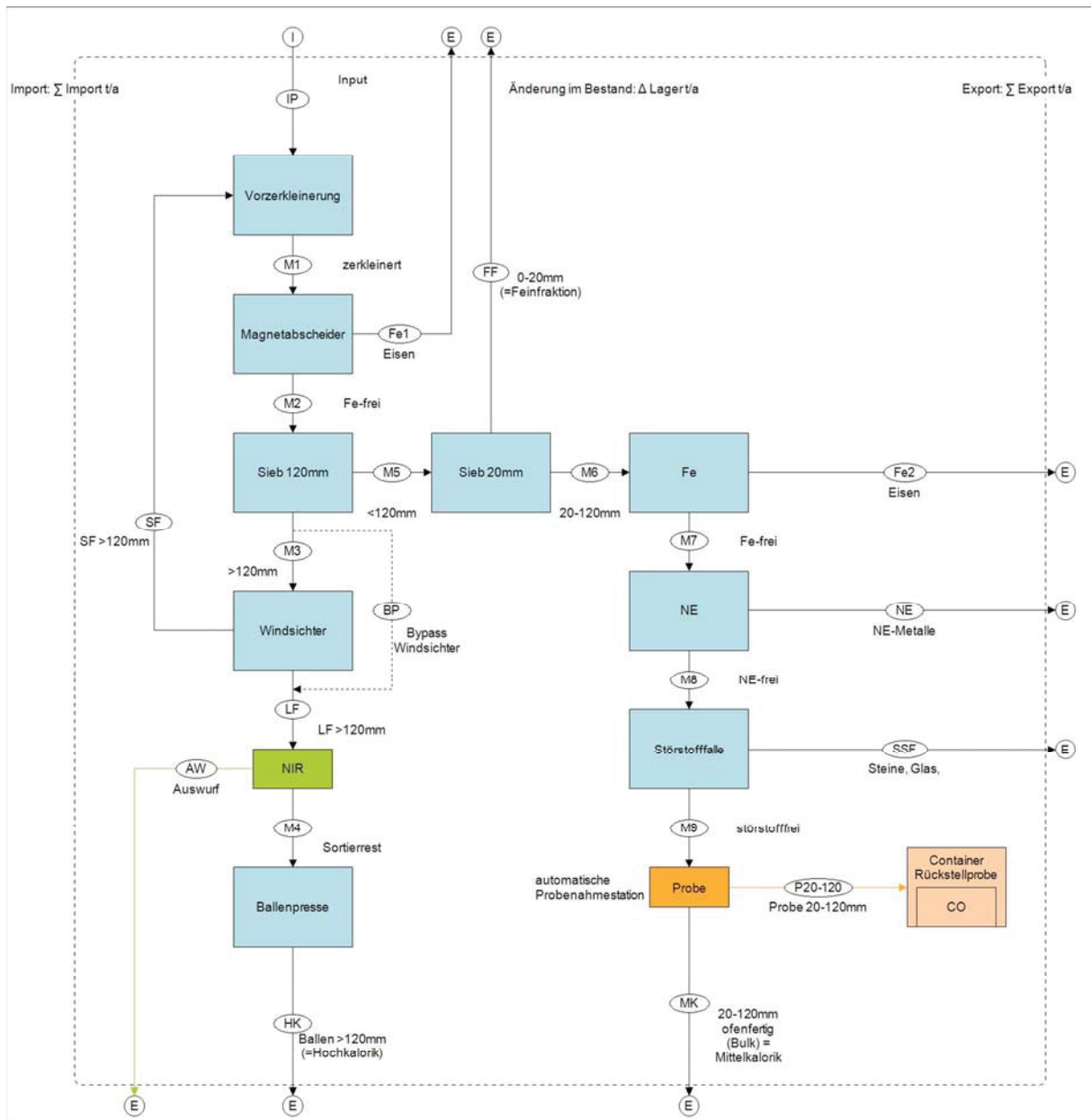


Abbildung 72: Anlagenschema SDAG Splittinganlage in Wien/Oberlaa inklusive NIR-Sortiereinheit

Das Inputmaterial bestehend aus gemischten Abfällen aus Gewerbe und Industrie wird zuerst vorzerkleinert. Im nächsten Schritt werden Eisenbestandteile mittels Magnetabscheider ausgeschleust. Danach erfolgt das Splitting in Hoch- und Mittelkalorikmaterial. Dabei durchläuft das vorzerkleinerte Material ein Sieb mit einer Maschenweite von 120 mm. Die Feinfraktion ($<120\text{ mm}$) wird nochmals gesiebt um Material mit einer Korngröße von 20-120 mm zu erhalten, die sogenannte Mittelkalorik. Bevor die ofenfertige Mittelkalorik die Anlage verlässt, wird diese noch von Eisenbestandteilen, Nichteisenmetallen und von Störstoffen wie Steine, Glas und Keramik befreit. Die Grobfraktion ($>120\text{ mm}$) gelangt zum Windsichter, wo eine Trennung in Schwer- und Leichtfraktion erfolgt. Objekte, die zu schwer sind um vom Windsichter abgesaugt zu werden, gehen zurück zur Vorzerkleinerung. Diese Kreislaufführung erfolgt so lange, bis die

schweren Objekte entweder durchs Sieb fallen oder mitgesaugt werden. Die dadurch erhaltene Leichtfraktion (= Hochkalorik) wird im nachfolgenden Schritt mittels Beschleunigungsband zur Nahinfrarotdetektion geleitet. In Abbildung 72 ist die entsprechende Einbaustelle für die NIR-Sortiereinheit eingezeichnet und farblich gekennzeichnet. Die aussortierte PPK-Fraktion wird in einem Container gesammelt, mit anderen am Betriebsgelände anfallenden Mischpapierfraktionen durchmischt und unverpresst zum jeweiligen Abnehmer transportiert. [40]

Nach Inbetriebnahme der NIR-Sortiereinheit sind weitere Sortierversuche geplant, um das Ausbringen und die Sortenreinheit der Auswurffraktion PPK genauer zu untersuchen. Die SDAG erwägt dabei auch verschiedene Möglichkeiten wie eine Rückführung des Auswurfs oder eine Serienschaltung von zwei NIR-Sortiermaschinen zu erproben. Für die Wirtschaftlichkeitsberechnung in dieser Masterarbeit wird von nur einer NIR-Sortiermaschine ohne Rückführung ausgegangen.

Die Splittinganlage in Wien/Oberlaa ist für eine Kapazität von 90.000 t/a genehmigt. Derzeit werden ca. 70.000 t/a an Material erzeugt. Davon gehen ca. 15 % in die Hochkalorik und etwa 65 % in die Mittelkalorikproduktion. Etwa 10 % des eingesetzten Material fallen als Feinfraktion (<20 mm) an. Den Rest beinhaltet die Schwerfraktion aus der Störstofffalle (Steine, Glas, Keramik etc.) und die Fraktion Metalle (hauptsächlich Eisen und Aluminium). Der Betrieb des Windsichters kann bypassiert werden, sodass das Überkorn aus dem ersten Sieb direkt in die NIR-Sortiereinheit gelangt. Bei Windsichterbetrieb lässt sich jedoch die produzierte Menge an Ballenware stufenlos regeln. Die Produktionszeit der Splittinganlage beträgt 4.000 h/a. [40]

6.2 Inputmaterial

Das Inputmaterial besteht aus gemischten Abfällen aus Gewerbe und Industrie. In der Splittinganlage wird der Abfall aufbereitet und in hoch- und mittelkalorisches Material getrennt. Bei einer jährlichen Kapazität der Gesamtanlage von etwa 70.000 t ergibt das einen Hochkalorikanteil von etwa 10.500 t pro Jahr. Im Idealfall soll diese Menge auch über die geplante Sortiermaschine gefahren werden und automatisch Wertstoffe wie Papier, Pappe und Karton ausgeschleust werden. Um die Menge an aussortierten PPK ermitteln zu können, muss zuerst die Zusammensetzung des gemischten Gewerbeabfalls bekannt sein.

Die Zusammensetzung der Hoch- und Mittelkalorik wurde im Zuge von vier manuellen Sortieranalysen bestimmt. Die Sortierung erfolgte in die gleichen Sortierfraktionen wie bei den Großversuchen. Um eventuelle saisonale Schwankungen des Gewerbeabfalls zu erfassen, wurden die Sortieranalysen in verschiedenen Quartalen durchgeführt. Die erste manuelle Sortierung erfolgte im November 2009. Die nächsten Analysen wurden im Februar, Mai und August 2010 durchgeführt. Die Analysen ergaben bei einigen Sortierfraktionen saisonale Schwankungen im Bereich von mehr als 10 %. Aufgrund dieser Tatsache wird in Tabelle 24 und in Abbildung 73 der Jahresdurchschnitt der Zusammensetzung der Hochkalorik abgebildet.

Tabelle 24: Ergebnis der Sortieranalyse der Hochkalorik (Jahresdurchschnitt)

Sortierte Fraktionen der Hochkalorik		
	[kg]	[%]
Sortierrest (Feinfraktion)	8,0	11
Holz	4,0	6
Papier/Pappe/Karton	12,5	18
Inertstoffe	0,2	0
Metalle	0,7	1
Textilien	7,6	11
Getränkeflaschen (PET)	1,2	2
Sonstige Organik	0,0	0
Problemstoffe/gefährlicher Abfall	0,0	0
Kunststoffe 3D hell	9,8	14
Kunststoffe 3D dunkel	3,1	4
Kunststoffe 2D hell	16,5	23
Kunststoffe 2D dunkel	2,0	3
Verbundstoffe	5,3	8
SUMME	70,9	100*

*Summe ergibt nicht 100 % aufgrund von Rundungsfehlern

Der hochkalorische Anteil des gemischten Gewerbeabfalls besteht zum Großteil aus hellen Kunststoffen. Sie nehmen im Jahresdurchschnitt etwa 37 % ein. PPK haben einen Anteil von 18 %. Die Hochkalorik besteht zu 11 % aus Textilien und zu 21 % aus restlichen Bestandteilen, zu denen Holz, Inertstoffe, Metalle etc. zählen.

Abbildung 73 zeigt die graphische Darstellung der Zusammensetzung des Inputs im Jahresdurchschnitt.

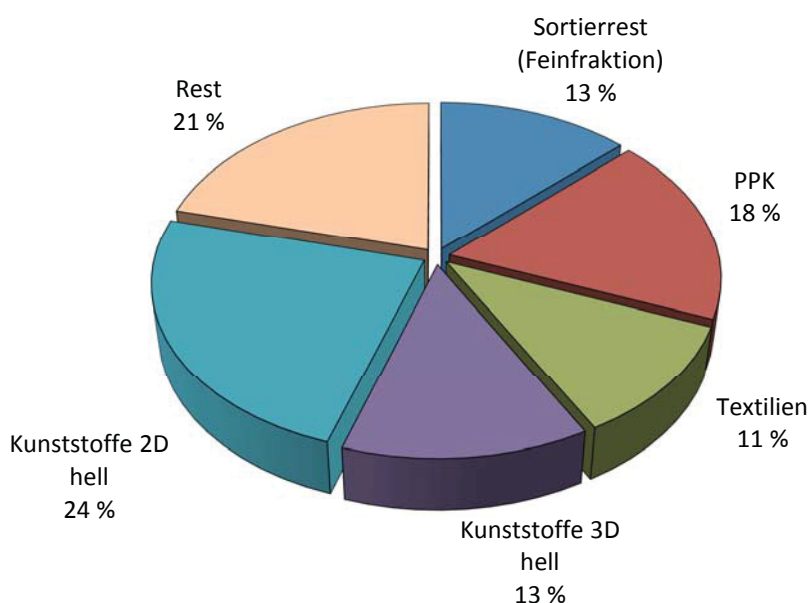


Abbildung 73: Zusammensetzung der Hochkalorik (Jahresdurchschnitt)

Das hochkalorische Material, das in die NIR-Sortiereinheit geht, besteht im Durchschnitt zu etwa 18 % aus PPK. Werden nun jährlich etwa 10.500 t Hochkalorik in der Splittinganlage abgetrennt, gelangen davon rund 18 % Papier, Pappe und Karton zur automatischen Sortierung. Somit ist ein Potential von rund 1.890 t/a an PPK vorhanden, das durch die automatische NIR-Sortiereinheit abgetrennt werden kann. Das tatsächlich erreichbare Ausbringen ist geringer und hängt in erster Linie vom Verschmutzungsgrad, der Vereinzelung und der Stückigkeit des Materials sowie von den eingestellten Parametern der NIR-Sortiermaschine ab.

6.2.1 Manuelle Sortierung mit Kunststoffbestimmung

Die genaue Zusammensetzung der Kunststoffe hell HK wurden im Zuge von manuellen Sortieranalysen im Labor untersucht. Mithilfe eines tragbaren Kunststofferkennungsgeräts der Firma miRO, siehe Abbildung 74, wurden die Proben 2D und 3D Kunststoff hell der Hochkalorik untersucht. Das Prinzip der Messmethode beruht wie bei den Sortiermaschinen der Großversuche auf der Nahinfrarotspektroskopie. Die verschiedenen Kunststoffsorten können anhand ihres charakteristischen Absorptionsverhaltens im nahinfraroten Spektralbereich unterschieden werden. Aufgrund nicht auswertbarer Spektren von dunklen bzw. schwarzen Materialien wurden im Zuge der manuellen Sortierung die 2D und 3D Kunststoffe dunkel HK nicht bestimmt.



Abbildung 74: Tragbares Infrarotspektrometer der Fa. MiRO

Für die Analyse wird der Messkopf des Kunststofferkennungsgeräts gegen den zu untersuchenden Kunststoff gedrückt und die Starttaste betätigt. Nach der Messung erscheint am TFT-Farbdisplay das Ergebnis.

Insgesamt wurden etwa 13 kg Kunststoffe hell des hochkalorischen Materials mithilfe des Kunststofferkennungsgerätes untersucht. Die Proben wurden verwogen und in die Sortierfraktionen aus Tabelle 25 sortiert. Die Fotodokumentation findet sich in Anhang III.

Tabelle 25: Sortierfraktionen für Kunststoffanalyse Hochkalorik

PE (Polyethylen)
PP (Polypropylen)
PVC (Polyvinylchlorid)
PS (Polystyrol)
PET (Polyethylenterephthalat)
PA (Polyamid)
PEPA (Mischung aus Polyamid und Polyethylen)
Mischkunststoffe (kurz: MK, Kombinationen aus PC; Styrol, PVC, ABS, PMMA, PO, Kunststoffverbunde etc.)

6.2.2 Ergebnis der Kunststoffbestimmung 3D hell Hochkalorik

Insgesamt wurden etwa 7,3 kg Kunststoffe 3D hell Hochkalorik mithilfe des tragbaren Kunststofferkennungsgerätes analysiert. Tabelle 26 zeigt die Zusammensetzung dieser Fraktion und Abbildung 75 die graphische Darstellung.

Tabelle 26: Zusammensetzung der Kunststoffe 3D hell Hochkalorik

Kunststoffe 3D hell HK	[g]	[%]
PE	1.763,6	24,0
PP	1.829,9	24,9
PVC	792	10,8
PET	123,3	1,7
PS	1.010,3	13,8
Mischkunststoffe	1.818,5	24,8
SUMME	7.337,6	100

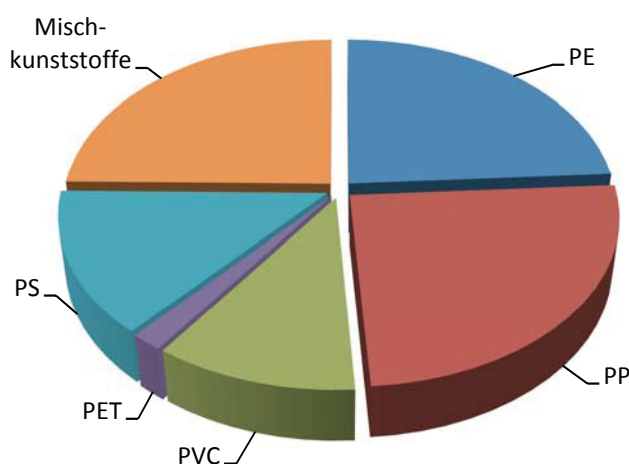


Abbildung 75: Graphische Darstellung der Kunststoffanalyse 3D hell Hochkalorik

6.2.3 Ergebnis der Kunststoffbestimmung 2D hell Hochkalorik

Insgesamt wurden etwa 5,7 kg Kunststoffe 2D hell Hochkalorik mithilfe des tragbaren Nahinfrarotspektrometers analysiert. Tabelle 27 zeigt die Zusammensetzung der Probe und Abbildung 76 die graphische Darstellung.

Tabelle 27: Zusammensetzung der Kunststoffe 2D hell Hochkalorik

Kunststoffe 2D hell HK	[g]	[%]
PE	4.704,4	82,9
PP	293,8	5,2
PVC	34,6	0,6
PS	17,9	0,3
PET	4,5	0,1
PEPA	185	3,3
PA	200,2	3,5
Mischkunststoffe	200,5	3,5
Sortierrest	37,1	0,7
SUMME	5.678	100*

*Abweichungen zu 100 % aufgrund von Rundungsfehlern

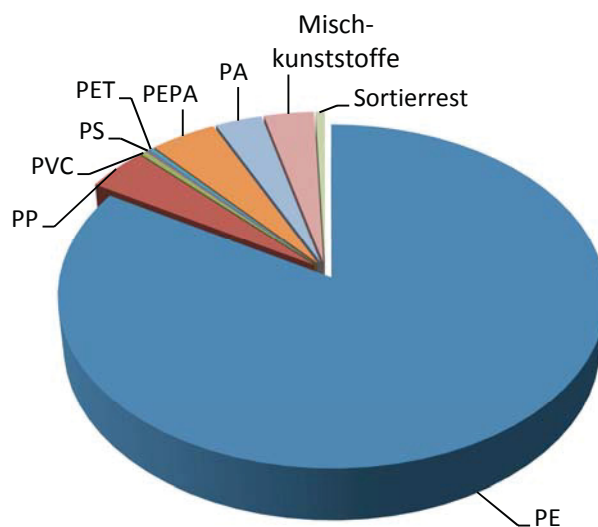


Abbildung 76: Graphische Darstellung der Kunststoffanalyse 2D hell Hochkalorik

Die Analyse der Kunststoffe hell lieferte Unterschiede bei der Zusammensetzung der 2D und 3D Kunststoffe. Nur etwa ein Viertel der 3D Kunststoffe hell besteht aus PE. Die 2D Kunststoffe hell enthalten jedoch etwa 83 % PE.

6.3 Outputmaterial

Dieses Kapitel beschreibt die möglichen Mengen an Mischpapier, die durch die NIR-Sortiereinheit in Wien abgetrennt werden können. Zuerst wird die erreichbare Mischpapiermenge auf Basis der Ergebnisse der Großversuche abgebildet und beschrieben. Danach wird ein Zukunftsszenario im Hinblick auf die Ziele der SDAG erstellt, worauf sich die Kalkulation in Kapitel 7.5 stützt.

Abbildung 77 zeigt die Mengenbilanz der Splittinganlage inklusive NIR-Sortiereinheit mit allen relevanten Prozessen und Stoffflüssen. Die abgebildete Bilanz stützt sich auf die Ergebnisse der Großversuche. Es werden die hier erprobten und empirisch ermittelten Werte für die NIR-Sortierung des biogenen Anteils verwendet. Der Anteil an PPK im Auswurf bzw. in der Mischpapierfraktion betrug 53,8 %. Der biogene Anteil (PPK+Holz) machte 60,7% aus. Die folgende Berechnung der Stoffflüsse im Programm STAN stützt sich auf die Versuchswerte des biogenen Anteils. Der Grund dafür ist, dass eine Ausschleusung von PPK getrennt von kleinen Hölzern (z.B. Späne) mittels Nahinfrarottechnik derzeit technisch noch nicht möglich ist. Die Ausbringungsrate der NIR-Sortiermaschine für den biogenen Anteil liegt auf Basis der Großversuche bei 16,7 %.

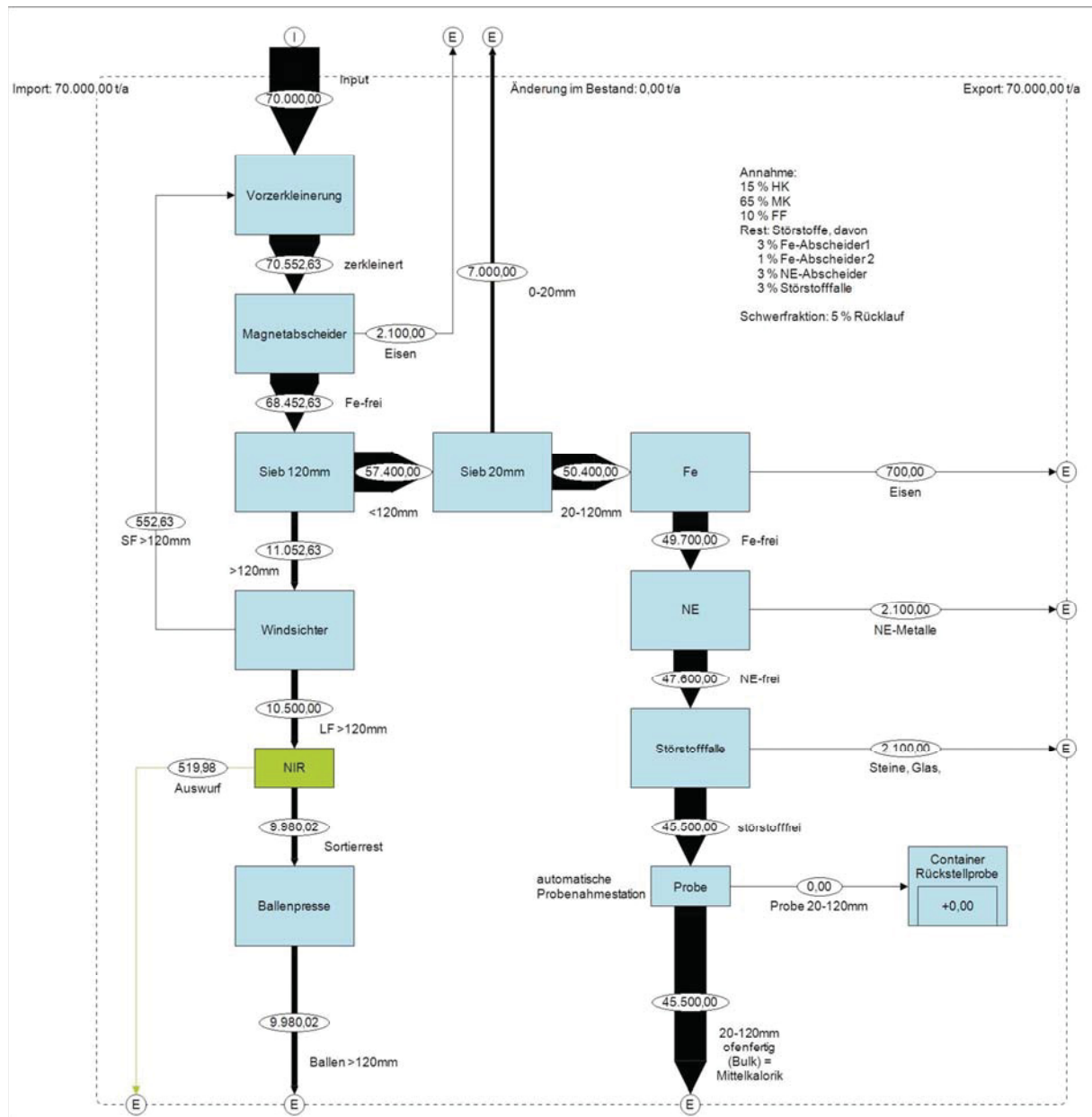


Abbildung 77: Mengenbilanz der Splittinganlage inklusive NIR-Sortiereinheit

Die Kapazität der Splittinganlage und somit auch der NIR-Sortiereinheit beträgt 70.000 t/a. Für die Bilanzierung des Systems in Abbildung 77 wurden folgende Annahmen getroffen:

- 15 % des Inputmaterials gehen in die Hochkalorik (>120 mm),
- 65 % des Materials werden zu Mittelkalorik verarbeitet (20-120 mm),
- 10 % gehen in die Feinfraktion (0-20 mm) und werden aus dem System geschleust,
- weitere 10 % des Exports gehen in die Fraktion Störstoffe, davon werden
 - 3 % durch Fe-Abscheider 1,
 - 1 % durch Fe-Abscheider 2,
 - 3 % durch NE-Abscheider und
 - 2 % durch die Störstofffalle abgeschieden.

- 5 % der durch den Windsichter nicht abgesaugten Schwerfraktion (>120 mm) geht zurück in die Vorzerkleinerung.

Der Input für die NIR-Sortiereinheit beträgt 10.500 t/a Hochkalorik mit einem PPK-Anteil von 18 %. Mit einem Ausbringen von 16,7 % und einer Sortenreinheit des biogenen Anteils von 60,7 % werden jährlich rund 520 t Mischpapier abgetrennt, die einer stofflichen Verwertung zugeführt werden können.

Abbildung 78 zeigt die Materialbilanz für PPK der Splittinganlage inklusive NIR-Sortiereinheit. Die Materialbilanz unterscheidet sich von der Mengenbilanz dadurch, dass speziell nur ein bestimmter Materialstrom, jener von PPK im System betrachtet wird. Dafür werden die spezielle Sortenreinheit und Ausbringungsrate für PPK aus den Großversuchen angewendet.

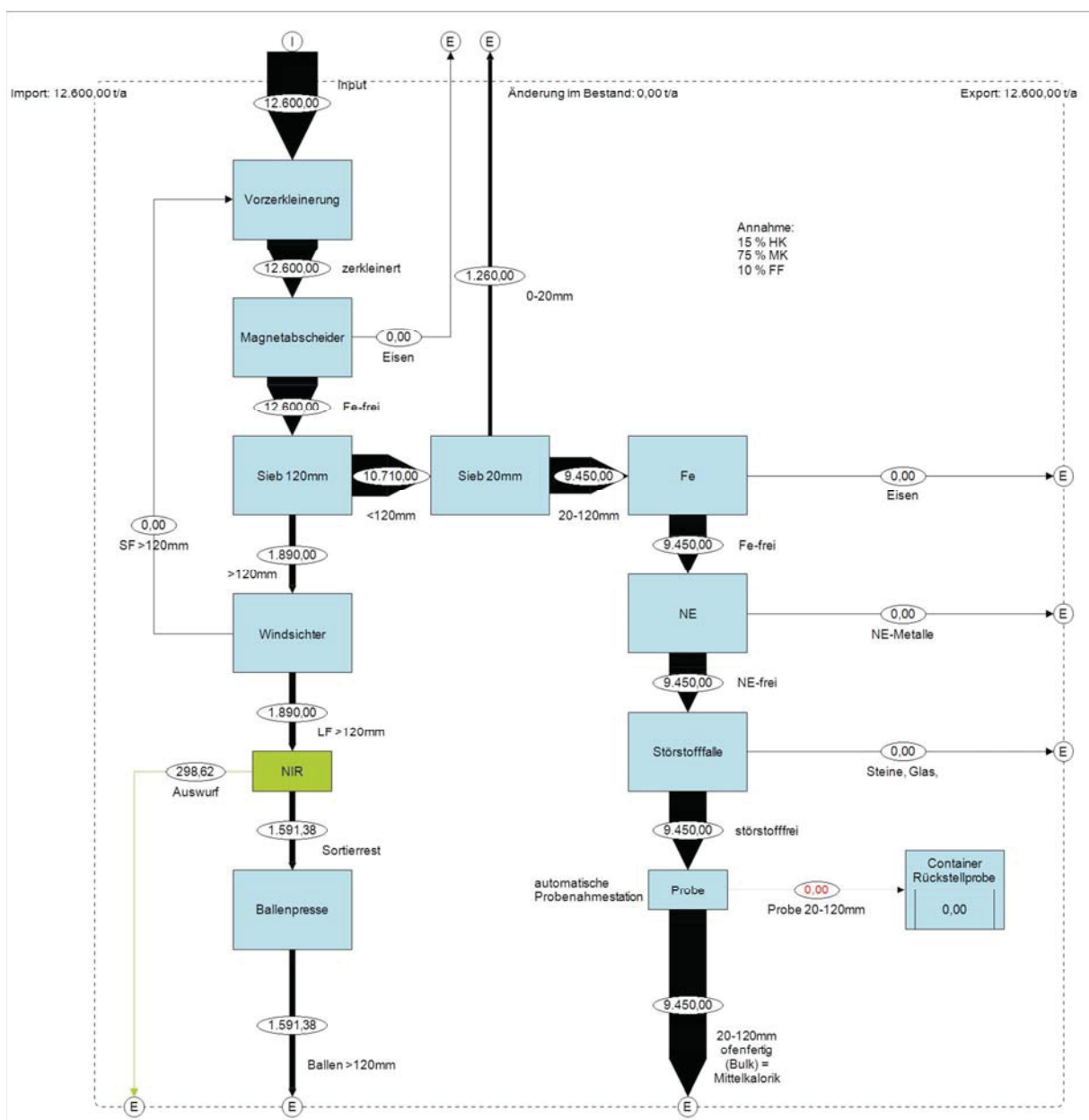


Abbildung 78: Materialbilanz PPK

Der Gewerbeabfall enthält durchschnittlich 18 % PPK, wovon rund 1.890 t/a als Hochkalorik in der Splittinganlage abgetrennt und der NIR-Sortierung zugeführt werden. Die abgetrennte Mischpapierfraktion enthält mit einer Sortenreinheit von 53,8 % und einem Ausbringen von 15,8 % etwa 300 t/a Papier, Pappe und Karton.

Bevor die aussortierte Mischpapiermenge einer stofflichen Verwertung zugeführt werden kann, wird diese noch mit anderen am Standort anfallenden Mischpapierfraktionen durchmischt. Um den CEPI-Anforderungen für Mischpapier entsprechen zu können, reicht eine Sortenreinheit von rund 60 % noch nicht aus. Ziel von weiterführenden Untersuchungen zur Ermittlung von optimalen Einstellungen für den Regelbetrieb muss es sein, den Anteil an Papier, Pappe und Karton im Auswurf von ca. 50 % auf 80-90 % zu steigern. Ebenso ist es notwendig, das Ausbringen zu verbessern, da hier bei den Großversuchen nur eine Ausbringungsrate von 16,7 % für den biogenen Anteil erreicht wurde. Bei den Vorversuchen im Technikum war das Ausbringen deutlich höher und lag im Durchschnitt bei 78 %. [18, S. 37]

In Abbildung 79 ist ein Zukunftsszenario der Splittinganlage inklusive NIR-Sortiereinheit in Form einer Mengenbilanz abgebildet. Es wurde von denselben Betriebsbedingungen der Splittinganlage wie in den vorherigen Bilanzen ausgegangen (Input, Aufteilung in Hoch- und Mittelkalorik, Anteil Störstoffe etc.). Der Unterschied liegt in der Sortierleistung der NIR-Sortiermaschine. Dabei wird für das Ausbringen des biogenen Anteils aus dem Inputstrom ein Durchschnittswert, der aus den Vorversuchen (Technikum) resultiert von 78 % angenommen und für die Sortenreinheit des Auswurfs ein Wert von 90 % herangezogen.

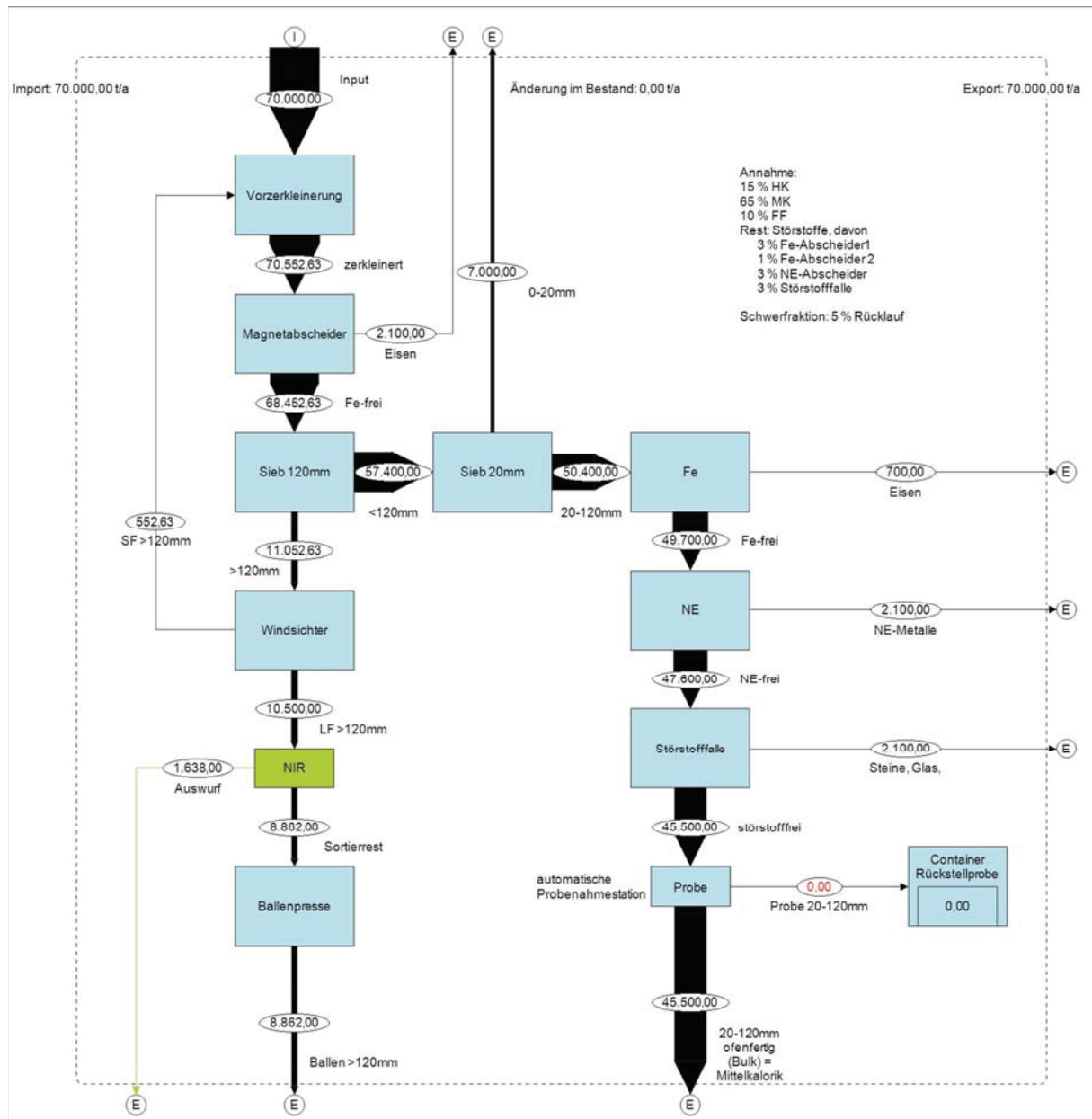


Abbildung 79: Zukunftsszenario der Splittinganlage Wien/Oberlaa inklusive NIR-Sortiereinheit

In der Splittinganlage in Wien entstehen jährlich etwa 10.500 t hochkalorisches Material, die mittels Nahinfrarottechnik sortiert werden. Mit einem Ausbringen von 78 % durch den Einsatz der NIR-Sortiermaschine resultiert ein Mischpapieroutput von 1.638 t/a. Die Sortenreinheit wird mit 90 % angenommen.

Das bedeutet, dass bei optimalem Betrieb der NIR-Sortiereinheit in Wien mehr als 1.600 t Mischpapier pro Jahr aus Gewerbeabfällen (Fraktion Hochkalorik) abgetrennt werden können (Potential).

7 Wirtschaftlichkeitsberechnung

In diesem Kapitel wird die Erweiterung der bestehenden Splittinganlage in Wien/Oberlaa um eine NIR-Sortiereinheit zur Sortierung von gemischtem Gewerbeabfall einer wirtschaftlichen Betrachtung unterzogen. Für die Kalkulation sind die Kosten für Energie, Transport und Personal sowie für die Anschaffung, den Betrieb und die Instandhaltung der Sortiermaschine zu erheben. Nach Ermittlung der Gesamtkosten werden die Erlöse für die jährliche Mischpapiermengen errechnet um den Jahresgewinn und die Amortisationszeit abschätzen zu können.

7.1 Anlagenkosten

Die bestehende Splittinganlage in Wien/Oberlaa wird durch eine Sortiermaschine zur Sortierung von gemischtem Gewerbeabfall mittels Nahinfrarottechnologie nachgerüstet. Die NIR-Sortiereinheit soll Wertstofffraktionen wie z.B. die Fraktion PPK aus dem Gewerbeabfallstrom ausschleusen und wird vorerst in der Linie der Hochkalorik nach dem Windsichter platziert. Im Folgenden wird eine mögliche technische Ausführungsform beschrieben und monetär bewertet.

7.1.1 NIR-Sortiermaschine

Die Splittinganlage in Wien/Oberlaa hat eine Kapazität von 70.000 t/a. Davon gehen etwa 15 %, also 10.500 t/a in die Hochkalorik-Produktion. Mit einer Betriebsdauer von etwa 4.000 h/a errechnet sich bei der Hochkalorik ein Durchsatz von 2,63 t/h. Im Zuge der Großversuche in der Sortieranlage in Graz/Puchstraße wurden etwa 5,4 t hochkalorisches Material sortiert. Innerhalb eines Zeitraums von etwa zwei Stunden wurde das Material durch die Anlage befördert, sortiert und beprobt. Aufgrund einer nicht optimalen Aufgabe des Materials konnte kein kontinuierlicher Betrieb im Zuge der Großversuche gewährleistet werden. Weiters sind die Gegebenheiten in Graz, die während der Großversuche herrschten anders als bei der Splittinganlage in Wien. Daher wird für die weitere Berechnung von einem Durchsatz von etwa 2 t/h ausgegangen. Die im Großversuch verwendete Sortiermaschine war eine REDWAVE NIR 2-Weg mit einer Sortierbreite von 2.000 mm.

Um den Anforderungen bzgl. des Materialdurchsatzes pro Sekunde in der Splittinganlage in Wien/Oberlaa gerecht zu werden, muss eine leistungsstärkere Sortiermaschine mit Nahinfrarot-Sortiertechnologie in Betracht gezogen werden. In Anhang IV befindet sich ein Auszug aus dem Angebot der Fa. BT Wolfgang Binder für eine Nahinfrarot-Sortiermaschine der Marke REDWAVE. Aufgrund der höheren Leistungsanforderung und um eine optimale Vereinzelung des Materials am Förderband zu gewährleisten, empfiehlt sich eine Sortiermaschine mit größerer Sortierbreite. Somit wurde das Angebot für einen NIR-Sortiermaschine mit einer Sortierbreite von 2.800 mm erstellt. Das Angebot, siehe Tabelle 28, beinhaltet den Grundpreis (unverhandelt) für eine REDWAVE 2800 NIR V64 2-Weg inkl. Fracht und Verpackung, Montageüberwachung und Inbetriebnahme ohne Fördertechnik.

Tabelle 28: Preisangebot NIR-Sortiermaschine [41, S. 5]

Nahinfrarot-Sortiermaschine	Gewicht [t]	Preis [€]
REDWAVE 2800 NIR V64 2-Weg	4,6	211.000
Fracht und Verpackung	-	550
Montageüberwachung, Inbetriebnahme und Schulung	-	5.800
Gesamtpreis	-	217.350

Die REDWAVE 2800 NIR V64 2-Weg ist eine optische Sortiermaschine mit der Technologie der Nahinfrarot-Spektroskopie. Die Maschine mit einer Sortierbreite von 2.800 mm besitzt eine Ausblaseinheit mit insgesamt 64 Ausblasventile und 256 Ausblasdüsen. Das integrierte Förderband (Beschleunigungsband) erreicht eine maximale Geschwindigkeit von 3 m/s bei einer Länge von 4,5 m. Die Sortiermaschine beinhaltet ebenfalls eine Steuerungs- und Bedieneinheit mit Touchscreen. Neben der Montageüberwachung sind eine Applikationsanpassung und eine Schulung des Betriebspersonals (1 Mann) für eine Dauer von fünf Tagen im Preis mitinbegriffen. [41, S. 6]

7.1.2 Förderbänder und Stahlkonstruktion

Für die NIR-Sortiereinheit ist eine Fördertechnik in Form einer Vibrorinne und drei Förderbändern zur Zu- und Abfuhr vorgesehen. Genaue Anschaffungskosten für beide Förderbänder sind derzeit noch nicht bekannt. Ebenso sind die Kosten für die Stahlkonstruktion noch nicht fixiert. Die SDAG rechnet mit Anschaffungskosten für Fördertechnik und Stahlkonstruktion von etwa 130.000 €. [23], [25]

7.1.3 Instandhaltung

Die jährlichen Instandhaltungskosten der NIR-Sortiermaschine setzen sich aus Kosten für Serviceleistungen und Ersatzteile zusammen. Tabelle 29 zeigt die geschätzten Kosten. [42]

Tabelle 29: Instandhaltungskosten [42]

Instandhaltung	€/a
Service (2x pro Jahr)	3.000
Ersatzteile	1.000
Instandhaltungskosten	4.000

7.2 Ressourcenkosten

Zu den Ressourcenkosten der NIR-Sortiereinheit zählen Kosten für Energie, Druckluft sowie für personelle Ressourcen.

7.2.1 Energiekosten

Energiekosten werden in der NIR-Sortiereinheit von der NIR-Sortiermaschine selbst und für den Betrieb der Fördertechnik verursacht. Es wird ein mittlerer Strompreis von 6,83 Cent pro

kWh angenommen. Der Preis gilt für Industrieanlagen mit einem Jahresverbrauch von <10 GW und Volllaststunden von <4.500 t/a. Die Betriebsstunden der gesamten Anlage belaufen sich auf etwa 4.000 h pro Jahr. Tabelle 30 zeigt die Energiekosten beim Betrieb der NIR-Sortiermaschine. Für die Vibrorinne wird ein Leistungsbedarf von 6 kW angenommen. Die drei Förderbänder benötigen geschätzt je 2 kW. In Tabelle 31 werden die jährlichen Energiekosten für die Fördertechnik berechnet. [23], [40], [43]

Tabelle 30: Energiekosten NIR-Sortiermaschine [41, S. 6], [43]

Sortiermaschine		
Elektrischer Leistungsbedarf	kW	12
Betriebsstunden pro Jahr	h	4.000
Strompreis	Cent/kWh	6,83
Stromkosten pro Jahr	€/a	3.278

Tabelle 31: Energiekosten Fördertechnik [23], [43]

Fördertechnik		
Vibrorinne	kW	6
drei Förderbänder	kW	6
Betriebsstunden pro Jahr	h	4.000
Strompreis	Cent/kWh	6,83
Stromkosten pro Jahr	€/a	3.278

Aus Tabelle 30 und Tabelle 31 ergibt sich ein Gesamtenergiebedarf der NIR-Sortiereinheit von 6.556 € im Jahr.

7.2.2 Personalkosten

Die gesamte Splittinganlage in Wien/Oberlaa arbeitet im 3-Schichtbetrieb mit 8 h pro Schicht. Die Schichtzeit beläuft sich auf etwa 5.500 h/a. Da die Anlage jährlich nur 4.000 h in Betrieb ist, wird die restliche Schichtzeit für Instandhaltung und Wartungsarbeiten genutzt. Die Sortierung von Gewerbeabfällen mittels Nahinfrarottechnologie läuft vollständig automatisch und eigenständig ab. Für das Umladen und die Durchmischung des PPK-Auswurfs mit anderen Mischpapierfraktionen wird Personal benötigt. Diese Aufgaben sind zusätzlich zum normalen Tätigkeitsfeld auszuführen. Die Personalkosten werden deshalb als Manipulationskosten [€/t] angegeben, siehe Tabelle 32. [25], [40]

Tabelle 32: Personalkosten [25]

Personal		
Mitarbeiter	Anzahl	1
Manipulationskosten	€/t	3,50

7.2.3 Druckluftkosten

Die Nahinfrarot-Sortiermaschine REDWAVE 2800 NIR V64 2-Weg mit einer Sortierbreite von 2.800 mm ist mit einer Ausblasvorrichtung ausgestattet um detektierte Objekte vom Abfallstrom trennen zu können. Dieses Ausblasmodul besteht aus 64 Ventilen und 256 Ausblasdüsen und benötigt einen Maximaldruck von 6 bar. Der Bedarf an Druckluft ist 150 m³/t auszubringendes Material. Mit den angenommenen Kosten von 0,0114 € pro m³ Druckluft und der Menge an ausgeworfenen Material pro Jahr lassen sich wie in Tabelle 33 gezeigt die Druckluftkosten errechnen. [41, S. 6], [44]

Tabelle 33: Kosten für Druckluft [41, S. 6], [44]

Druckluft		
Kosten pro m ³ Druckluft	Cent/m ³	1,14
Druckluftbedarf	m ³ /t auszubringendes Material	150
auszubringendes Material	t/a	1.638
Druckluftkosten pro Jahr	€/a	€ 2.801

7.3 Verarbeitungs- und Transportkosten

Die in der NIR-Sortiereinheit aussortierte Fraktion besteht zu 80-90 % aus Papier, Pappe und Karton und kann nach Durchmischung mit Mischpapier als solches verkauft werden. Ein möglicher Abnehmer für die Mischpapiermenge ist die Mayr-Melnhof Karton AG in Frohnleiten, wo das Material zu Recyclingkarton verwertet wird. [25]

Der Transport nach Frohnleiten verursacht Kosten von etwa 11-14 €/t. Dazu kommen noch Umlade- und Manipulationskosten von ca. 2 €/t. Somit betragen die gesamten Transportkosten von Wien nach Frohnleiten maximal 16 € pro Tonne Mischpapier. [25]

Um Transportvolumen einzusparen, besteht die Möglichkeit das Mischpapier vor den Transport zu verpressen. Das Pressen verursacht einen Aufwand von etwa 13 € pro Tonne Mischpapier. Für den Transport ergibt sich verpresst oder unverpresst nur ein geringer Unterschied, da verpresst 24 t und unverpresst 23 t Material transportiert werden können. Die Verpressung des Materials verursacht somit unnötige Mehrkosten. [25]

7.4 Erlöse

Der Erlös errechnet sich aus der abgetrennten Mischpapiermenge und dem Verkaufspreis je Tonne Mischpapier.

Die Menge an aussortiertem Material wurde bereits im Zukunftsszenario in Kapitel 6.3 erhoben. Im Gegensatz zu den Szenarien der Großversuche wurden hier höhere Ausbringungsraten und Sortenreinheiten angenommen. Die jährliche Menge an aussortieren Mischpapier beträgt daher etwa 1.638 t.

Die SDAG berechnet den Preis für gemischtes Altpapier auf Basis des Wiesbadener Index 2005. Der Verkaufspreis von Mischpapier liegt zwischen 77-120 €/t je nach Abnehmer.

Derzeit wird Mischpapier um etwa 84 €/t angeliefert. Für die Kalkulation wird der niedrigste Preis (77 €/t) herangezogen. Tabelle 34 listet die Erlöse für Mischpapier, das aus den Gewerbeabfällen (Fraktion Hochkalorik) abgetrennt werden kann, auf. [35]

Tabelle 34: Jährliche Erlöse durch den Verkauf von Mischpapier

Erlöse für Mischpapier	
Sortenreinheit [%]	90
Ausbringen [%]	78
Erreichbare Auswurfmenge [t/a]	1.638
Erlöse [€/a]	126.126

Für die Kalkulation wird ein jährlicher Erlös von 126.126 € durch den Verkauf von Mischpapier angesetzt.

7.5 Kalkulation

In diesem Kapitel wird die Nachrüstung der Splittinganlage für Gewerbeabfälle einer Wirtschaftlichkeitsberechnung unterzogen. Da gewisse Detailinformationen nicht eruierbar waren, wird die Anlage nur grob kalkuliert. Die Wirtschaftlichkeitsrechnung wird vereinfacht ohne Steuern, Zinsen etc. und auf Basis des Zukunftsszenarios aus Kapitel 6.3 durchgeführt.

7.5.1 Berechnung der Fixkosten

Um die Kosten für die Nachrüstung und Betrieb der NIR-Sortiereinheit kalkulieren zu können, sind zuerst die Fixkosten zu berechnen. Die Fixkosten setzen sich aus Kosten für Abschreibungen, Instandhaltungskosten, Energie-, Transport- und Personalkosten zusammen (siehe Tabelle 35).

Die Kosten für Abschreibung lassen sich aus den Gesamt-Anlagenkosten bestimmen, zu denen Kosten für die Anschaffung und Instandhaltung der Sortiermaschine und der Fördertechnik sowie Kosten der Stahlkonstruktion zählen. Die SDAG geht dabei von rund 350.000 € aus. Die NIR-Sortiereinheit wird linear über 7 Jahre abgeschrieben. Daraus ergeben sich AfA (Aufwendungen für Abschreibungen) von 50.000 €/a. Die Instandhaltungskosten der NIR-Sortiermaschine belaufen sich auf etwa 4.000 €. Die Kosten für Energie und Druckluft wurden in Kapitel 7.2 berechnet und betragen 9.357 €/a. Tabelle 35 zeigt die Zusammensetzung und Berechnung der Fixkosten.

Tabelle 35: Berechnung der Fixkosten

Fixkosten	[€]
AfA	50.000
Instandhaltung	4.000
Energie- u. Druckluftkosten	9.357
Gesamt-Fixkosten	63.357

7.5.2 Berechnung der Sortierkosten

Die Sortierkosten (S) lassen sich anhand der Fixkosten und der Menge an aussortiertem Material (Mischpapier) berechnen.

$$S = \frac{\text{Fixkosten}}{\text{Mengen an sortiertem Material}} = \frac{63.357\text{€}}{1.638\text{ t}} = 38,68\text{ €/t}$$

Für die Menge an erzeugtem Mischpapier wird der Wert aus dem Zukunftsszenario eingesetzt. Zu den Sortierkosten kommen noch die Kosten für den Transport und die Manipulationskosten je Tonne Mischpapier:

$$S = 38,68\text{ €/t} + 16\text{ €/t} + 3,5\text{ €/t} = 58,18\text{ €/t}$$

Die Gewinnung einer Tonne Mischpapier mittels Nahinfrarotsortierung von Gewerbeabfall verursacht Sortierkosten von etwa 58 €. Im Durchschnitt werden in Papier-Sortieranlagen Sortierkosten von 25 €/t erreicht. [25]

7.5.3 Berechnung des Gewinns

Der Erlös (E) für eine Tonne Mischpapier wurde bereits in Kapitel 7.4 festgelegt. Normalerweise liegt der Verkaufspreis zwischen 77-120 €/t. Für die Kalkulation der NIR-Sortiereinheit wird vom niedrigsten Preis ausgegangen.

$$\text{Gewinn} = E - S = 77\text{ €/t} - 58,18\text{ €/t} = 18,82\text{ €/t}$$

Die vereinfachte Durchführung der Kalkulation ergibt einen Gewinn von etwa 18,82 €/t aussortiertem Mischpapier. Bei einer Auswurfmenge von rund 1.638 t/a ergibt das einen Jahresgewinn von etwa 30.827 €. Berücksichtigt man die Zuzahlungen je Tonne Gewerbeabfall die sonst in die thermische Verwertung gehen würden (ca. 60 €/t), ergibt sich ein Ersparnis von 98.280 €.

7.5.4 Amortisationsdauer

Die Amortisationsdauer (t_a) gibt die Zeit an, in der die Anschaffungsausgaben oder der Kapitaleinsatz einer Investition wiedergewonnen, also amortisiert werden kann. Sie wird vereinfacht wie folgt berechnet:

$$t_a = \frac{\text{Anschaffungskosten}}{\text{Gewinn}}$$

Im Falle der Nachrüstung der Splittinganlage für Gewerbeabfälle mit einer NIR-Sortiereinheit betragen die Anschaffungskosten 350.000 €. Der jährliche Vorteil beträgt etwa 129.100 €/a. Daraus ergibt sich vereinfacht eine Amortisationsdauer von 2,7 Jahren.

8 Diskussion & Fazit

In diesem Kapitel werden abschließend einige relevante Themen dieser Masterarbeit diskutiert. Zuerst wird die Problematik bei der Sortierung von Gewerbeabfall mittels Nahinfrarottechnik beleuchtet. Weiters wird die stoffliche Verwertung der Wertstoffe, die Optimierung der Sortierung und die geplante NIR-Sortiereinheit in Bezug auf ihre zukünftige Entwicklung betrachtet. Abschließend wird auf die Frage der Wirtschaftlichkeit für eine Abtrennung von Kunststoffen in der NIR-Sortiereinheit eingegangen.

8.1 Mögliche Probleme bei der NIR-Sortierung von Gewerbeabfall

Abfall, der im Gewerbe und gewerbeähnlichen Einrichtungen anfällt, hat in den meisten Fällen hausmüllähnlichen Charakter. Zu seinen Inhaltstoffen zählen u.a. Papier, Glas, Kunststoffe und Metalle, die als Wertstoffe rückgewonnen werden können. In den meisten Fällen wird Gewerbeabfall einer thermischen oder mechanisch-biologischen Behandlung unterzogen. Der Einsatz von Abfällen in einer geeigneten Verwertung ist laut Abfallrahmenrichtlinie jedoch einer Beseitigung bzw. Behandlung vor der Deponierung vorzuziehen, da durch eine Beseitigung die enthaltenen Wertstoffe verloren gehen. Die komplexe und sich ändernde Zusammensetzung erschwert jedoch eine geeignete Aufbereitung für den Einsatz in einer stofflichen Verwertung.

Ein weiterer wichtiger Punkt ist die Art der Sammlung von Gewerbeabfall. Durch eine getrennte Sammlung bereits am Anfallort können wertstoffreiche Fraktionen leicht wiedergewonnen und einer geeigneten Verwertung zugeführt werden. Bei einer gemischten Sammlung muss der Gewerbeabfall erst entsprechend aufbereitet und sortiert werden um verwertbare Fraktionen zu erhalten.

Die früher angewandte manuelle Sortiertechnik (Klaubung) wurde von automatisch arbeitenden Systemen abgelöst, da diese u.a. eine größere Durchsatzleistung erlauben. Es gibt viele automatisch arbeitende optische Sortiertechniken, die in unterschiedlichen Bereichen (Recycling, Lebensmittel, Medizin etc.) Anwendung finden. Mithilfe der optischen NIR-Sortiertechnik können verschiedene Wertstoffe berührungslos, voll automatisch und in Echtzeit aus dem Abfallstrom abgetrennt werden. Die NIR-Sortiertechnik wird in vielen Bereichen zur Sortierung von Kunststoffen, Glas, Mineralien, Papier und zum Teil auch Elektronikschrott angewandt. Im Zuge der durchgeführten Großversuche wurde die Anwendbarkeit in Bezug auf die Sortierung von Gewerbeabfall untersucht.

Das Problem bei der NIR-Technologie ist die Erkennung von dunklen und stark verschmutzten Objekten. Sie können im Abfallstrom aufgrund minimaler Strahlungsabsorption zum Teil nicht detektiert und abgetrennt werden. Das Sortierergebnis wird verfälscht, da eine optische Unterscheidung der Bestandteile erschwert wird. Eine Möglichkeit der Reinigung des Gewerbeabfalls wäre eine vorhergeschaltete nasse Aufbereitung (Wäscher). Der Nachteil dabei ist jedoch der Anfall einer nassen, schweren Abfallfraktion und große Mengen an Abwasser. Ebenso bleibt der Anteil schwarzer Objekte

im Abfallstrom trotz einer nassen Reinigungsbehandlung unverändert. Ein weiteres Problem sind Abfallobjekte, deren Oberflächen durch z.B. Lack und Etiketten verunreinigt sind. Aufgrund der geringen Eindringtiefe der NIR-Strahlung kann das Grundmaterial nicht erkannt werden. Eine Abtrennung dieser Oberflächenstoffe durch Lösemittel wäre aufgrund der zusätzlich benötigten Verfahrensschritte und zusätzlichen Kosten unwirtschaftlich.

Der in den Großversuchen eingesetzte Gewerbeabfall durchlief eine trockene Aufbereitung mit Zerkleinerung und Störstoffbefreiung. Für die Abtrennung von PPK mittels NIR-Sortierung ist dies ausreichend. Der geringe Anteil an nicht detektierbaren schwarzen Objekten ist dabei zu vernachlässigen.

8.2 Optimierung der Sortierung als Basis zur stofflichen Verwertung von Wertstoffen

Der in der Splittinganlage in Wien/Oberlaa eingesetzte Gewerbeabfall enthält im Jahresdurchschnitt etwa 18 % Papier, Pappe und Karton und rund 37 % Kunststoffe. Das bedeutet, dass mehr als die Hälfte aus stofflich verwertbaren Altstoffen besteht. Das große Wertstoffpotential dieser Abfallfraktion führte zur Durchführung von Versuchen, in denen speziell die Abtrennung eines biogenen Anteils (PPK+Holz) und das Ausbringen von Kunststoffen (PVC und PE) mittels NIR-Sortiertechnik untersucht wurden.

Bei der Abtrennung von Kunststoffen aus dem Gewerbeabfallstrom erhielt man für beide Fraktionen (Hoch- und Mittelkalorik) im Zuge der im Kapitel 3 beschriebenen Großversuche ein unzureichendes Ergebnis. Die Störstoffanteile in den aussortierten PVC- und PE-Fraktionen waren zu groß um diese direkt einer stofflichen Verwertung zuzuführen. Die Ergebnisse aus der Abtrennung des biogenen Anteils (PPK+Holz) waren um einiges vielversprechender, da die Sortenreinheit des biogenen Anteils aus der Hochkalorik rund 60 % erreichte. Trotz des guten Ergebnisses ist der Anteil der Störstoffe für eine stoffliche Verwertung als Mischpapier noch immer zu groß. In der geplanten NIR-Sortiereinheit sollen jedoch beide Auswurfractionen, biogen und Kunststoffe, nochmals genauer untersucht werden um deren Sortenreinheiten im Ausbringen zu steigern.

Weitere Untersuchungen zur besseren Abtrennung von PPK mittels NIR-Sortiertechnik sind sinnvoll, da die technischen Grenzen der NIR-Technik in diesem Bereich noch nicht ausgeschöpft sind. Eines der Ziele dieser Untersuchungen soll die Optimierung der Sorter-Parameter und die Verbesserung der Auswurfkriterien durch genauere Anpassungen und Verfeinerungen sein. Ebenso spielt die Aufgabe des Materials eine wichtige Rolle, da eine gute Vereinzelnung eine gute Erkennung der Objekte und somit einen reineren Auswurf garantiert. Die Optimierung weiterer technischer und sensorischer Parameter (Bandgeschwindigkeit, Zeitpunkt und Ort des Druckluftstoßes, Empfindlichkeit etc.) hängen mit der Sortierleistung und dem Sortierergebnis direkt zusammen. Nur durch die optimale Kombination der Einstellungen können marktfähige Sekundärrohstoffe aus Abfällen gewonnen werden.

8.3 NIR-Sortiereinheit: Planung und Entwicklung

Im Jahr 2011 ist die Erweiterung der Splittinganlage in Wien/Oberlaa um eine NIR-Sortiereinheit geplant. Die neue Anlage soll neben der Herstellung von heizwertreichen Fraktionen (Mittel- und Hochkalorik) auch Wertstoffe aus der hochkalorischen Linie des Gewerbeabfalls abtrennen. Diese Wertstoffe, darunter Papier, Pappe und Karton und Kunststoffe, sollen in eine stoffliche Verwertung gehen. Um den Betrieb der NIR-Sortiereinheit hinsichtlich ihrer Wirtschaftlichkeit zu verbessern, sind noch weitere Versuche zur Steigerung des Ausbringens unter Gewährleistung von hohen Reinheiten der sortierten Fraktionen durchzuführen. Aufbauend auf diese Ergebnisse sind dann die Parameter des Sorters für die verschiedenen auszuschleusenden Wertstofffraktionen so anzupassen, dass die Sortierleistung kontinuierlich verbessert wird.

8.3.1 Ausschleusung von Papier, Pappe, Karton und Holz

Im vorherigen Kapitel 7 wurde die Abtrennung von PPK aus dem Gewerbeabfallstrom bereits genauer betrachtet und auch der Einsatz der Fraktion als Mischpapier wirtschaftlich beleuchtet. Die Berechnung der Kalkulation erfolgt dabei auf Basis des Zukunftsszenarios bei hoher Sortenreinheit und optimierter Ausbringungsrate für die Fraktion PPK. Die Ergebnisse für den biogenen Anteil (PPK+Holz) aus den Großversuchen lagen jedoch deutlich darunter. Mit einer Sortenreinheit von 60 % des biogenen Anteils ist eine Verwertung als Mischpapier laut CEPI-Liste nicht möglich. Ebenso ist ein max. Anteil von 2,5 % an Störstoffen einzuhalten, zu denen jedoch auch Holz zählt, das in den Großversuchen im biogenen Anteil enthalten ist. Die Erfassung von kleinen Hölzern (z.B. Späne) getrennt von PPK mittels Nahinfrarottechnik ist derzeit aufgrund der sehr ähnlichen Spektren technisch noch nicht möglich. Der NIR-Sensor kann beide Materialarten aufgrund des ähnlichen Faseraufbaus nur schwer voneinander unterscheiden. Aus diesem Grund enthält die aussortierte PPK-Fraktion auch einen geringen Anteil an Holz, der nicht näher bestimmt wurde. Dieser Bestandteil könnte in Zukunft die Qualität des Mischpapiers negativ beeinflussen. Weitere Versuche mit der NIR-Sortiereinheit werden zeigen, ob die Parameter der Sortiermaschine so weitgehend optimiert werden können, dass auch Holz von PPK differenziert werden kann. Dies würde zu reineren PPK-Auswürfen führen. Daraus resultiert eine Steigerung der Sortenreinheit von PPK von derzeit rund 54 % aus den Großversuchen auf 80 % oder sogar 90 %. Werden diese Reinheiten des PPK-Auswurfs erreicht, kann dieser Strom nach Durchmischung mit anderen am Standort anfallenden Mischpapierfraktionen als Mischpapier an einen Betrieb zur weiteren stofflichen Verwertung weiterverkauft werden.

Wie in Kapitel 7.5 gezeigt, ist die Abtrennung von Mischpapier aus Gewerbeabfall mittels Nahinfrarot-Sortiertechnik wirtschaftlich sinnvoll. Der Preis für Mischpapier wird in den folgenden Jahren stagnieren bis geringfügig steigen und im Bereich von 75-80 €/t liegen. Die Sortierkosten pro Tonne Mischpapier bleiben in etwa über die Zeit gesehen gleich und werden sich dem Ergebnis aus der Kalkulation annähern. Da die Anlage bereits als Splittinganlage betrieben wird und die Sortierung eine weitere Funktion darstellt, ist der

Ausbau auf jeden Fall sinnvoll, da die im Gewerbeabfall enthaltenen Wertstoffe bei jetziger Betriebsführung sonst in die thermische Verwertung gehen. Durch die Sortierung gewinnt man recycelbare Altstoffe, die im ökologischen Sinn einer Verwertung vor einer Beseitigung zugeführt werden und nebenbei wird auch noch ein wirtschaftlicher Nutzen erzielt.

Im Zuge der Nachrüstung eines NIR-Sortieraggregats bei der Splittinganlage für Gewerbeabfälle ist nach weiteren Versuchstrecken auch die Abtrennung von ausgewählten Kunststofffraktionen geplant. Die Frage der Wirtschaftlichkeit der Ausschleusung von Altkunststoffen wird im folgenden Kapitel diskutiert.

8.3.2 Ausschleusung von Kunststoffen

Neben dem Betrieb der NIR-Sortiereinheit zur Abtrennung von Mischpapier, sollen auch die Möglichkeiten der Sortierung von Kunststoffen genauer untersucht werden. Aus den Großversuchen ging hervor, dass die Erkennung der Kunststoffe im Abfallstrom nicht zu den gewünschten Ergebnissen führte. Sowohl bei der Mittel- als auch bei der Hochkalorik erreichten die Kunststoffanteile im Kunststoff-Auswurf nie mehr als 60 %. Dies ist sicherlich auch auf die Konfiguration der Sortieranlage zur Abtrennung von Hohlkörpern aus dem Abfallstrom zurückzuführen. Eine stoffliche Verwertung der Kunststoffe mit dieser vergleichsweise geringen Sortenreinheit ist nicht möglich, da in der Regel nur sehr geringe Störstoffanteile toleriert werden. Die schlechten Ergebnisse der NIR-Sortierung von Kunststoffen im Großversuch können, wie bereits vorher erwähnt, viele verschiedene Ursachen haben. Die Materialaufgabe (Vereinzelnung), der Verschmutzungsgrad und dunkle Materialien, die Oberfläche (Etiketten), Fehlwürfe (Anhaftungen, Flugverhalten durch Druckluftstöße) etc. sind nur einige mögliche Störfaktoren. Auch wenn man diese Probleme in den Griff bekommt, müssen noch immer die einzelnen Kunststoffsorten (wie z.B. PE) genau erkannt und in einer sortenreinen Fraktion von mind. 99 % abgetrennt werden. Obwohl die Kunststoffsorten verschiedene Spektren besitzen, lassen sie sich aufgrund von Verschmutzungen bei bestimmten Wellenlängen nur schwer voneinander unterscheiden. Wie bereits in Kapitel 8.1 erwähnt, wären nasse Aufbereitungsverfahren möglich. Die Frage hierbei ist, wie weit eine solche aufwendige Aufbereitung das Sortierergebnis positiv beeinflusst. Weitere Versuche zur Ausschleusung von reineren Kunststofffraktionen sind in Planung.

Die NIR-Sortiertechnik hat sich bereits bei der Kunststoffhohlkörpersortierung bewährt. Aufgrund der komplexen Zusammensetzung des Gewerbeabfalls ist es jedoch schwierig diese Sortenreinheiten für Kunststoffe mittels NIR-Technik zu erreichen bzw. zu garantieren. Eine Steigerung der Sortierleistung durch Erkenntnisse aus weiteren Versuchen ist absehbar. Jedoch ist eine wirtschaftliche Abtrennung der Kunststoffabfälle aus Gewerbeabfall für den Einsatz in einer stofflichen Verwertung rein durch NIR-Sortierung nach dem derzeitigen Stand der Technik noch nicht möglich.

9 Zusammenfassung

Kapitel 1 beschreibt die rechtliche und wirtschaftliche Situation der stofflichen Verwertung in Österreich. Danach werden die Problemstellung und die Zielsetzung dieser Masterarbeit definiert.

Kapitel 2 befasst sich mit den Grundlagen, dem Stand der Technik und den Einsatzgebieten der Nahinfrarot-Sortiertechnologie. Bevor auf die Technik der Nahinfrarotsortierung eingegangen wird, beleuchtet der erste Teil des Kapitels die Theorie hinter der Nahinfrarotspektroskopie. Danach wird die NIR-Sortiertechnik mit ihren Vor- und Nachteilen erklärt. Der Stand der Technik, die Entwicklung und der Aufbau eines sensorgestützten Sortierers, sowie die im Großversuch eingesetzte Sortiermaschine werden beschrieben. Ebenso werden die Einsatzgebiete der Nahinfrarot-Sortierung für verschiedene Aufgaben in unterschiedlichen Branchen dargestellt und neue Entwicklungen in diesen Bereichen beleuchtet.

Der Aufbau und die Durchführung der Großversuche für eine NIR-Sortierung von Gewerbeabfällen werden in Kapitel 3 beschrieben. In einer Sortieranlage für Kunststoff-Hohlkörper der SDAG wurde die Abtrennung von Kunststoffen und Papier, Pappe und Karton mittels Nahinfrarottechnologie untersucht. Es wurden Versuche mit hoch- und mittelkalorischem Gewerbeabfall aus einer Splittinganlage durchgeführt und dokumentiert. Danach erfolgte eine manuelle Sortierung der abgetrennten Fraktionen.

Kapitel 4 beschreibt die Ergebnisse der manuellen Sortieranalyse aus den Großversuchen. Die Auswürfe der Hoch- und Mittelkalorik werden auf ihre Zusammensetzung tabellarisch und graphisch dargestellt. Anschließend erfolgt eine Interpretation der Ergebnisse, in der die Möglichkeiten der Verwertung einzelner Auswürfe aufgezeigt werden.

Die NIR-Sortierung von Gewerbeabfall im Großversuch lieferte Kunststoff- und PPK-Fraktionen, die in Kapitel 5 auf ihre Wirtschaftlichkeit untersucht werden. Zuerst wird ein Überblick des Sekundärrohstoffmarkts allgemein gegeben. Danach wird der Altpapier- und Altkunststoffmarkt durchleuchtet. Zur Abschätzung der Erlöse werden im Fall von Altpapier der Wiesbadener Index und die Preisentwicklungen des EUWIDs herangezogen.

Um die Abtrennung von Wertstoffen aus Gewerbeabfällen mittels NIR-Technik genauer untersuchen zu können, ist die Erweiterung der bestehenden Splittinganlage in Wien/Oberlaa um eine NIR-Sortiereinheit geplant. In Kapitel 6 wird der Aufbau und Ablauf der geplanten Versuchsanlage beschrieben. Der Fokus des Versuchsbetriebs liegt dabei bei der Abtrennung von PPK. Der eingesetzte Gewerbeabfall sowie das aussortierte Mischpapier wird auf Menge und Zusammensetzung untersucht. Für die spätere Wirtschaftlichkeitsberechnung der NIR-Sortiereinheit wird ein Zukunftsszenario in Form einer mengenmäßigen Darstellung erstellt.

Kapitel 7 umfasst die gesamte Kalkulation der Nachrüstung einer Sortiereinheit in Wien. Die Kosten für Ressourcen, Anlagekosten, Transport- und Verarbeitungskosten werden ermittelt um die anfallenden Sortierkosten je Tonne aussortiertem Mischpapier abschätzen zu können. Anhand der Mengen und dem Verkaufspreis des Mischpapiers lässt sich der Erlös

errechnen der nach Abzug der Kosten zum Gewinn und somit zur Amortisationsdauer der Anlagennachrüstung führt.

In Kapitel 8 werden die Ergebnisse der Arbeit diskutiert. Mögliche Probleme bei der Sortierung von Gewerbeabfall und die Abtrennung der Fraktionen PPK+Holz und Kunststoffe in der geplanten NIR-Sortiereinheit werden genauer betrachtet.

10 Verzeichnisse

10.1 Literatur

- [1] Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft (Hrsg.): 20 Jahre AWG - Ergebnisse und Ausblick zur österreichischen Abfallwirtschaft. Wien, 2010.
- [2] BGBl. I Nr. 115/2009: Bundesgesetz über eine nachhaltige Abfallwirtschaft (AWG 2002), in der Fassung von BGBl. I Nr. 9/2011, Februar 2011.
- [3] Wirtschaftskammer Österreich: Neue Abfallrahmenrichtlinie verlautbart. Online im WWW unter URL: portal.wko.at. Stand. 27.10.2010. – Website.
- [4] K. Tiltmann.: Recyclingpraxis Kunststoffe. In: Der Abfallberater für Industrie, Handel und Kommunen, Kapitel 7.4. Köln: Verlag TÜV Rheinland GmbH, 1996. - ISBN: 3-8249-0069-6.
- [5] Infrazytic GmbH: Elektromagnetisches Spektrum. Online im WWW unter URL: www.infrazytic.de/bilder/oel/spektrum_NG.gif. Pfad: Produkte – Ölsensor – elektromagnetisches Spektrum. Stand: 11.10.2010.
- [6] J. Böcker: Spektroskopie: Instrumentelle Analytik mit Atom- und Molekülspektrometrie. Würzburg: Vogel Buchverlag, 1997.
- [7] T. Pretz: Grundlagen der Aufbereitung fester Abfallstoffe und Technologien des Recyclings II – Optische Sortierung. Aachen: Institut für Aufbereitung und Recycling fester Abfallstoffe Aachen.
- [8] H.J. Gschaider; R. Huber: Neue Entwicklungen in der optischen Sortierung. In: BHM, 153, Heft 6, 2008.
- [9] Saubermacher Dienstleistungs AG: Förderungsansuchen - Basisprogramm: Nah-Infrarotsortierung von gemischten aufbereiteten Abfällen. 2010.
- [10] T. Pretz; J. Julius: Stand der Technik und Entwicklung bei der berührungslosen Sortierung von Abfällen. In: Österreichische Wasser- und Abfallwirtschaft, Heft 07-08, 2008.
- [11] A. Kubias: Simulation von Sortieranlagen. Koblenz: Institut für Computervisualistik, 2005.
- [12] A.Kulcke, P. Kerschhaggl (Hrsg.): High speed NIR Spectral Imaging in Recycling Applications. Raaba: EVK DI Kerschhaggl GmbH.
- [13] H. Wotruba: Stand der Technik der sensorgestützten Sortierung. In: BHM, 153., Heft 6, 2008.

- [14] M. Berhofer: REDWAVE - optische Sortiertechnik. Gleisdorf: BT-Wolfgang Binder GmbH, 2009. - Präsentation.
- [15] G. Kreindl, A. Curtis: Einsatz von NIR-Technologie zur Sortierung von gemischten Abfällen. In: Tagungsband zur 9. Depotech Konferenz, Montanuniversität Leoben. Essen: VGE Verlag GmbH, 2008.
- [16] BT-Wolfgang Binder GmbH: Betriebsanleitung REDWAVE 2400 NIR/C-Papiersortierung.
- [17] BT-Wolfgang Binder GmbH: Betriebsanleitung REDWAVE 2000 NIR 2-Weg Kunststoffsortierung, Ausgabe 1.1. 2007.
- [18] S. Strubel: Sortierung von gemischten Gewerbemüll zur Abtrennung von Kunststoff- und Papierabfällen. Leoben: Institut für Nachhaltige Abfallwirtschaft und Entsorgungstechnik, 2010. - Bakkalaureatsarbeit (nicht veröffentlicht).
- [19] Gespräch mit A. Wobik am 18.03.2011.
- [20] EVK DI Kerschhagl GmbH (Hrsg.): Technologien - bildgebende Spektroskopie. Online im WWW unter URL: www.evk.co.at. Pfad: Technologien. Stand: 19.07.2010. - Website.
- [21] L. Nguyen; E. Margalith: Re-inventing spectral imaging. Carlsbad: Orotek Inc. Online im WWW unter URL: www.opotek.com. Pfad: Products. Stand: 21.11.2010. - Präsentation.
- [22] CTR Carinthian Tech Research AG (Hrsg.): F&E für Life Science - Optische Systemtechnik. Villach. Online im WWW unter URL: www.gesundheits-cluster.at. Stand: 21.11.2010.
- [23] Besprechung mit A.Curtis und G.Kreindl am 09.03.2011.
- [24] European Recovered Paper Council: European declaration on paper recycling 2006-2010. Amsterdam, 2010. Monitoring Report.
- [25] Besprechung mit A. Curtis, A. Suppan und G. Kreindl am 09.12.2010.
- [26] H. Bardt: Die gesamtwirtschaftliche Bedeutung von Sekundärrohstoffen. In: IW-Trends, Heft 3, Köln, 2006.
- [27] Umweltbundesamt (Hrsg.): Bericht zu den Auswirkungen von REACH auf Recycling/Verwertung. Dessau, 2008.
- [28] BGBl. Nr. 648/1996 : Verpackungsverordnung 1996, in der Fassung von BGBl. II Nr. 364/2006, November 2010.

- [29] W. Schirz: Sekundärrohstoffmärkte - Entwicklung des letzten Jahres und Ausblick. Hörsching: AVE Österreich GmbH. Fachverbandstag WKÖ, 2009.
- [30] Austropapier - Vereinigung der Österreichischen Papierindustrie (Hrsg.): Jahresbericht 2009. Wien: AUSTROPAPIER Zeitschriftenverlag GmbH, 2009.
- [31] Austropapier – Vereinigung der Österreichischen Papierindustrie (Hrsg.): Die österreichische Papierindustrie - Ergebnisse 2008, Status 2009, Herausforderungen 2010. Wien, 2009.
- [32] Verband der schweizerischen Zellstoff-, Papier-, und Kartonindustrie: Altpapiersorten gemäß CEN European Standard EN 643. Online im WWW unter URL: www.zpk.ch. Pfad: Infos zur Branche – Altpapiersorten. Stand: 08.02.2011.
- [33] Europäische Wirtschafts GmbH (Hrsg): EUWID - Fachzeitschrift. Ausgaben 01/2007-02/2011, Gernsbach, 2011.
- [34] Statistisches Bundesamt (Hrsg.): Index der Großhandelsverkaufspreise - Altmetall und Altpapier. Wiesbaden, November 2010.
- [35] E-Mail von Alice Suppan. Erhalten am 08.11.2010 und 08.02.2011.
- [36] Plastics Europe (Hrsg.): Plastics - The Facts 2010- an analysis of european plastics production, demand and recovery 2009. Brüssel, 2010.
- [37] BGBl. II Nr. 39/2008: Verordnung des Bundesministers für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft über Deponien (Deponieverordnung 2008) in der Fassung von BGBl. II Nr. 178/2010, Februar 2010.
- [38] Amt für Veröffentlichungen der Europäischen Union: Eurostat - Datenbank. Luxemburg. Online im WWW unter URL: epp.eurostat.ec.europa.eu. Stand: 23.02.2011.
- [39] Bundesminister für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft: Bundes-Abfallwirtschaftsplan 2011 - Vorgaben und Maßnahmen. - Entwurf.
- [40] E-Mail von A. Curtis. Erhalten am 28.09.2010.
- [41] BT-Wolfgang Binder GmbH: Angebot für eine REDWAVE 2800 NIR V64 2 Weg. Erhalten am 16.11.2010.
- [42] E-Mail von A. Wobik. Erhalten am 10.03.2011.
- [43] Homepage der Energie Control GmbH. Online im WWW unter URL: www.e-control.at. Pfad: Industrie&Gewerbe- Strom- Industriestrompreis. Stand: 16.11.2010. - Website

- [44] Otto Boge GmbH & Co. KG (Hrsg.): Kapitel 13 - Kosten der Druckluft. Bielefeld. Online im WWW unter URL: www.drucklufttechnik.de. Stand: 16.11.2010.
- [45] W. Winter; Baccini & Brunner: The Metabolism of the Anthroposphere. Berlin-Heidelberg-New York-Tokyo: Springer Verlag, 1991.

10.2 Abkürzungsverzeichnis

%	Prozent
€	Euro
<	kleiner als
>	größer als
Σ	Summe
§	Paragraph
°C	Grad Celcius
µm	Mikrometer
2D	zweidimensional
a	Jahr
Abs	Absatz
ABS	Acrylnitril-Butadien-Styrol
Afa	Absetzung für Abnutzung
AWG	Abfallwirtschaftsgesetz
BAWP	Bundesabfallwirtschaftsplan
BGBI	Bundesgesetzblatt
bzw.	beziehungsweise
C	Kohlenstoff
ca.	Zirka
cm	Zentimeter
CO	Container
E	Erlös
EG	Europäische Gemeinschaft
etc.	et cetera
Eurostat	statistisches Amt der europäischen Union
EUWID	Europäischer Wirtschaftsdienst
f	Faktor
Fa.	Firma
FIR	fernes Infrarot
GmbH	Gesellschaft mit beschränkter Haftung
GW	Gigawatt
h	Stunden
HDPE	High Density Polyethylen
Hz	Hertz

I	Indexpunkte
idF	in der Fassung
inkl.	inklusive
IR	Infrarot
k.A.	keine Angabe
kg	Kilogramm
kJ	Kilojoule
KS	Kunststoffe
kW	Kilowatt
kWh	Kilowattstunde
l	Liter
LDPE	low density polyethylen
m	Meter
m ³	Kubikmeter
Mio.	Millionen
MIR	mittleres Infrarot
MK	Mischkunststoffe
mm	Millimeter
N	Stickstoff
n	Anzahl
NIR	Nahinfrarot(-technik)
nm	Nanometer
Nr.	Nummer
O	Sauerstoff
p _{0i}	Preis der Firma im Basisjahr 0
PA	Polyamid
PC	Polykarbonate
PE	Polyethylen
PEPA	Mischkunststoff aus Polyethylen und Polyamid
PET	Polyethylenterephthalat
PMMA	Polymethylmethacrylat
PO	Polyoxymethylen (auch POM)
PP	Polypropylen
PPK	Papier, Pappe, Karton
PS	Polystyrol
p _{ti}	Preis der Firma im Berichtsmonat t
PUR	Polyurethane
PVC	Polyvinylchlorid
REACH	Registration, Evaluation, Authorisation and Restriction of Chemicals
s	Sekunde
S	Sortierkosten

SDAG	Saubermacher Dienstleistungs AG
t	Tonnen
t _a	Amortisationsdauer
TM	Trockenmasse
u.	und
UV	Ultraviolet
VIS	visible/sichtbar
VO	Verordnung
V-UV	Vakuum-Ultraviolet
z.B.	zum Beispiel
z.T.	zum Teil
γ	Gamma

10.3 Tabellen

Tabelle 1: Technische Daten einer NIR-Sortiermaschine	10
Tabelle 2: Sortierfraktionen	28
Tabelle 3: Parameter der REDWAVE NIR 2-Weg zur Sortierung von hochkalorischem Material	29
Tabelle 4: Probenmengen (entnommen und sortiert) und Output der Hochkalorik.....	33
Tabelle 5: Mittelkalorik-Parameter der REDWAVE NIR 2-Weg.....	35
Tabelle 6: Probenmengen (entnommen und sortiert) und Output der Mittelkalorik.....	39
Tabelle 7: Sortierergebnis Auswurf 1 (PVC) HK	41
Tabelle 8: Sortierergebnis Auswurf 2 (biogen) HK.....	42
Tabelle 9: Sortierergebnis Auswurf 3 (PE) HK.....	43
Tabelle 10: Sortierergebnis Durchlauf 3 (fossil) HK	45
Tabelle 11: Sortierergebnis Überkorn HK.....	46
Tabelle 12: Vergleich der Sortenreinheiten HK.....	49
Tabelle 13: Sortierergebnis Auswurf 1 (PVC) MK.....	50
Tabelle 14: Sortierergebnis Auswurf 2 (biogen) MK.....	51
Tabelle 15: Sortierergebnis Auswurf 3 (PE) MK	52
Tabelle 16: Sortierergebnis Durchlauf 3 (fossil) MK.....	53
Tabelle 17: Sortierergebnis Überkorn MK.....	54
Tabelle 18: Vergleich der Sortenreinheiten und Ausbringungsraten MK	56
Tabelle 19: Stoffliche Verwertungsquoten laut Verpackungsverordnung (BGBl. Nr. 648/1996 idF BGBl. II Nr. 364/2006)	58

Tabelle 20: Entwicklung der Mengen und Quoten von Altpapier in Österreich seit 1990.....	59
Tabelle 21: Einsatz von Altpapier in den Papiersortengruppen.....	62
Tabelle 22: Auszug aus der CEPI-Sortenliste für Altpapier.....	63
Tabelle 23: Wiesbadener Index für gemischtes Altpapier seit 2005.....	65
Tabelle 24: Ergebnis der Sortieranalyse der Hochkalorik (Jahresdurchschnitt)	79
Tabelle 25: Sortierfraktionen für Kunststoffanalyse Hochkalorik	81
Tabelle 26: Zusammensetzung der Kunststoffe 3D hell Hochkalorik	81
Tabelle 27: Zusammensetzung der Kunststoffe 2D hell Hochkalorik	82
Tabelle 28: Preisangebot NIR-Sortiermaschine	89
Tabelle 29: Instandhaltungskosten	89
Tabelle 30: Energiekosten NIR-Sortiermaschine	90
Tabelle 31: Energiekosten Fördertechnik	90
Tabelle 32: Personalkosten	90
Tabelle 33: Kosten für Druckluft	91
Tabelle 34: Jährliche Erlöse durch den Verkauf von Mischpapier	92
Tabelle 35: Berechnung der Fixkosten	92

10.4 Abbildungen

Abbildung 1: Fünfstufige Abfallhierarchie der Abfallrahmenrichtlinie 2008/98 EG.....	4
Abbildung 2: Elektromagnetisches Spektrum	7
Abbildung 3: Charakteristische Absorptionsbanden im Nahinfrarotbereich.....	8
Abbildung 4: Absorptionscharakteristika von Papier und relevanten Kunststoffen	9
Abbildung 5: Verfahrensprinzip der Nahinfrarot-Sortierung.....	10
Abbildung 6: Rinnensortiermaschine	14
Abbildung 7: Bandsortiermaschine	15
Abbildung 8: Fließschema einer NIR-Sortieranlage von Kunststoffen aus dem kommunalen Bereich	16
Abbildung 9: REDWAVE zur Kunststoffsortierung	17
Abbildung 10: REDWAVE zur Papiersortierung.....	18
Abbildung 11: Sortiermaschine REDWAVE NIR 2-Weg.....	19
Abbildung 12: Diverse Kunststoffspektren	20

Abbildung 13: Diverse Papierspektren.....	20
Abbildung 14: Empfindlichkeit null	21
Abbildung 15: Empfindlichkeit acht.....	22
Abbildung 16: Versuchsschema Hochkalorik.....	25
Abbildung 17: manuelle Aufgabe der Hochkalorik auf das Austragsband Sackaufreißer	26
Abbildung 18: Probenahmestelle Auswurf 1 (PVC), Förderband H254	27
Abbildung 19: Probenahmestelle Feinfraktion	27
Abbildung 20: Probenahmestelle Auswurf 2 (biogen), Förderband H214.....	27
Abbildung 21: Probenahmestelle Auswurf 3 (PE), Förderband H223.....	28
Abbildung 22: Dokumentation während der Probenahme von Durchlauf 3 (fossil).....	29
Abbildung 23: Kunststoffe 2D dunkel HK.....	30
Abbildung 24: Kunststoffe 2D hell HK.....	30
Abbildung 25: Kunststoffe 3D dunkel HK.....	31
Abbildung 26: Kunststoffe 3D hell HK.....	31
Abbildung 27: PPK HK	31
Abbildung 28: Holz HK	32
Abbildung 29: Verbunde HK	32
Abbildung 30: Sortierrest HK	32
Abbildung 31: Sonstiges HK.....	32
Abbildung 32: PET-Flaschen HK	33
Abbildung 33: Versuchsschema Mittelkalorik.....	34
Abbildung 34: Probe Auswurf 1 (PVC) MK	36
Abbildung 35: Probe Auswurf 2 (biogen) MK	36
Abbildung 36: Probe Auswurf 3 (PE) MK.....	36
Abbildung 37: Probe Durchlauf 3 (fossil) MK	36
Abbildung 38: Sortierstelle.....	36
Abbildung 39: Kunststoffe 2D dunkel MK	37
Abbildung 40: Kunststoffe 3D hell MK	37
Abbildung 41: Kunststoffe 2D hell MK	37
Abbildung 42: PPK MK.....	37
Abbildung 43: Sortierrest MK.....	38

Abbildung 44: Kunststoffe 3D dunkel MK	38
Abbildung 45: Holz MK.....	38
Abbildung 46: Inertstoffe MK	38
Abbildung 47: Verbunde MK.....	38
Abbildung 48: Metalle MK.....	38
Abbildung 49: Graphische Darstellung des Sortierergebnisses Auswurf 1 (PVC) HK	41
Abbildung 50: Graphische Darstellung des Sortierergebnisses Auswurf 2 (biogen) HK.....	43
Abbildung 51: Graphische Darstellung des Sortierergebnisses Auswurf 3 (PE) HK.....	44
Abbildung 52: Graphische Darstellung des Sortierergebnisses Durchlauf 3 (fossil) HK	45
Abbildung 53: Graphische Darstellung des Sortierergebnisses Überkorn HK.....	47
Abbildung 54: Graphische Darstellung des Sortierergebnisses Auswurf 1 (PVC) MK.....	51
Abbildung 55: Graphische Darstellung des Sortierergebnisses Auswurf 2 (biogen) MK.....	52
Abbildung 56: Graphische Darstellung des Sortierergebnisses Auswurf 3 (PE) MK	53
Abbildung 57: Graphische Darstellung des Sortierergebnisses Durchlauf 3 (fossil) MK.....	54
Abbildung 58: Graphische Darstellung des Sortierergebnisses Überkorn MK.....	55
Abbildung 59: Entwicklung der Altpapierquoten in Österreich seit 1990	60
Abbildung 60: Altpapier-Rücklaufquote europäischer Länder 2007	62
Abbildung 61: Graphische Darstellung des Wiesbadener Index seit 1999	66
Abbildung 62: Entwicklung der Erlöse für gemischtes Altpapier nach dem Wiesbadener Index auf Basis 2005 (durchschnittliche Jahreswerte in Euro)	67
Abbildung 63: Vergütung für gemischtes Altpapier nach Wiesbadener Index während der Wirtschaftskrise 2008/09 (Basisjahr 2005)	67
Abbildung 64: Preisentwicklung Altpapier seit 2007 nach EUWID	68
Abbildung 65: Europäische Marktanteile am Kunststoffsektor	69
Abbildung 66: Erzeugte Kunststoffsorten 2009.....	70
Abbildung 67: Verwertung von Kunststoffen in Europa (modifiziert)	71
Abbildung 68: Europaweiter Vergleich der Kunststoff-Verwertungsraten 2009 (modifiziert), (Hinweis: Rest auf 100 % = Deponierung).....	72
Abbildung 69: Kunststoffabfallaufkommen in Österreich in privaten Haushalten und allen Wirtschaftszweigen im Jahr 2008.....	73
Abbildung 70: Verwertung und Beseitigung von Verpackungskunststoffen in Österreich im Jahr 2008.....	74

Abbildung 71: Preisentwicklung der Altkunststoffe am Beispiel von PE post-user Ware nach EUWID.....	75
Abbildung 72: Anlagenschema SDAG Splittinganlage in Wien/Oberlaa inklusive NIR-Sortiereinheit.....	77
Abbildung 73: Zusammensetzung der Hochkalorik (Jahresdurchschnitt).....	79
Abbildung 74: Tragbares Infrarotspektrometer der Fa. MiRO	80
Abbildung 75: Graphische Darstellung der Kunststoffanalyse 3D hell Hochkalorik	81
Abbildung 76: Graphische Darstellung der Kunststoffanalyse 2D hell Hochkalorik	82
Abbildung 77: Mengenbilanz der Splittinganlage inklusive NIR-Sortiereinheit.....	84
Abbildung 78: Materialbilanz PPK	85
Abbildung 79: Zukunftsszenario der Splittinganlage Wien/Oberlaa inklusive NIR-Sortiereinheit.....	87

Anhang I

Mengenbilanzen der NIR-Sortieranlage Graz/Puchstraße aus dem Versuch Hochkalorik

Mengenbilanz des hochkalorischen Gewerbeabfalls

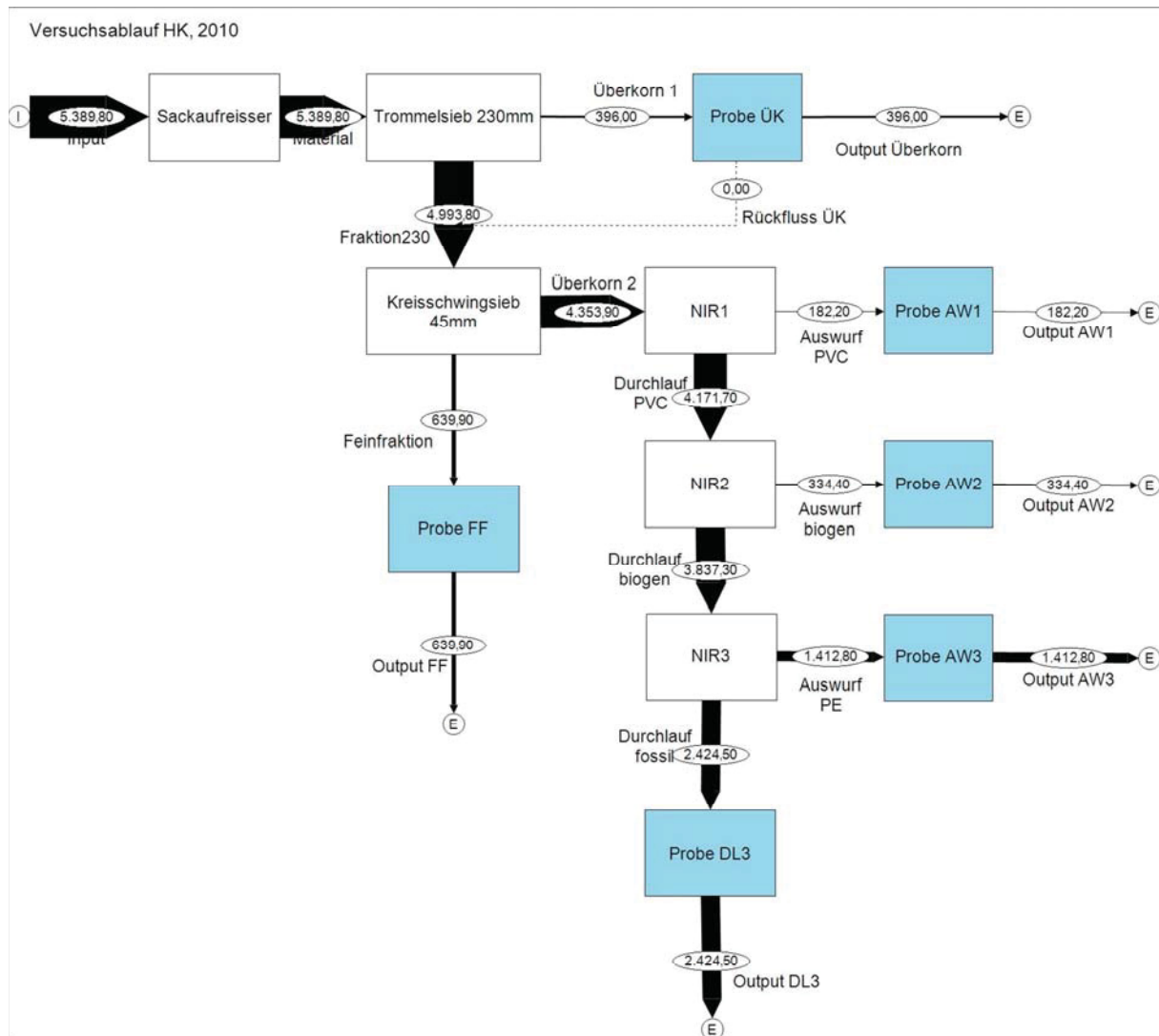


Abb. 1: Mengenbilanz des Versuchs Hochkalorik

Etwaige Materialverluste während des Versuchsbetriebs sind in dieser und den folgenden Bilanzen nicht berücksichtigt worden.

Die folgenden Abbildungen der Mengenbilanzen für Kunststoffe und des biogenen Anteils zeigen nur die relevanten Verfahrensschritte aus dem Versuch. Es werden nur die Anlagenteile der Nahinfrarot-Sortierung abgebildet.

Mengenbilanz der Kunststoffe aus dem Versuch Hochkalorik

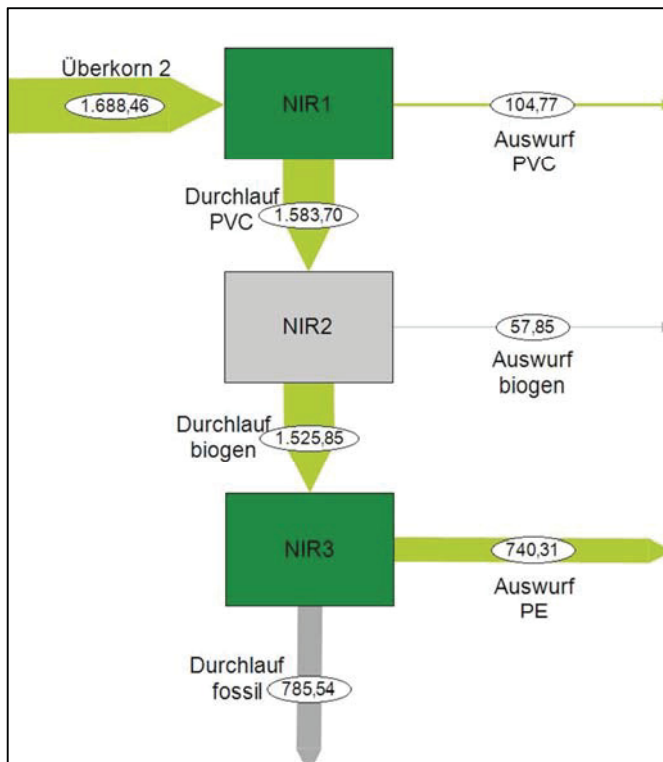


Abb. 2: Mengenbilanz der Kunststoffe HK

Mengenbilanz des biogenen Anteils aus dem Versuch Hochkalorik

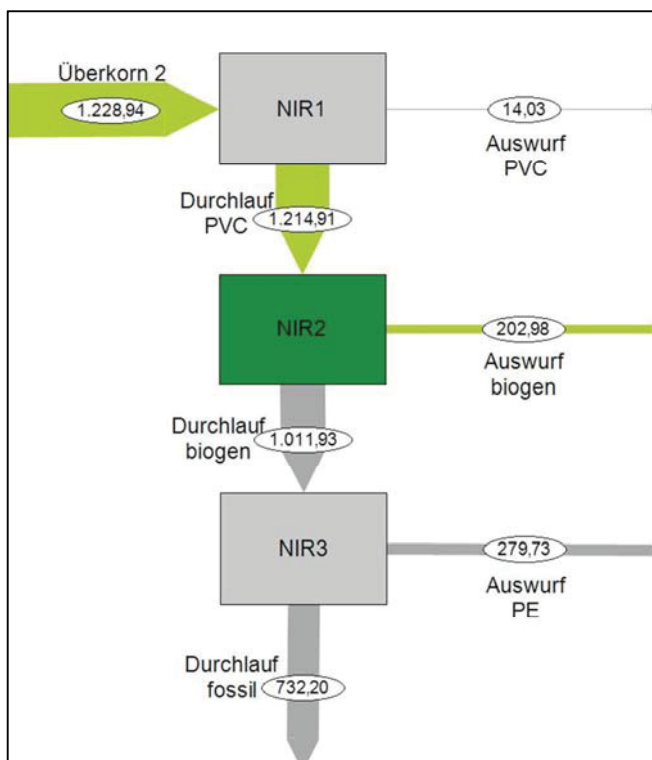


Abb. 3: Mengenbilanz des biogenen Anteils HK

Anhang II

Mengenbilanzen der NIR-Sortieranlage Graz/Puchstraße aus dem Versuch Mittelkalorik

Mengenbilanz des mittelkalorischen Gewerbeabfalls

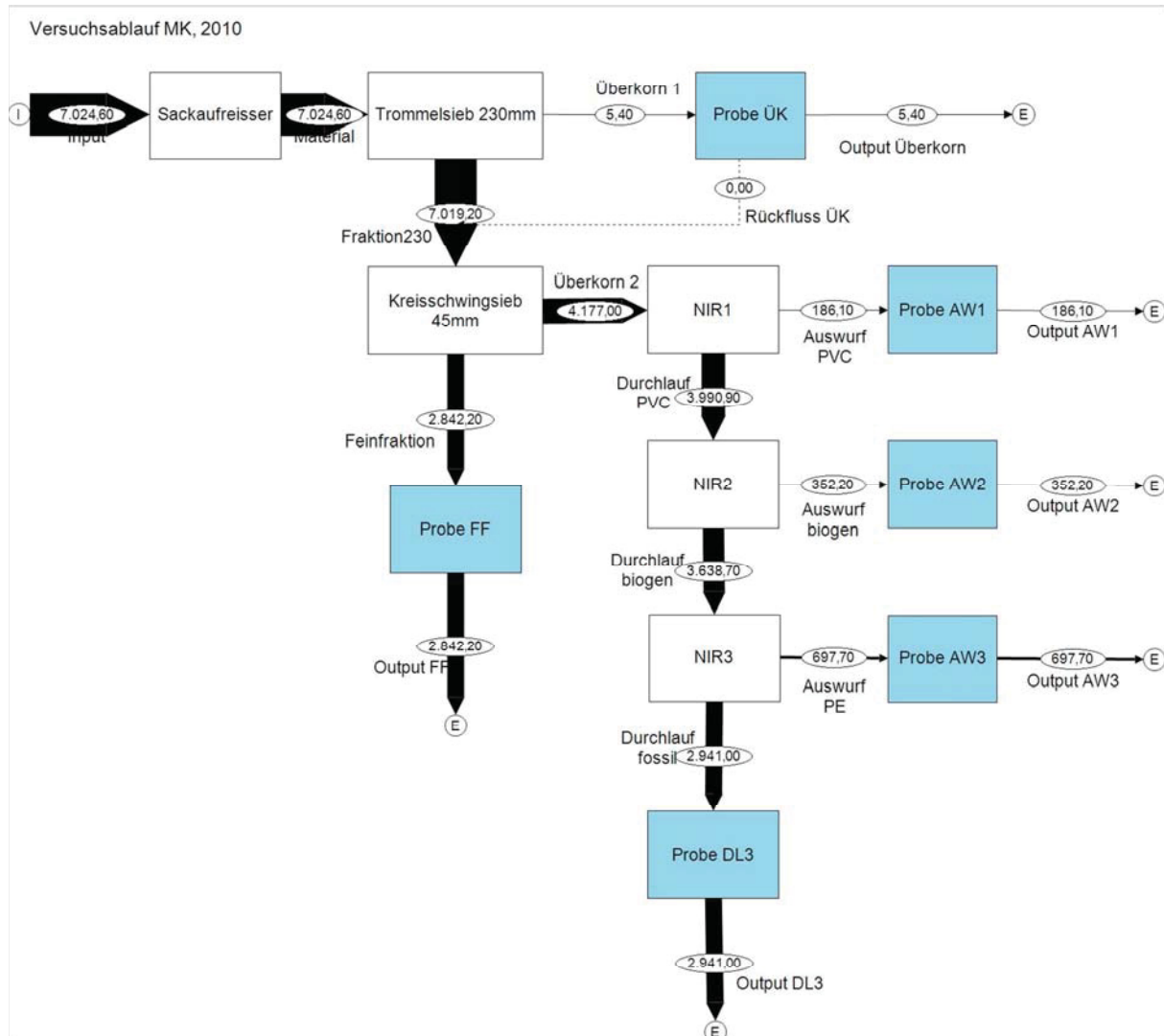


Abb. 4: Mengenbilanz des Versuchs Mittelkalorik

Etwaige Materialverluste während des Versuchsbetriebs sind in dieser und den folgenden Bilanzen nicht berücksichtigt worden.

Die folgenden Abbildungen der Mengenbilanzen der Kunststoffe und des biogenen Anteils zeigen nur relevante Verfahrensschritte des Versuchs. Es werden nur die Anlagenteile der Nahinfrarot-Sortierung abgebildet.

Mengenbilanz der Kunststoffe aus dem Versuch Mittelkalorik

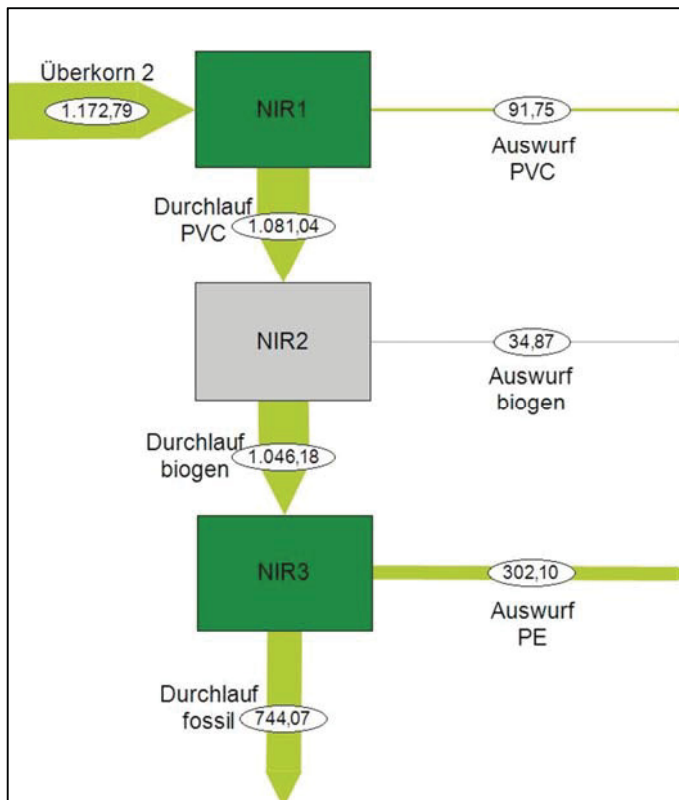


Abb. 5: Mengenbilanz der Kunststoffe MK

Mengenbilanz des biogenen Anteils aus dem Versuch Mittelkalorik

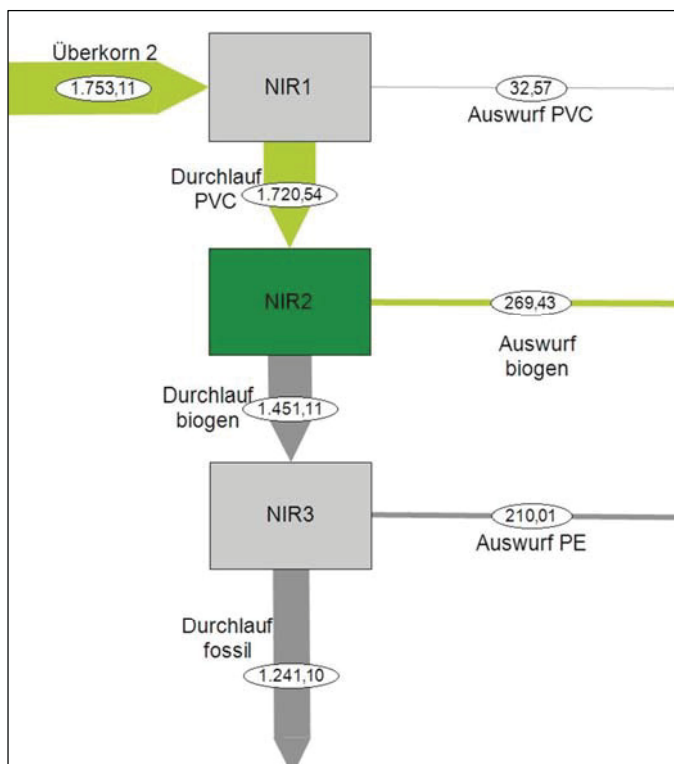


Abb. 6: Mengenbilanz des biogenen Anteils MK

Anhang III

Fotodokumentation der Laboranalyse „Zusammensetzung der Kunststoffe 2D und 3D hell Hochkalorik“

Die folgenden Abbildungen zeigen die Fotodokumentation der Sortierfraktionen der Kunststoffanalyse für die Kunststoffe (KS) 3D hell und Kunststoffe 2D hell der Hochkalorik.



Abb. 7: PE aus KS 3D hell



Abb. 8: PVC aus KS 3D hell



Abb. 9: PP aus KS 3D hell

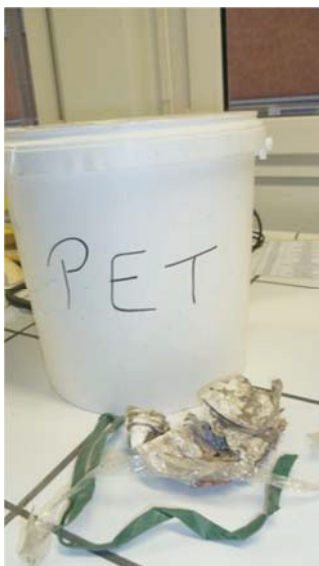


Abb. 10: PET aus KS 3D hell

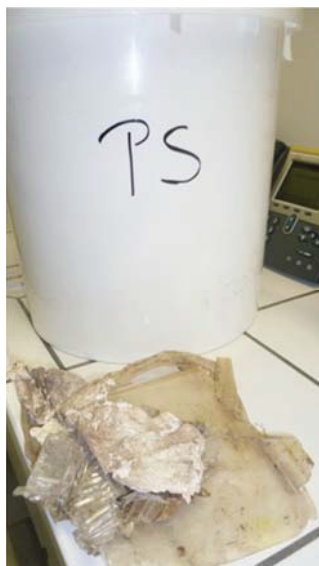


Abb. 11: PS aus KS 3D hell



Abb. 12: MK aus KS 3D hell

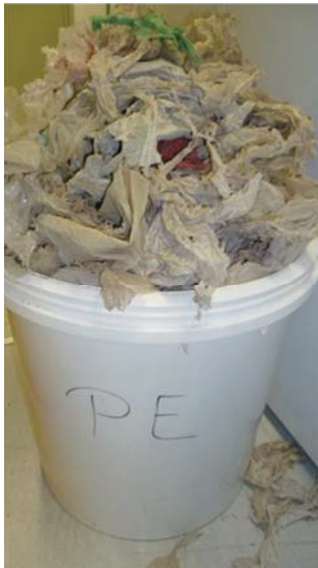


Abb. 13: PE aus KS 2D hell



Abb. 14: PP aus KS 2D hell

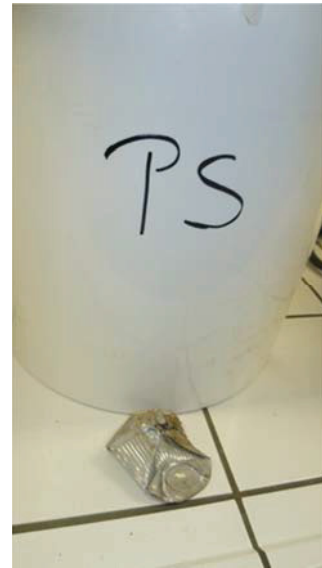


Abb. 15: PS aus KS 2D hell

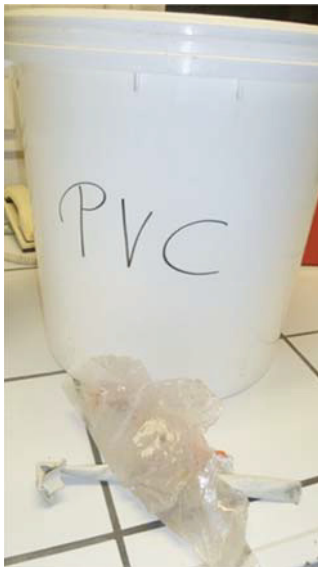


Abb. 16: PVC aus KS 2D hell

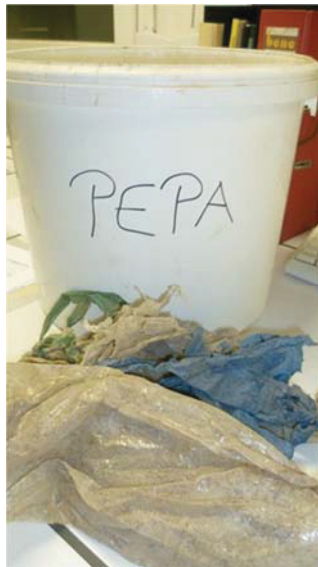


Abb. 17: PEPA aus KS 2D hell



Abb. 18: MK aus KS 2D hell

Anhang IV

Auszug aus dem Angebot für REDWAVE 2800 NIR V64 2-Weg der Fa. BT Wolfgang Binder



2. PREISZUSAMMENSTELLUNG

Pos.	Stk.	Benennung	Gewicht (to)	Preis [€]
010	1	REDWAVE 2800 NIR V64 2 Weg Optische Sortiermaschine mit NIR-Spektroskopie - 2800 mm Sortierbreite - hochentwickelte Bildverarbeitungs Hard- und Software - 64 Ausblasventile, 256 Ausblasdüsen - Steuerungs- und Bedienschrank mit Touchscreen	4,6	211.000,--
Fracht und Verpackung				
020	1	CPT-Fa. Saubermacher / Wien, gemäß Incoterms 2000	---	550,--
Montageüberwachung / Inbetriebnahme und Schulung				
030	1	Montageüberwachung, IBN des optischen Sortierers und Applikationsanpassung, Schulung des Betriebspersonals (1 Mann - 5 Tage)	---	5.800,--
GESAMTPREIS (€)			4.6	217.350,--

Anhang V

FLOWCHART

Hochkalorik
(>120 mm)

Sortierversuch
Graz/Puchstraße

Feinfraktion

640 kg

Überkorn

396 kg

Auswurf 1 (PVC)

182,2 kg

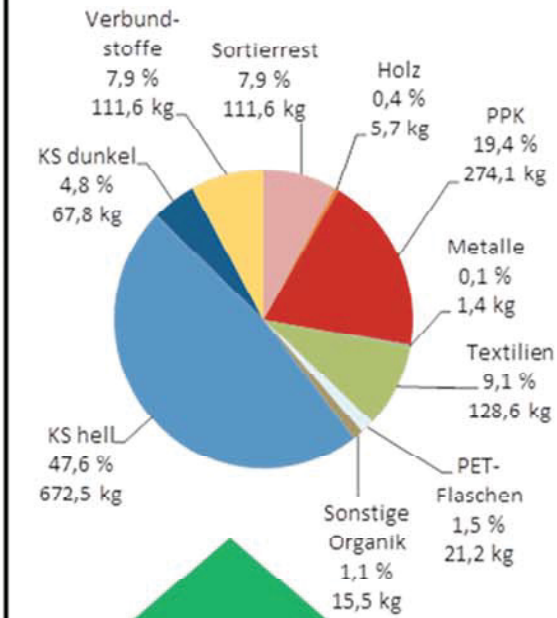
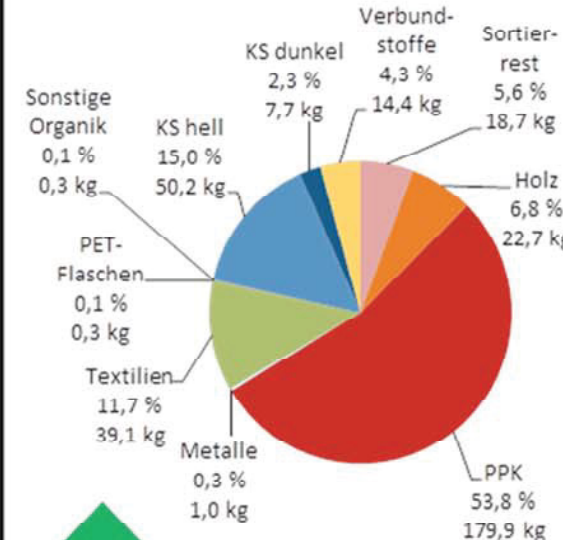
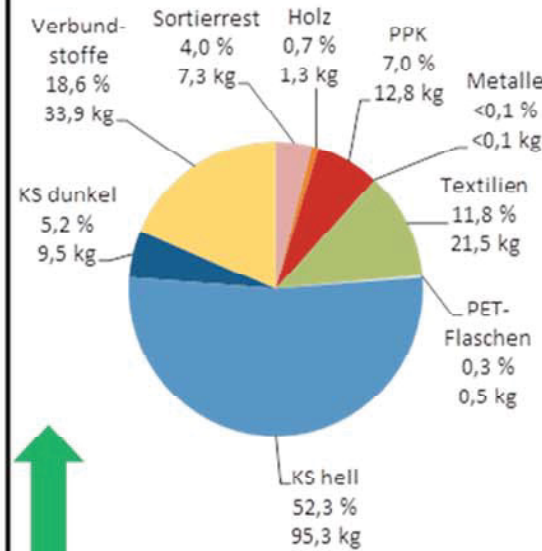
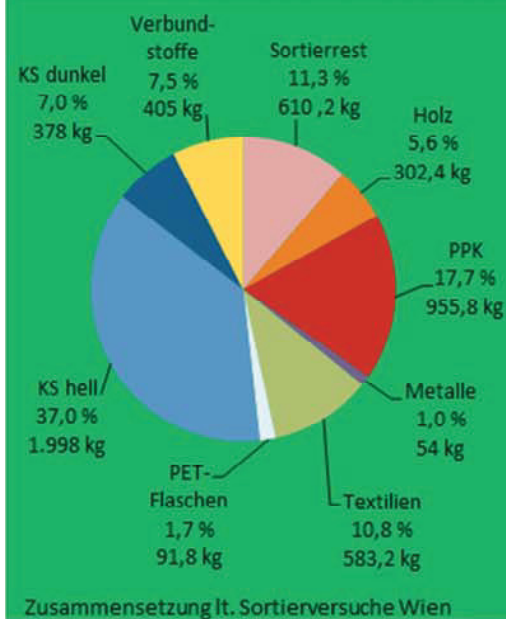
Auswurf 2 (biogen)

334,4 kg

Auswurf 3 (PE)

1.412,8 kg

INPUT: 5,4 t



Cl-Gehalt 12,2 ± 2,3 %

Siebung 45 mm

NIR 1 (PVC)

NIR 2 (biogen)

NIR 3 (PE)

DURCHLAUF: 2.4 t



Abweichungen aufgrund von Rundungsfehlern

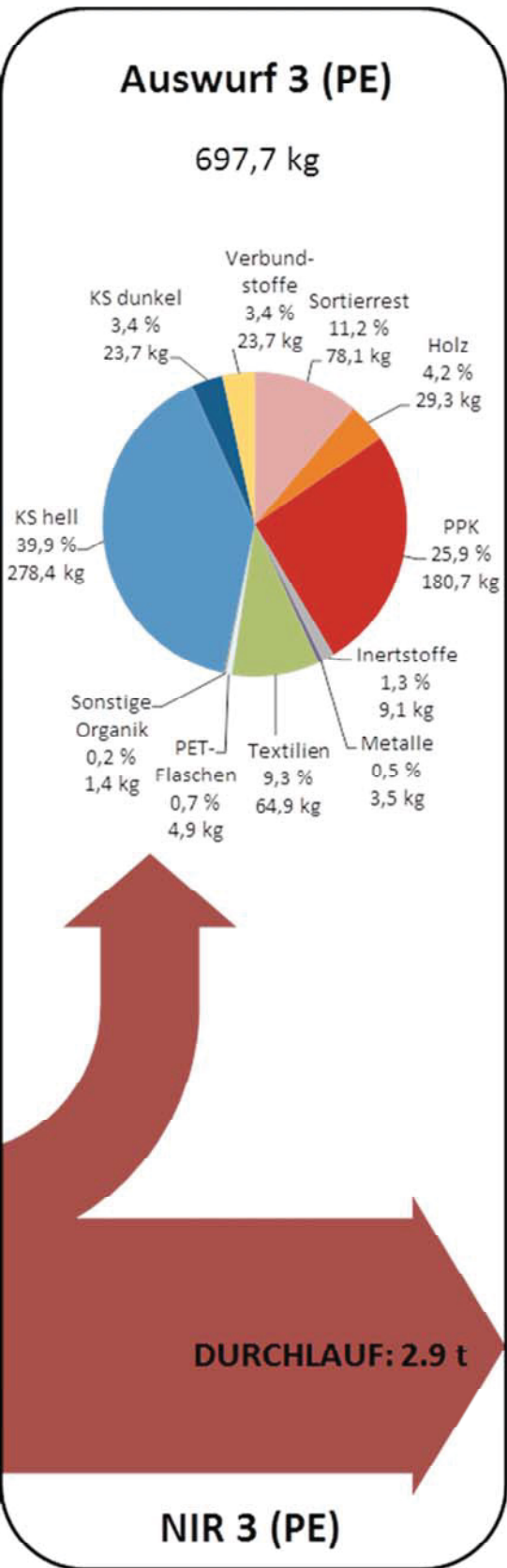
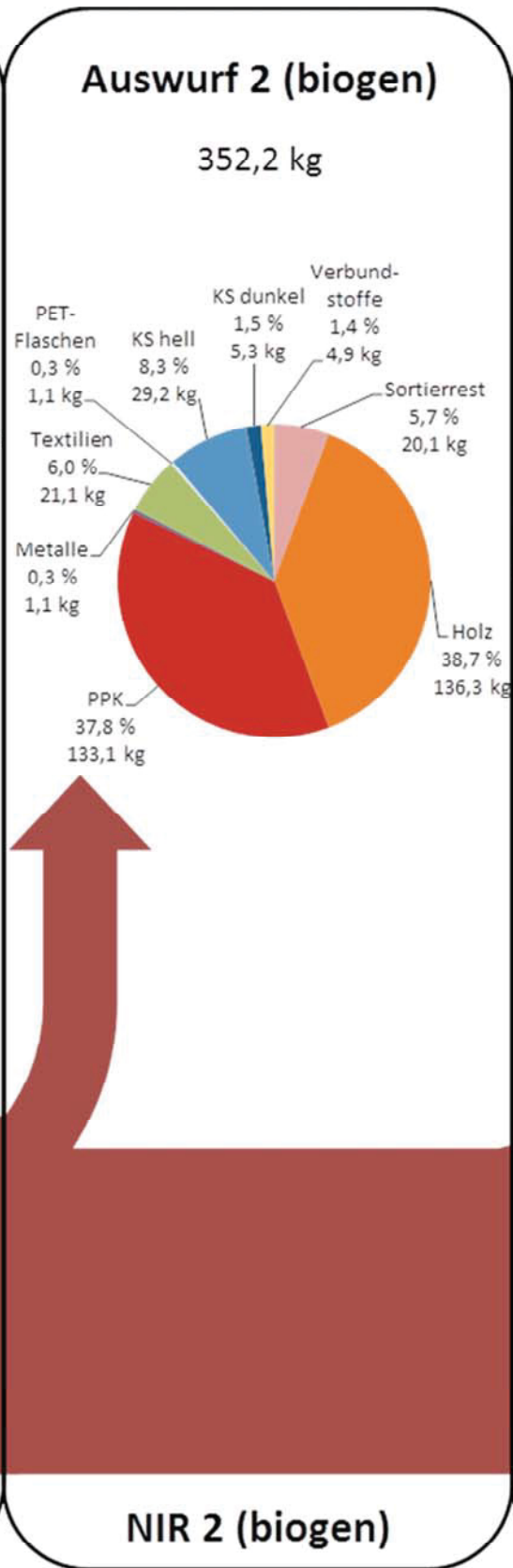
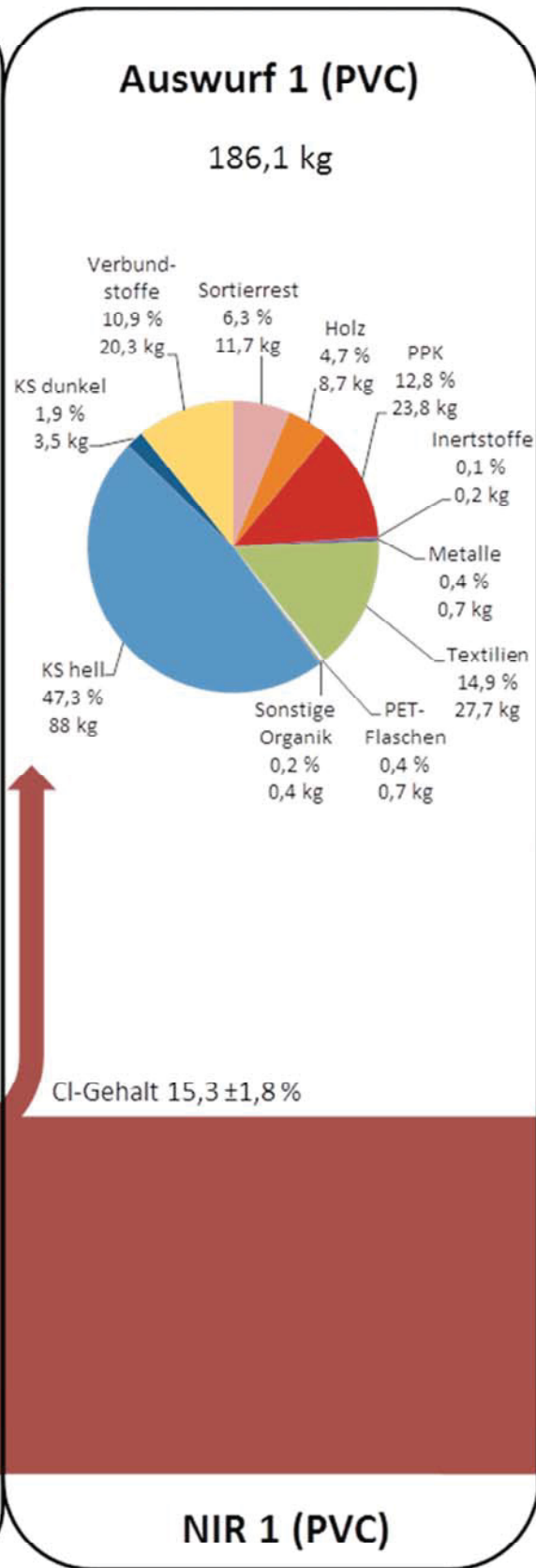
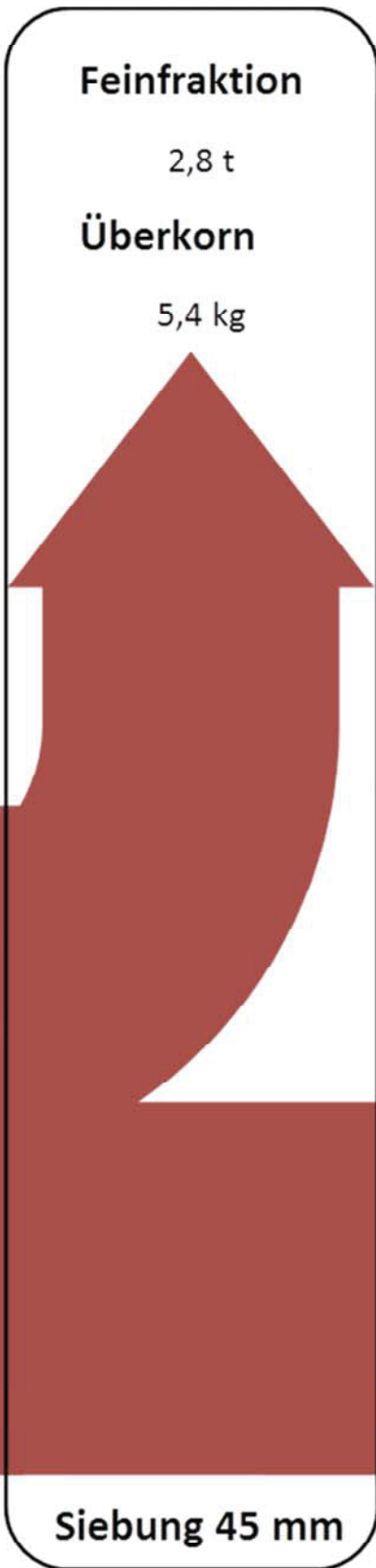
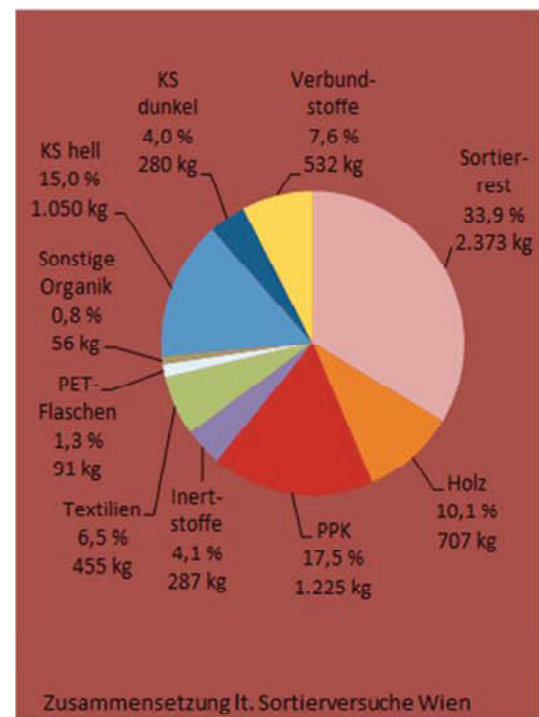
Anhang VI

FLOWCHART

Mittelkalorik
(20-120 mm)

Sortiersuch
Graz/Puchstraße

INPUT: 7 t



DURCHLAUF: 2.9 t

- Sortierrest
- Holz
- PPK
- Inertstoffe
- Metalle
- Textilien
- PET-Flaschen
- Sonstige Organik
- KS hell
- KS dunkel
- Verbundstoffe

Abweichungen aufgrund von Rundungsfehlern