

# SORTIERHANDBUCH

## Inhaltsverzeichnis (Stand: April 2004)

<b>1</b>	<b>Gebindeöffnung .....</b>	<b>2</b>
1.1	Grundlagen.....	2
1.2	Maschinentechnik/Bauarten .....	3
1.2.1	Bauart BRT .....	3
1.2.2	Bauart Gassner.....	3
<b>2</b>	<b>Siebklassierung .....</b>	<b>4</b>
2.1	Grundlagen.....	4
2.2	Bauarten.....	5
<b>3</b>	<b>Sichten und weitere, das Klauben vorbereitende Schritte .....</b>	<b>10</b>
3.1	Sichten.....	10
3.1.1	Grundlagen.....	10
3.1.2	Bauarten.....	11
3.2	Weitere Vorbereitungsschritte für das Klauben.....	13
3.2.1	Sortierung nach dem elastischen Verhalten .....	14
3.2.2	Sortieren nach Kornform.....	15
<b>4</b>	<b>Magnetscheidung.....</b>	<b>16</b>
4.1	Grundlagen.....	16
4.2	Bauarten/Maschinentechnik .....	17
<b>5</b>	<b>Wirbelstromscheidung.....</b>	<b>19</b>
5.1	Grundlagen.....	19
5.2	Bauarten.....	20
<b>6</b>	<b>Klauben .....</b>	<b>22</b>
6.1	Grundlagen.....	22
6.2	Handklauben.....	23
6.2.1	Gestaltung der Handsortierung.....	25
6.3	Automatisches Klauben.....	27
6.3.1	Bauarten automatischer Klaubesysteme .....	29
<b>7</b>	<b>Abbildungsverzeichnis .....</b>	<b>33</b>

# 1. Gebindeöffnung

Ein großer Anteil der Leichtverpackungen wird über Holsysteme mit einem Sack eingesammelt. Die in den Gelben Säcken gesammelten Leichtverpackungen müssen vor der Sortierung freigelegt werden, um den folgenden Sortierprozess überhaupt erst zu ermöglichen. Aber auch das Material aus Tonnen und Depotcontainern enthält einen großen Anteil von geschlossenen Beuteln, die vor der Sortierung geöffnet werden sollten.

In fast allen Sortieranlagen wird nach Artikeln sortiert. Deshalb ist das Ziel dieses Verfahrensschrittes die Öffnung der Säcke und das Freilegen der Inhaltsstoffe; eine Zerstörung der Inhaltsstoffe soll nach Möglichkeit vermieden werden.

Die Wertstoffe werden in den Sammelfahrzeugen leicht verpresst, um durch Erhöhung des Schüttvolumens Transportkosten zu sparen. Vor der Aufgabe in die Sortieranlage muss dieses Material aufgelockert werden. Auch das kann mit einem Gebindeöffner realisiert werden.

Ein Zerkleinerungsaggregat kann gleichzeitig auch als Dosiergerät arbeiten und so eine wichtige Voraussetzung für eine effektive Sortierung schaffen: die gleichmäßige Materialaufgabe auf die Sortierbänder.

## 1.1 Grundlagen

Im Wesentlichen existieren drei Arten von Beanspruchung, die geeignet sind, die Gelben Säcke zu öffnen: Schneiden, Schlagen oder Reißen. Eine schematische Darstellung dieser Vorgänge ist in Abbildung 1-1 zu finden.

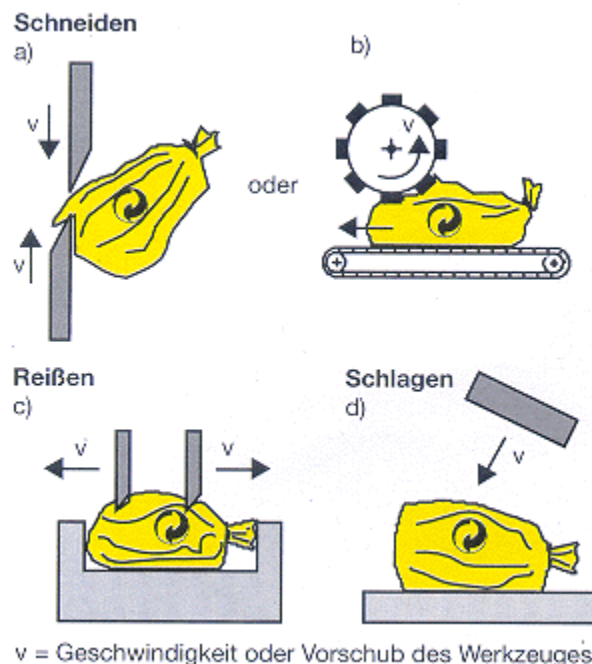


Abbildung 1-1: Schematische Darstellung der Beanspruchungsarten

Das Schneiden zeichnet sich durch zwei gegenläufig arbeitende Schneidkanten aus, zwischen denen sich der Gelbe Sack befindet (Abb. 1-1a). Hierzu gehören langsam laufende Schneidmühlen (sogenannte Zweiwalzenshredder) und in gewissem Sinne auch Schneckenmühlen. Eine andere Schneidmethode bedient sich einer umlaufenden Schneidkante oder umlaufender Schneidmesser (Abb. 1-1b).

Beim Reißen wird der Gelbe Sack auf geeignete Weise fixiert und durch eine Relativbewegung des Reißwerkzeuges geöffnet (Abb. 1-1c).

Bei der Beanspruchung durch Schlag wird ein relativ schnell umlaufendes, stumpfes Werkzeug benutzt, um die Säcke zu öffnen (Abb. 1-1d).

Zerkleinerungsaggregate sollten:

- unempfindlich gegenüber harten, großen Störstoffen sein. Dies kann zum Beispiel auch durch ein Ausweichen der Schneidwerkzeuge erreicht werden.
- in der Lage sein, Durchsatzschwankungen weitgehend zu kompensieren.
- eine möglichst hohe Öffnungsrate erreichen (nahezu 100 %), da ein Aussortieren und Zurückführen der noch geschlossenen Säcke sehr aufwendig ist.

Als problematisch gelten sehr lange Inhaltsstoffe des Gelben Sackes, wie Ton- und Videokassettenbänder oder Stretchfolien, die sich um langsam rotierende Maschinenteile wickeln können und so früher oder später einen Maschinenstillstand verursachen. Hier wird noch nach Lösungen gesucht, die dies verhindern oder das automatische Ausschleusen dieser Materialien ermöglichen.

## 1.2 Maschinentchnik/Bauarten

### 1.2.1 Bauart BRT

Der Gebindeöffner von *BRT* arbeitet nach dem Prinzip des Aufreißens. Die Arbeitswalze besteht aus mehreren nebeneinander angeordneten Ringen, auf denen die Aufreißelemente befestigt sind. Im ersten Arbeitsschritt dreht sich jeder zweite Ring um 180°; die anderen Ringe bleiben in Ruhestellung. Beim nächsten Arbeitsschritt wird gewechselt. Dadurch ergibt sich eine Relativbewegung zwischen den Aufreißelementen, durch die die Gelben Säcke aufgerissen werden. Bogenförmige Anpressarme, die über eine Hydraulik eingestellt werden, liefern den nötigen Gegendruck. Die Zufuhr der Gelben Säcke geschieht zumeist auf den Scheitel der beschriebenen Walze. Die Bauart von *BRT* ist gleichzeitig geeignet, den Materialstrom zu dosieren und Durchsatzschwankungen zu kompensieren.

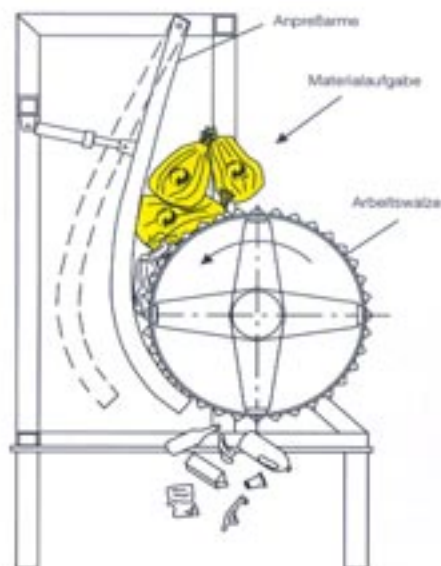


Abbildung 1-2: Schematische Darstellung des Gebindeöffners, Bauart der Firma BRT

### 1.2.2 Bauart Gassner

Diese Bauart basiert auf dem Wirkprinzip einer Dosiermaschine für die Landwirtschaft. Das Aggregat eignet sich zum Öffnen von Sammelsäcken, zum Auflösen von Ballen sowie allgemein zur Vergleichmäßigung der verschiedensten Materialien bei der Aufgabe.

Dieser Gebindeöffner besteht im Wesentlichen aus folgenden Komponenten:

- Zuführkratzboden,
- Dosierwand,
- Abweisrechen,
- bewegliche Messerhalter.

Das Material wird auf den Zuführkratzboden aufgegeben. Anschließend wird es von diesem und dem Förderaggregat der Dosierwand nach oben zu den Messern und zum Abweisrechen transportiert. Die Messer schneiden und reißen die Sammelsäcke auf. Der Abweisrechen dient dem vollständigen Zerreißen und Entleeren der Säcke. Durch die voreingestellte Durchlassöffnungsweite vergleichmäßigt er den Materialstrom. Sollte ein Fremdkörper im Material vorhanden sein, kann der Abweisrechen nach oben ausweichen.

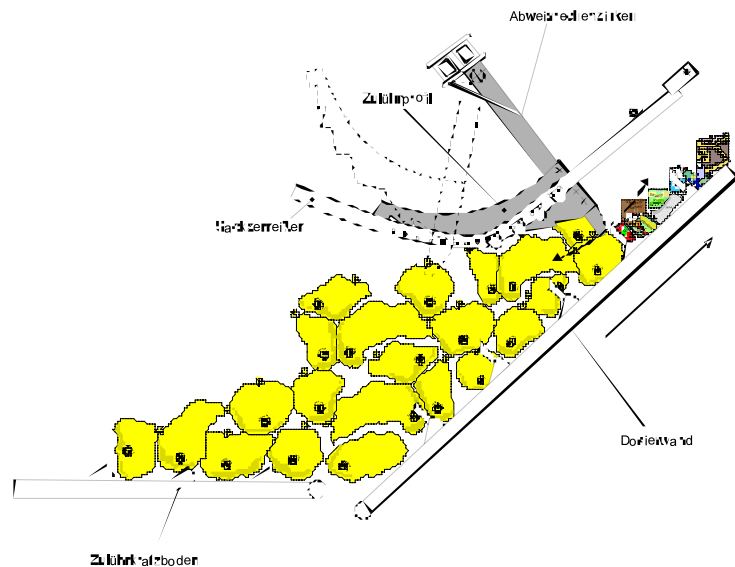


Abbildung 1-3: Prinzipskizze Gebindeöffner, Bauart der Firma Gassner

## 2. Siebklassierung

Mit dem Einsatz von Klassierprozessen soll vor allem eine Reduzierung des Fördervolumenstroms durch Teilung des Stoffstromes erreicht werden. Zugleich werden die nachfolgenden Verfahrensschritte (insbesondere Sortierprozesse) vorbereitet, weil Stückgrößenverteilungen geschaffen werden. Vielerorts wird der von Hand nicht sortierbare Feinanteil abgeseibt.

### 1.3 Grundlagen

Das Klassieren ist die Aufteilung eines Materials nach der Stückgröße. Zu unterscheiden sind Siebklassierung und Stromklassierung/Sichten.

Bei der Siebklassierung erfolgt die Trennung nach charakteristischen geometrischen Abmessungen mit Hilfe von Sieben. Bei der Stromklassierung macht man sich hingegen unterschiedliche Sinkgeschwindigkeiten oder Bewegungsbahnen eines Kornes in einem Fluid, d.h. in einer Flüssigkeit oder in einem Gas, zunutze. Die Sinkgeschwindigkeit wird dabei wesentlich von der Größe des Kornes bestimmt, ist aber auch von der Dichte und der Form beeinflusst.

Mit Bezug auf die Sortieranlagen für Leichtverpackungen soll in diesem Kapitel nur die Siebklassierung behandelt werden. Die Stromklassierung bzw. das Sichten wird im Abschnitt „Sichten“ Beachtung finden.

Da der Vorgang des Siebens an sich bekannt sein dürfte, beschränken wir uns auf die Erläuterung einiger Begriffe und Parameter.

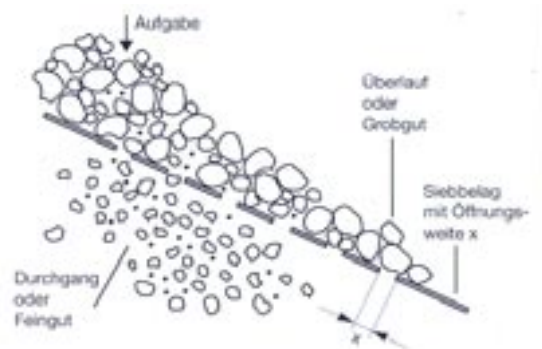


Abbildung 2-1: Der Siebvorgang

Das Aufgabematerial wird durch den Siebbelag mit Öffnungen einer bestimmten Größe in den Überlauf (*Grobgut*) und den Durchgang (*Feingut*) aufgeteilt (siehe Abb. 2-1). Der Überlauf (Grobgut) besteht dabei im Wesentlichen aus Teilen, deren Abmessungen größer als die Sieböffnungen sind. Bei unzureichender Siebung kann im Überlauf allerdings noch Feingut enthalten sein, das als *Unterkorn* oder *Fehlkorn* bezeichnet wird.

Im Feingut ist das Material enthalten, dessen Stückgrößen kleiner als die Sieböffnungen sind. Grobes Material im Feingut ist zumeist auf ungenau gearbeitete oder defekte Siebbeläge oder undichte Siebkästen zurückzuführen und wird als *Spritzkorn* bezeichnet.

Als *Grenzkorn* wird der Anteil des Aufgabegutes bezeichnet, dessen Abmessungen ein wenig größer oder kleiner als die Sieböffnungsweite sind. Unter ungünstigen Bedingungen verstopfen diese Anteile die Siebbeläge.

Die Leistungsfähigkeit einer Siebmaschine wird durch den spezifischen Siebdurchsatz und den Siebgütegrad (auch Trennschärfe genannt) gekennzeichnet. Der *spezifische Siebdurchsatz* stellt die Aufgabemenge (als Massestrom, besser als Volumenstrom) bezogen auf die verfügbare Siebfläche dar. Der *Siebgütegrad* gibt wieder, wie viel von dem im Aufgabegut enthaltenen Feingut tatsächlich durch den Siebbelag in den Durchgang gelangt.<sup>1</sup>

Erwähnt sei schließlich noch die *offene Siebfläche*. Sie ist ein Maß für den Anteil von offener Fläche (Sieböffnungen) an der Gesamtoberfläche des Siebes. Bei Lochblechen beispielsweise ist die offene Siebfläche geringer als bei Drahtgeflechten. Diese Größe wirkt sich unmittelbar auf die mögliche spezifische Siebleistung eines Siebes aus.

## 1.4 Bauarten

Ausgehend von der Siebgutbewegung auf dem Siebboden lassen sich die Siebapparate, wie in Abbildung 2-2 dargestellt, einteilen.

---

<sup>1</sup> Hierzu ausführlich Schubert, Heinrich: Aufbereitung fester mineralischer Rohstoffe, Band I: Kennzeichnung von Körnerkollektiven, Kennzeichnung von Aufbereitungs- und Trennerfolg, Zerkleinerung, Klassierung, Leipzig 1989<sup>4</sup>, S. 65 ff.

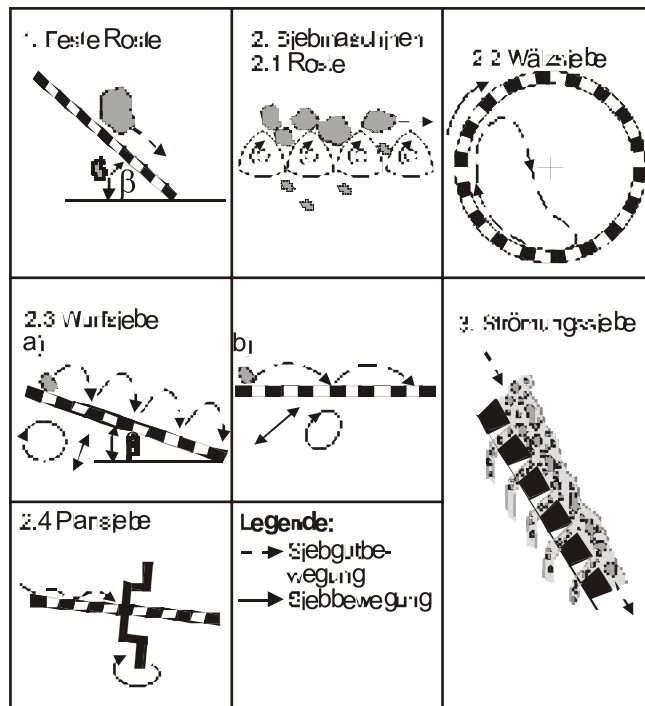


Abbildung 2-2: Einteilung der Ausrüstung zum Siebklassieren nach der Siebgutbewegung

In Sortieranlagen für Leichtverpackungen haben sich vor allem Trommelsiebe (horizontal stehende Wälzsiebe) bewährt. In wenigen Ausnahmefällen werden aber auch bewegte Roste (unter dem Handelsnamen "Sternsiebe"), Schwingsiebe sowie Spannwellensiebe verwendet.

Bei einem Trommelsieb durchwandert das Siebgut die in Achsrichtung leicht geneigte Siebtrommel, wobei es permanent hochgehoben und abgerollt wird (Abb. 2-3). Die Inhaltsstoffe vermischen sich immer wieder; leicht zusammenhaftende Verpackungen oder Störstoffe lösen sich voneinander. Von Vorteil ist auch die einfache Konstruktion sowie der erschütterungsfreie Lauf.

In Trommelsieben werden nur ca. 30 % der Siebfläche tatsächlich für die Siebung genutzt. Daraus ergeben sich die geringen spezifischen Durchsätze von  $0,15 - 0,2 \text{ m}^3/\text{m}^2 \text{ h}$  je mm Sieböffnungsweite und der relativ hohe Energiebedarf (er beträgt das 2- bis 3-fache von Schwingsieben)<sup>2</sup>. Im Gegensatz zu Schwingsieben ist das Material nur geringen Beschleunigungskräften ausgesetzt.

Durch den Mischeffekt wird es allerdings auch möglich, großflächige Teile (z.B. Folien) von anderen Inhaltsstoffen abzusieben. Liegt bei einem normalen Schwingsieb beispielsweise eine Folie auf der Siebfläche, so versperrt sie den auf der Folie liegenden feineren Anteilen den Zugang zu den Sieböffnungen. Im Trommelsieb dagegen rollt das Material an der Wand ab und ändert somit ständig seine Lage.

Eine Selbstreinigung des Siebbelages durch die Bewegung des Siebbodens ist nur in geringem Maß durch das Herausfallen von verklemmtem Material am Scheitelpunkt möglich. So können sich vor allem Kassettenbänder und langen Folien festsetzen. Einige Firmen bieten inzwischen geeignete konstruktionstechnische Lösungen für dieses Problem an, wodurch die Reinigungsintervalle vergrößert werden können.

<sup>2</sup> ebenda, S. 215

Wird zuviel Material in das Sieb gegeben, kommt es zu gegenseitigen Behinderungen, die dazu führen, dass nicht der gesamte Feinanteil abgeseibt werden kann.

Das Material muss so lange im Sieb verbleiben, bis alle Bestandteile abgeseibt wurden, die kleiner sind als die Sieböffnungsweite. Die Verweilzeit des Materials im Sieb wird dabei in erster Linie durch die Länge des Siebes und dessen Neigung beeinflusst. Einen gewissen Einfluss haben auch Einbauten im Sieb, wie beispielsweise Leitbleche oder Mitnehmer.

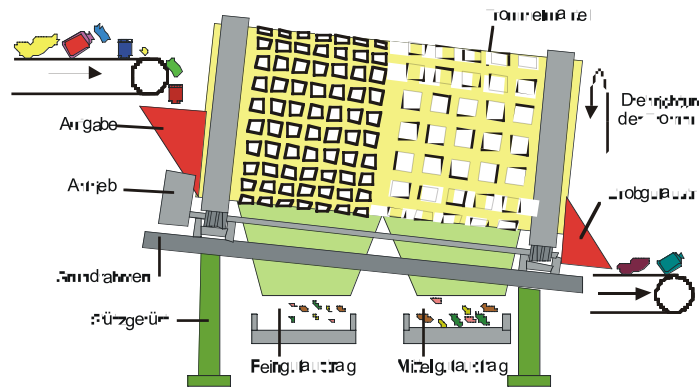


Abbildung 2-3: Schematische Darstellung eines Trommelsiebes

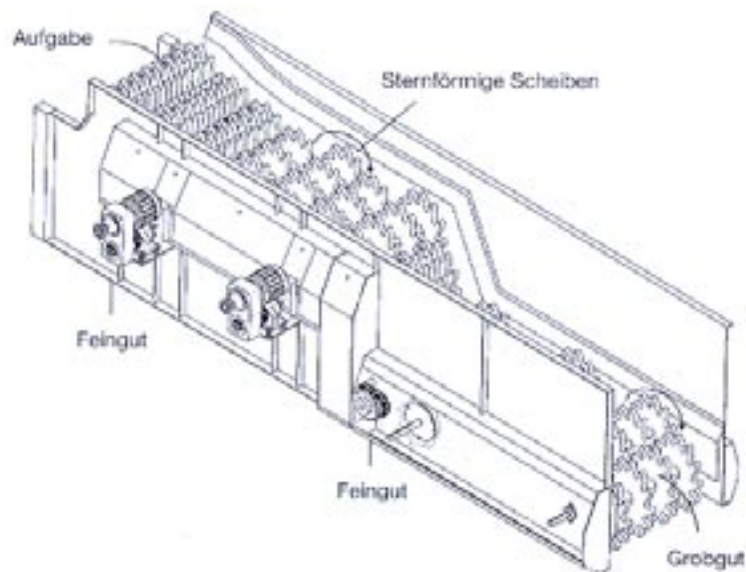
Oft werden Trommelsiebe für eine zweistufige Siebung eingesetzt. Der erste Abschnitt der Trommel ist mit kleineren Sieböffnungen versehen, durch die das Feinmaterial abgeseibt wird. Der zweite Abschnitt ist mit größeren Öffnungen versehen, durch die die mittlere Fraktion abgetrennt wird.

Der Siebbelag ist meist als Blech mit Rund- oder Quadratlochung ausgeführt. Ebenso kann ein Drahtgeflecht mit wesentlich größerer offener Siebfläche als Siebbelag verwendet werden, wodurch sich das Gesamtgewicht der Siebtrommel reduziert.

Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass der Einsatz von Trommelsieben dann von Vorteil ist, wenn eine gute Vereinzelung und Homogenisierung des Materials verlangt ist.

Bewegte Roste (Sternsiebe) werden vor allem für feuchtes, schwierig abzusiebendes Gut verwendet. Sie bestehen aus mehreren, stufenförmig angeordneten Ebenen, die die Siebböden bilden und sich wie folgt zusammensetzen. Quer zur Förderrichtung sind rotierende Wellen angeordnet. Auf diesen Wellen sitzen Förderscheiben, die auch Rostscheiben genannt werden. Je nach Anwendungsfall sind diese unterschiedlich geformt. In den Sortieranlagen für Leichtverpackungen werden sternförmige Scheiben eingesetzt, deshalb auch die Bezeichnung „Sternsiebe“. Der seitliche Abstand der Scheiben und der Abstand zwischen den Walzen bestimmt hierbei die Trennkorngröße.

Abbildung 2-4: Aufbau eines Sternsieves, Bauart Firma Thole



Die zu siebenden Leichtverpackungen werden durch ein Förderband der obersten Ebene von Wellen zugeführt. Dadurch, dass sich die Wellen in Förderrichtung drehen, fällt das Siebgut entweder durch die darauf sitzenden Scheiben oder es wird zur nächst tieferen Ebene weiterbefördert. Durch die Drehbewegung der Scheiben wird kleines Material eingezogen und größeres Material zum Austrag transportiert. Die Relativbewegung der Scheiben untereinander bewirkt dann in gewissem Maße eine Selbstreinigung.

Schwierigkeiten bereiten - wie auch bei den Trommelsieben - lange Folien und Bänder, die sich um die Wellen wickeln können. Zudem ist es wichtig, große Folien vorher zu entfernen, da sie das Absieben des feineren Materials behindern.

Ein Spannwellensieb besteht im Wesentlichen aus einer Siebmatte und zwei Rahmen. Letztere sind relativ zueinander beweglich. Am Innen- und Außenrahmen sind Querverstrebungen montiert, an denen die elastischen Siebmatten aus Kunststoff befestigt sind. Durch Exzenterantriebe verschieben sich während des Siebvorganges die Rahmen gegeneinander. Somit werden die Kunststoffmatten zwischen den Querträgern alternierend straffgezogen oder muldenartig durchgebogen. Dies ergibt eine Art Trampolineffekt, der eine gute Auflockerung des Siebgutes zur Folge hat.<sup>3</sup> Durch die Neigung des Siebes wird das Material auf dem Siebbelag zum Austrag transportiert.

---

<sup>3</sup> ebenda, S. 215; Kellerwessel, a.a.O., S. 66 f.

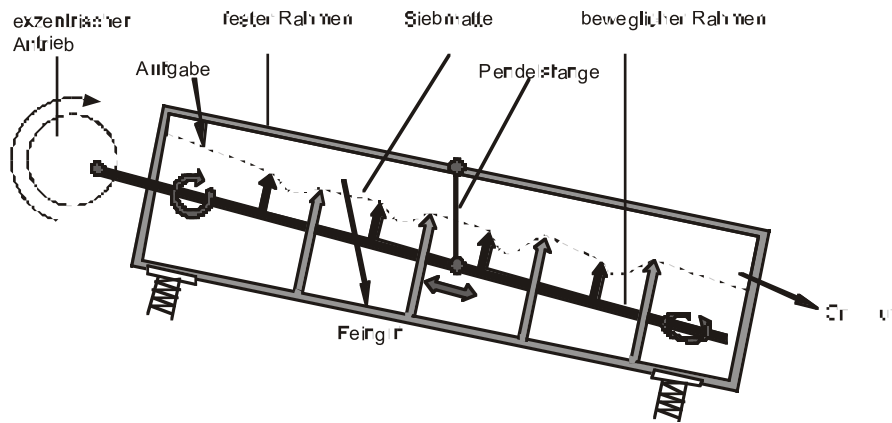


Abbildung 2-5: Funktionsweise eines Spannwellensiebes

Durch dieses Verfahrensprinzip können Verstopfungen im Siebbelag vermieden und höhere spezifische Durchsätze erreicht werden. Allerdings wirken sich Bestandteile, die sich leicht im Siebbelag verhaken können negativ aus. Im Bereich der Leichtverpackungen sind das vor allem Drähte, Kleiderbügel u.ä.

Zu den Schwingsieben gehören die Wurfsiebe und die Plansiebe. Die Bauarten werden in den folgenden Abschnitten getrennt beschrieben.

Bei Wurfsieben wird der Siebbelag oder der Siebkasten auf unterschiedliche Art in Schwingung versetzt. Die Schwingungen können sowohl kreisförmig oder ellipsenförmig als auch linear sein.<sup>4</sup>

Durch die Schwingung erfolgt eine Wurfbewegung des Materials, wobei die vertikal zum Siebbelag ausgerichtete Bewegungskomponente zur Auflockerung des Materials dient. Die horizontale Komponente dient der Bewegung des Materials über den Siebbelag.

Wegen der im Vergleich zur Stückgröße relativ geringen Wurfweite von wenigen Millimetern ist der Einsatz von Schwingsieben für die Leichtverpackungen problematisch. Großflächige Folien oder Papier verhindern zudem leicht, dass die Kleinteile zu den Sieböffnungen gelangen. Gelingt es aber, große, flächige Teile vorher abzutrennen und wird eine Umwälzung des Siebgutes z.B. durch Stufen im Siebbelag erreicht, so ist ein Schwingsieb durchaus gleichwertig zu Trommelsieben. Der Einsatz erfolgt zumeist bei Siebschnitten unter 80 mm.

Plansiebmaschinen schwingen im Gegensatz zu den Wurfsieben in der Ebene des Siebbelages. Der Siebeffekt beruht hierbei auf der Relativbewegung des Siebgutes zum Siebbelag. Das Siebgut wird dabei nur wenig aufgelockert. Diese Siebe eignen sich insbesondere für die Feinkornabsiebung.

<sup>4</sup> Hierzu ausführlich Schubert, Heinrich, Bd. I, a.a.O., S. 216 ff.; Uhlig, Dieter: Klassierprozesse in der Aufbreitung, in: Materialrecycling durch Abfallaufbereitung, Hrsg.: Thomé-Kozmiensky, Karl Joachim, Berlin 1992, (S. 281-309) S. 291 ff.

### 3. Sichten und weitere, das Klauben vorbereitende Schritte

Die in diesem Kapitel beschriebenen Verfahrensschritte haben vorrangig das Ziel, den Materialstrom in unterschiedliche Teilströme aufzuteilen, um die nachfolgenden Prozesse effizienter zu gestalten in bezug auf die Reinheit und die Menge der gewonnenen Produkte.

#### 1.5 Sichten

Das Sichten gehört zu den Prozessen der Stromklassierung. Die Auftrennung erfolgt dabei nach dem Kriterium der stationären Sinkgeschwindigkeit in einem Luftstrom.

Die Sinkgeschwindigkeit wird von mehreren Faktoren beeinflusst, so dass die Sichtung sowohl für das Klassieren - mit dem Ziel der Trennung nach der Stückgröße - als auch für das Sortieren - mit dem Ziel der Trennung nach Stoffart - verwendet werden kann. Die eben angedeuteten Abhängigkeiten werden im nächsten Kapitel „Grundlagen“ näher erläutert.

Durch das Sichten werden eine voluminöse Leichtfraktion und eine Schwerfraktion mit hauptsächlich kompakten Stücken gebildet. Sortierprodukte wie Folien oder auch Anteile der Mischkunststoffe können so gebildet werden.

##### 1.5.1 Grundlagen

Das Windsichten ist das Trennen eines Materialgemisches im Luftstrom. Die maßgebliche Größe hierbei ist die stationäre Sinkgeschwindigkeit. Dies ist die Geschwindigkeit eines Teilchens im freien Fall, wenn die beschleunigend wirkende Erdanziehungskraft und die Widerstandskräfte durch Reibung mit der Luft im Gleichgewicht sind. Anders ausgedrückt heißt das, dass sich in diesem Zustand die Sinkgeschwindigkeit des Teilchens nicht mehr ändert.

Die stationäre Sinkgeschwindigkeit eines Teilchens ist abhängig von seiner Größe, seiner Dichte (spezifisches Gewicht) und seiner äußeren Form. Idealisiert können drei Fälle unterschieden werden:

1. Bei gleicher Dichte und gleicher Kornform kann das Material nach seiner Korngröße getrennt werden. Dabei handelt es sich um einen Klassiervorgang. Kleinere Stücke werden dabei eher vom Luftstrom mitgenommen als große.
2. Bei gleicher Korngröße und Kornform, aber unterschiedlicher Dichte, wird eine Sortierung nach der Dichte vorgenommen. Das Material mit der vergleichsweise geringeren Dichte wird vom Luftstrom mitgerissen.
3. Bei gleicher Korngröße und Dichte wird die Sortierung durch die Kornform beeinflusst. Die Teile mit höheren Luftwiderstandszahlen, wie beispielsweise flächige oder fasrige Teile, werden vom Luftstrom mitgenommen. Kompakte, also runde oder würflige Teile, setzen sich ab.

Teile, deren stationäre Sinkgeschwindigkeit geringer ist als die Geschwindigkeit des Luftstromes, werden vom Luftstrom mitgerissen. Sie bilden die Leichtfraktion. Die Teile mit einer größeren Sinkgeschwindigkeit bewegen sich je nach Konstruktion des Sichters quer oder entgegengesetzt zum Luftstrom. Diese Teile bilden die Schwerfraktion.

Genauerer zu Sinkgeschwindigkeit, Luftwiderstandszahlen und den bei Luftstromsortierung wirkenden Kräften kann bei Schubert<sup>5</sup> nachgelesen werden.

Bei Sortieraufgaben sind in der Praxis die oben genannten Abgrenzungen nur bei aufwendiger Vorbereitung des Materials anzutreffen. Im Regelfall gibt es hingegen immer eine Überlagerung der drei Fälle<sup>6</sup>. Das führt u.a. auch dazu, dass kleine Weißblechteile gemeinsam mit großen Folien über die Leichtfraktion ausgetragen werden können.

Das Merkmal, bei unterschiedlicher Korngröße, Form und Dichte die gleiche stationäre Sinkgeschwindigkeit aufzuweisen, nennt man Gleichfälligkeit. Nach diesem Merkmal lassen sich die unterschiedlichen Materialien bei der Windsichtung oder anderen Stromsortierverfahren klassifizieren.

Aus den oben gemachten Aussagen ist leicht abzuleiten, welche Bedeutung den vorbereitenden Verfahren zukommt. Diese müssen jeweils auf das Verfahrensziel der Windsichtung abgestimmt sein. Wird das Material vorklassiert, so kann eine Sichtung auf Grund unterschiedlicher Dichte und Stückform vorgenommen werden. Wird das Material vorzerkleinert und anschließend klassiert, so ist eine Homogenisierung nicht nur hinsichtlich der Stückgröße erreichbar, sondern auch hinsichtlich der Stückform. In diesem Fall ist die Dichte das relevante Trennmerkmal. Da in Sortieranlagen im Anschluss an die Sichtung oft eine Handsortierung stattfindet, wird nur eine Vorklassierung, nicht jedoch eine Vorzerkleinerung, durchgeführt. Die Vorzerkleinerung würde den Sortieraufwand durch die wesentlich größere Anzahl von Stücken und entsprechende Greifvorgänge des Sortierpersonals enorm erhöhen.

Weitere wesentliche Voraussetzungen für ein erfolgreiches Sichten sind eine gleichmäßige Aufgabe und eine gleichmäßige Verteilung des Sortiergutes im Sichtraum. Dabei muss ein genügend großer Abstand der Einzelteile gewährleistet sein, sonst kommt es zu gegenseitiger Behinderung und damit zu Fehlausträgen. Wichtig ist darüber hinaus, dass sich im Sichtraum keine Totzonen mit geringerer Luftströmungsgeschwindigkeit bilden, denn dort kann es leicht zu Materialablagerungen kommen.<sup>7</sup>

### **1.5.2 Bauarten**

Die Sichter werden unterteilt nach der Art und Weise, wie die Schwerfraktion aus dem Sichtraum ausgetragen bzw. vom Leichtgut getrennt wird. Dies kann durch die Wirkung der Schwerkraft oder durch Zentrifugalkraft geschehen. In den betrachteten Anwendungsfällen kommt allerdings nur die Schwerkraftsichtung in Betracht.

Eine weitere Unterteilung der Bauarten von Windsichtern lässt sich hinsichtlich der Bewegung des Schwergutes relativ zum Luftstrom machen. Wird das Schwergut entgegengesetzt zum Luftstrom ausgetragen, so spricht man von Gegenstromsichtern (Abb.

3-1 a). Wird das Schwergut dagegen quer zum Luftstrom ausgetragen, so ist die Rede von Querstromsichtern (Abb. 3-1 b).

---

<sup>5</sup> Schubert, Heinrich, Bd. II, a.a.O., S. 238 ff.; Fördern und Klassieren beim Aufbereiten und Verarbeiten von Kunststoffen, Tagung Baden-Baden 27./28.11.1985, VDI-Gesellschaft für Kunststofftechnik, Düsseldorf 1985, S. 201 ff., 225 ff.

<sup>6</sup> Schubert, Gert: Dichtesortierung, in: Materialrecycling, a.a.O., (S. 311-340) S. 319 ff.

<sup>7</sup> Schubert, Heinrich, Bd. I, a.a.O., S. 293 ff.; Fördern und Klassieren beim Aufbereiten und Verarbeiten von Kunststoffen, Tagung Baden-Baden 27./28.11.1985, VDI-Gesellschaft für Kunststofftechnik, Düsseldorf 1985, S. 20 ff., 225 ff.

Bei der Sortierung von Leichtverpackungen aus dem Gelben System werden ausschließlich Schwerkraftsichter eingesetzt, die nach dem Prinzip der Querstromtrennung arbeiten.

Da das Aufgabegut sehr inhomogen ist, kann eine gleichmäßige Beschickung des Sichtraumes nur schwer realisiert werden. Der Raum, in dem die Sichtung stattfindet, muss wegen der Stückgrößen sehr groß gehalten werden. Dazu werden hohe Luftvolumenströme benötigt. Aufgrund der Stückgröße, der äußerst unterschiedlichen Stückformen und der verschiedenen Materialien bei Leichtverpackungen ist es schwierig, eine Konstruktion zu finden, in der keine Ablagerungen oder Verhakungen des Materials auftreten. Der Einfachheit halber werden deshalb einige Sichter ohne jegliche Umhausung konstruiert.

Diese einfach aufgebauten Sichter blasen beispielsweise an einer Bandabwurfstelle den Materialstrom an. Zur Erhöhung der Luftgeschwindigkeiten tritt dabei die Luft aus Düsen aus. Leichtes Material wird vom Luftstrom mitgerissen, wogegen schwere Bestandteile kaum ihre Bewegungsbahn ändern. Durch ein einfaches Trennblech werden dann Schwerfraktion und Leichtfraktion getrennt aufgefangen.

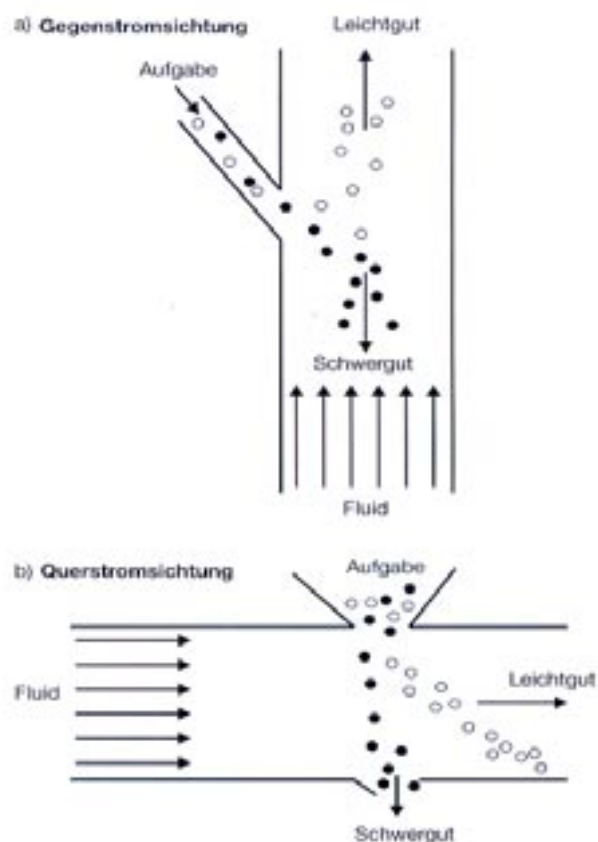


Abbildung 3-1: Einteilung der Windsichter

Der Nachteil des oben beschriebenen Aufbaus ist, dass die Luftgeschwindigkeit beim Austritt aus der Düse sehr schnell abnimmt und es am Rande des Luftstrahles zu Verwirbelungen kommt. Somit kann keine gleichmäßige Luftgeschwindigkeit gewährleistet werden. Mit Abnahme der Luftgeschwindigkeit setzen sich je nach ihren Trenneigenschaften Anteile der Leichtfraktion ab, was zu relativ unscharfen Trennungen führt.

Andere Sichter funktionieren nach dem gleichen Prinzip, nur dass hier der Sichtraum großzügig eingehaust ist (Abb. 3-2). Dadurch können Verstopfungen weitgehend vermieden und der Luftstrom gezielter geführt werden. Aber auch hier nimmt die Luftgeschwindigkeit nach Austritt aus der Düse ziemlich schnell ab.

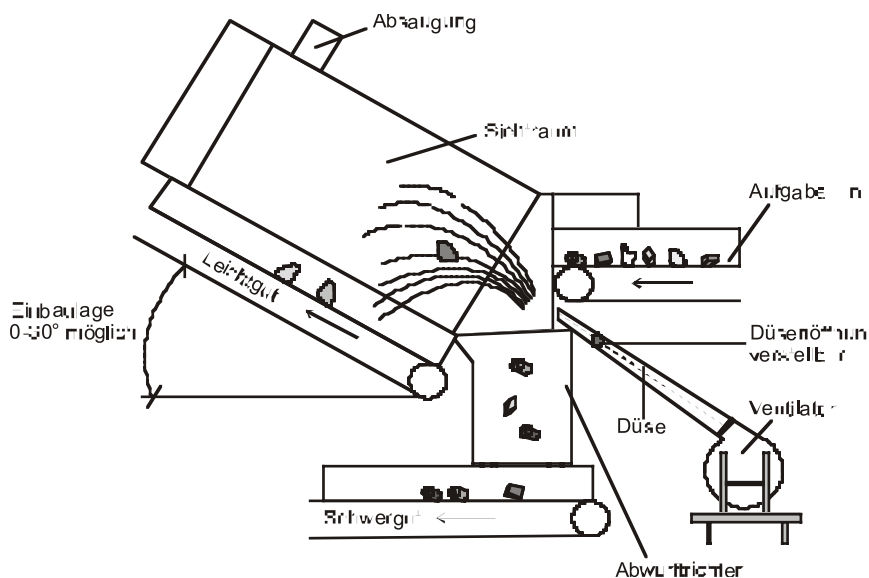


Abbildung 3-2: Darstellung eines Windsichters, Bauart Firma Bezner

Bei der Bauart der Firma *Nihot*, angelehnt an den Aufbau eines Zick-Zack-Sichters, kommt es zu keiner Verminderung der Luftgeschwindigkeit (Abb. 3-3). Der Luftstrom wird in einem großzügig bemessenen Luftkanal geführt. Gleichzeitig erfolgt auch eine Absaugung des Sichtraumes. In diesen Sichtraum wird das zu sichtende Material eingetragen. Schweres Gut fällt sofort quer zum Luftstrom zum Austrag. Leichtes Material wird mit dem abgesaugten Luftstrom mitgerissen. In der Absetzkammer, die vom Sichtraum getrennt angeordnet ist, scheidet sich das Leichtgut von der Luft. Bei geringer Staubbelastung kann die Luft teilweise im Kreislauf gefahren werden. Der Aufbau des Sichters ermöglicht gute Regulierungsmöglichkeiten für den Luftvolumenstrom. Voraussetzung für eine gute Sichtung ist natürlich auch hier, dass die Abmessungen des Sichtraumes, des Luftkanals und der Austragorgane (bspw. Zellenradschleusen) an die Stückgrößen des Sichtgutes angepasst werden.

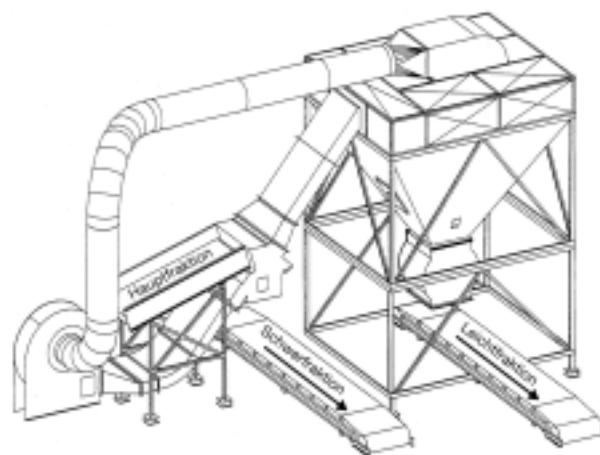


Abbildung 3-3: Windsichter für Leichtverpackungen, Bauart Firma Nihot

## 1.6 Weitere Vorbereitungsschritte für das Klauben

Zur Sortierung eignen sich auch die unterschiedliche Kornform oder verschiedene elastische Eigenschaften. Die nachfolgend beschriebenen Verfahrensschritte haben zum Ziel, den Stoffstrom aufzuteilen und damit für weitere Verfahrensschritte vorzubereiten. Zumeist wird durch eine solche Aufteilung die nachfolgende automatische Sortierung oder Handsortierung erleichtert.

### 1.6.1 Sortierung nach dem elastischen Verhalten

Bei diesen Verfahren wird das elastische bzw. unelastische Verhalten der Bestandteile des Stoffstromes ausgenutzt. Dies erfolgt beispielsweise beim Prallsprungprozess<sup>8</sup>, der u.a. zur Sortierung von Kiesen eingesetzt wird. Fällt ein Korn auf eine Platte, so prallt es entsprechend seinen elastischen Eigenschaften ab. Je elastischer das Korn ist, desto weiter kann es springen. Die Flugbahn plastischer Materialien ist kürzer, da ein großer Teil der Fallenergie in Verformungsenergie des Teilchens umgewandelt wird. Besonders weiche, plastische Bestandteile bleiben sogar liegen, wenn die gesamte Fallenergie zur Verformung des Teilchens verwandt wird.

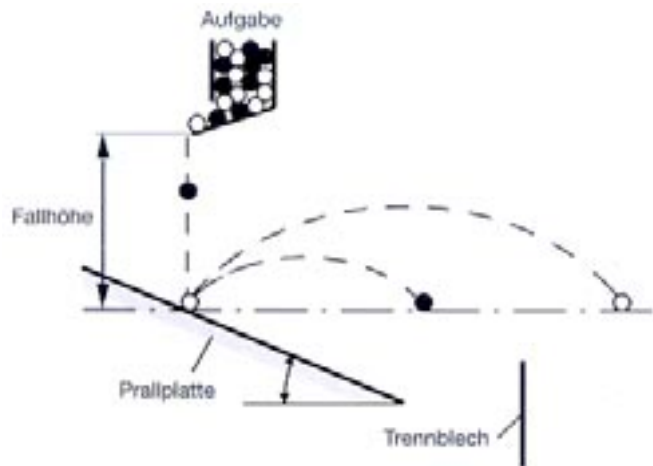


Abbildung 3-4: Grundlagen des Prallsprungprozesses<sup>9</sup>

Der Paddelsichter - auch Ballistic Separator genannt - stammt ursprünglich aus der Landwirtschaft und wurde dort u.a. nach dem Getreidedreschen für die Trennung der Getreidekörner vom Stroh verwendet.

Im Paddelsichter werden flächige, flexible Materialien (bspw. Folien, Papier) von körperförmigen und steifen Materialien (z.B. Becher, Flaschen und andere Hohlkörper) getrennt. Er besteht aus mehreren, nebeneinander angeordneten, in ihrer Längsrichtung geneigten Blechen, die sich, durch eine Kurbelwelle angetrieben, im Kreis bewegen. Benachbarte Bleche erreichen jeweils zeitversetzt den Scheitelpunkt der Kreisbahn. Die Kreisbewegung ist so gerichtet, dass aufliegende Teile durch die Bewegung der Bleche langsam nach oben rutschen. Körperförmiges und steifes Material wird durch die Bewegung der Bleche (Paddel) permanent hochgeworfen und bewegt sich dabei entsprechend der Neigung nach unten. Flächiges und flexibles Material bleibt auf den Paddeln liegen. Die zu trennenden Materialien werden mehrmals beschleunigt und haben somit Zeit, sich in die richtige Fraktion einzuordnen. Öffnungen in den Blechen ermöglichen die gleichzeitige Absiebung von Feinanteilen.

---

<sup>8</sup> Schubert, Heinrich: Band II, a.a.O., 440 ff.

<sup>9</sup> ebenda, S. 440

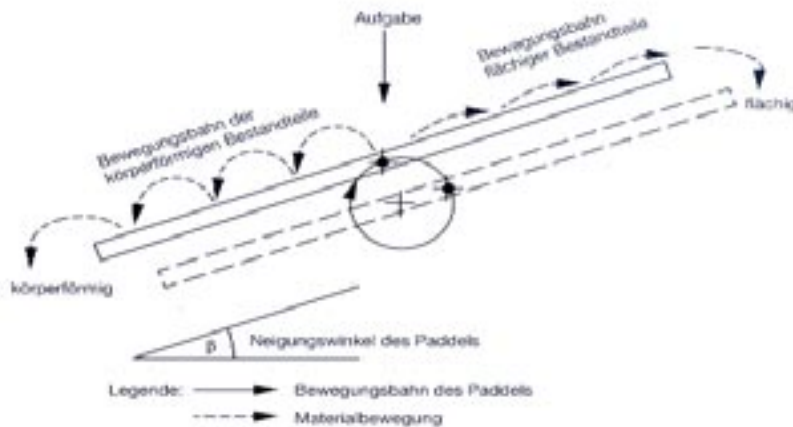


Abbildung 3-5: Prinzipskizze zum Paddelsichter

Die Trenneigenschaften sind in Grenzen durch Änderung der Neigung der Bleche, der Hub des Kurbelantriebes und der Frequenz der Schwingung variierbar. Bei größerer Neigung beispielsweise wird weniger flächiges, flexibles Material nach unten transportiert.

### 1.6.2 Sortieren nach Kornform

Bei diesen Verfahren werden bestimmte Abmessungen des Sortiergutes für die Trennung genutzt. Für die Sortierung von Leichtverpackungen kommt vor allem der Unterschied zwischen flächigem Material (zweidimensional), beispielsweise Folien, und körperförmigem Material (dreidimensional), zum Beispiel Hohlkörper, zum Tragen.

Bei der Schrägsortiermaschine ist ein geneigtes Förderband so eingestellt, dass flächiges, folienartiges Material nach der Aufgabe auf das Band aufgrund der Haftreibung auf dem Band liegen bleibt und von diesem nach oben transportiert wird. Körperförmiges Material rollt hingegen entsprechend der Neigung entgegengesetzt zur Bandbewegung nach unten.

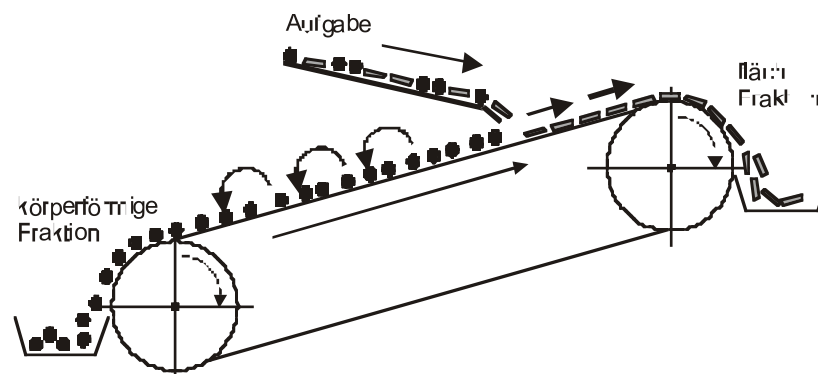


Abbildung 3-6: Prinzip der Schrägsortiermaschine

Wird das Band nicht längs, sondern quer geneigt, können die zu trennenden Bestandteile quer zur Transportrichtung auseinandergezogen werden und behindern sich weniger (Bauart Firma Bezner). Eine zusätzliche Klopfbewegung am Band sowie mitlaufende Kettenvorhänge auf der Fläche unterstützen die Sortierung. Die Trenneigenschaften lassen sich außerdem über die Bandgeschwindigkeit und die Neigung beeinflussen. Bei schnellerer Bandbewegung

und geringerer Neigung wird mehr körperförmiges Material vom Band mitgenommen. Nur ausgesprochen runde oder schwere Teile rollen ab.

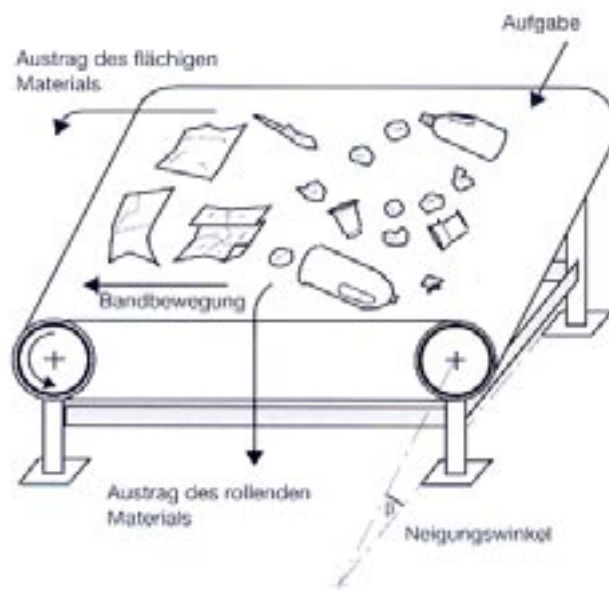


Abbildung 3-7: Schematische Darstellung einer Schrägsortiermaschine, Bauart Firma Bezner

Wegen der Inhomogenität des LVP-Materials in Bezug auf die Stückform ist die Trenngenauigkeit des Stoffstromes in flächige und körperförmige Bestandteile nicht sehr gut. Diese Aggregate werden deshalb nur noch vereinzelt eingesetzt.

## 4. Magnetscheidung

Ziel dieses Verfahrensschrittes ist zum einen die Gewinnung von Weißblechverpackungen gemäß Produktspezifikation. Zum anderen gewährleistet deren Aussortierung aber auch die Einhaltung der Produktspezifikationen für die übrigen Verpackungstoffe (Aluminium, Kunststoffe, Verbunde). Der dort festgelegte Grenzwert für den Metallgehalt darf nicht überschritten werden, damit in den nachfolgenden Aufbereitungs- und Verwertungsverfahren die notwendigen Produktqualitäten erreicht werden können und Maschinenschäden vorgebeugt wird. Ferner ist dieser Verfahrensschritt für einen sicheren Betrieb des nachgeschalteten Wirbelstromscheiders zur Aluminiumabtrennung notwendig.

### 1.7 Grundlagen

Mit Hilfe der Magnetscheidung können magnetisierbare Materialien, wie Weißblech, Eisen und Stahl aussortiert werden. Nichtmagnetisierbare Materialien sind beispielsweise Edelstahl, Aluminium und Kupfer<sup>10</sup>. Bei der Sortierung von Leichtverpackungen wird die Magnetscheidung vor allem zur Gewinnung der Weißblechfraktion eingesetzt.

Entscheidend für die Wirksamkeit eines Magnetscheiders ist neben dem Aufbau der Magneten insbesondere die erreichbare Feldstärke des Magnetfeldes im Bereich des Materialstromes. Je weiter das auszusortierende Stück vom Magneten entfernt ist, desto geringer ist dort die Feldstärke und umso geringer sind damit die Anziehungskräfte auf das Sortiergut. Weiterhin

---

<sup>10</sup> vertiefende Grundlagen Schubert, Heinrich: Bd. II, a.a.O.

maßgebend für den erfolgreichen Einsatz von Magnetscheidern sind der Verlauf der Feldlinien des magnetischen Feldes, die Fördergeschwindigkeit des Materials und die jeweiligen Eigenschaften des auszusortierenden Materials (u.a. Stückgröße, Form, Füllgutanhaftungen).

Das notwendige magnetische Feld kann durch Elektro- oder Permanentmagneten erzeugt werden. Von Elektromagneten erzeugte Magnetfelder sind weitreichender als die von Permanentmagneten. Dagegen können letztere mit geringem Aufwand recht hohe Feldstärken im Nahbereich erzielen.

## 1.8 Bauarten/Maschinentechnik

Für die Abscheidung von magnetischen Teilen aus Schüttgütern gibt es verschiedene Bauarten (siehe Abbildung 4-1). Die dargestellten Bauformen sind hauptsächlich für die Separation von Eisen aus feinkörnigen, trockenen Schüttgütern konzipiert.

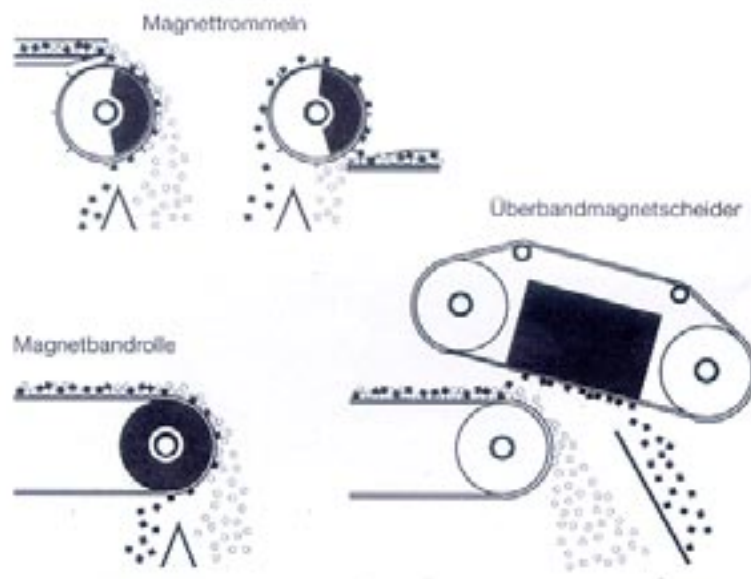


Abbildung 4-1: Bauformen von Magnetscheidern

Wegen der relativ großen Schütthöhe werden in Sortieranlagen fast ausschließlich Überbandmagnetscheider mit Elektromagneten eingesetzt. Über dem Stoffstrom ist das Magnetsystem aufgehängt. Um den Magneten läuft ein Förderband, das die aus dem Materialstrom herausgehobenen ferromagnetischen Metalle aus dem Magnetfeld herausbefördert und abwirft.<sup>11</sup>

Wie hoch der Magnet über dem Materialstrom aufgehängt werden kann, hängt von der wirksamen Tiefe des nach unten gerichteten Magnetfeldes ab. Der mögliche Abstand des Magneten zum darunter liegenden Band hängt weiterhin von der Schichthöhe des Materialstroms, beziehungsweise von der maximalen Stückgröße ab. Grundsätzlich sollte das Magnetsystem so nah wie möglich an das Material herangeführt werden, da mit größer werdendem Abstand die magnetische Kraft abnimmt. Es darf dadurch allerdings nicht zu Fehlausträgen kommen.

Von einigen Herstellern wird die Möglichkeit angeboten, den Überbandmagnetscheider zusätzlich zum aushebenden Magneten mit Wechselelektromagneten auszustatten. Der Magnet

<sup>11</sup> Fachlexikon Umwelt. Betrieblich relevante Umwelt-Fachbegriffe im thematischen Umfeld, Hrsg.: Mittag, Martin u.a., Augsburg 1995, Stichwort: Magnetsortierung

direkt über dem Förderband liefert dabei ein konstantes Magnetfeld, durch welches im Stoffstrom vorhandene Eisenteile (Weißblechteile) angezogen werden. In Förderrichtung des Überbandmagnetscheiders sind weitere Magnete in Wechselfolge angeordnet. Gelangt ein Weißblechteil in das hierdurch erzeugte Wechselfeld, so ändert es mehrmals seine Lage auf dem Austragsband. Einklemmte Folienanteile oder sonstige Fehlausträge können auf diese Weise wieder in den Materialstrom zurückgeführt werden. Je nach Bauart werden dabei Elektromagnete oder Permanentmagnete eingesetzt.

Überbandmagnetscheider können quer zum Förderband (Abbildung 4-2) oder längs über der Kopfrolle, am Abwurf des Materials (Abbildung 4-3) angeordnet werden. Der Einsatz in Längsrichtung ist vor allem deshalb zu bevorzugen, weil das Material an der Abwurfstelle aufgelockert ist. Die Bewegungsrichtung ändert sich beim Austragen des Weißblechses nicht und die Fehlausträge an unmagnetischem Material werden verringert.

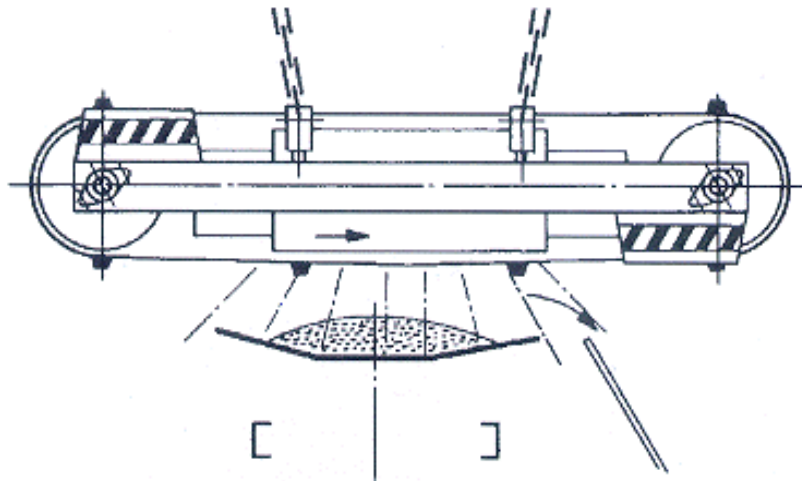


Abbildung 4-2: Überbandmagnetscheider in Queranordnung

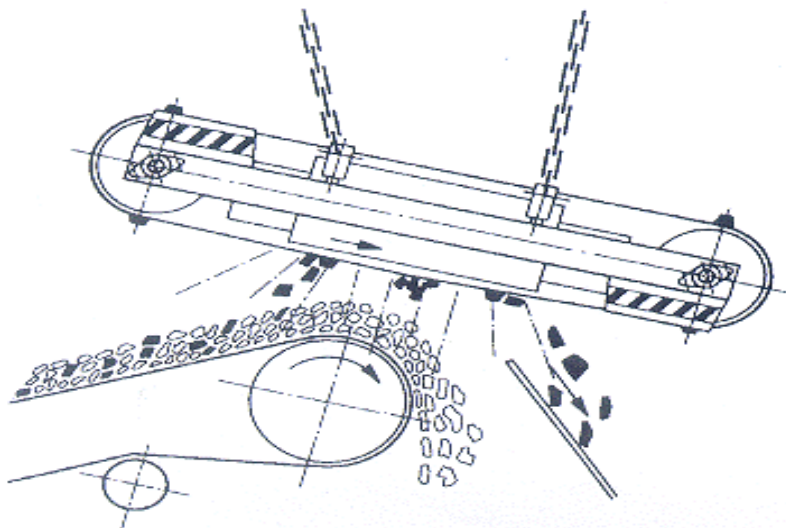


Abbildung 4-3: Überbandmagnetscheider in Längsanordnung

Die Einbindung des Magnetscheiders in das gesamte Verfahrenskonzept spielt eine wichtige Rolle für das Ausbringen und die Qualität der Weißblechfraktion.

Eine Behandlung des gesamten Stoffstromes (zum Beispiel direkt nach dem Gebindeöffner) ist nicht empfehlenswert. Durch die starke Inhomogenität des Materials an dieser Stelle besteht

die Gefahr, dass große Kunststoffteile, insbesondere Folien, durch darunter liegende Weißblechteile eingeklemmt und fehlausgetragen werden.

Ein Magnetscheider arbeitet besser, wenn das Material vorher gesichtet oder einer Formsartierung unterzogen wurde. Die Installation eines Magnetscheiders kann dann entsprechend der Beschaffenheit des Materialstromes erfolgen. Bei einer kleinteiligen Fraktion z.B. ist es vorteilhafter, wenn der Magnetscheider näher zum Förderband angebracht wird. Fehlasträge werden auf diese Weise weitgehend minimiert und auch kleine Eisenteile können erfasst werden.

Magnetscheider sind heute in fast allen Sortieranlagen für Leichtverpackungen installiert. Ohne den Einsatz von Magnetscheidern besteht die Gefahr, dass die vorgegebene Sortierquote für Weißblech nicht erreicht wird oder überproportionale Kosten für die Klaubung entstehen. Ohne Magnetscheider gelangen außerdem zu viele Weißblech- und Eisenteile in andere Sortierprodukte.

## 5. Wirbelstromscheidung

Ziel der Wirbelstromscheidung ist das Aussortieren von Metallen, die nicht magnetisierbar sind. Neben der Bezeichnung „Wirbelstromscheidung“ findet man in der Fachliteratur deshalb auch häufig den Begriff "Nichteisenmetall-Abtrennung".

Nichteisenmetalle sind beispielsweise Kupfer und Blei, im Bereich der Leichtverpackungen hauptsächlich aber Verpackungen aus Aluminium.

### 1.9 Grundlagen

Die Abtrennung der Nichteisenmetalle erfolgt durch einen im Prinzip relativ einfachen Prozess. Metallische Verpackungen werden vom Förderband weiter weggeschleudert als nichtmetallische Verpackungen. Dieses Phänomen lässt sich anhand zweier Magnetfelder erklären, die sich abstoßen. Bewirkt wird dieser Effekt durch das Aufeinandertreffen zweier gleicher magnetischer Pole (z.B. Nordpol  $\Leftrightarrow$  Nordpol).

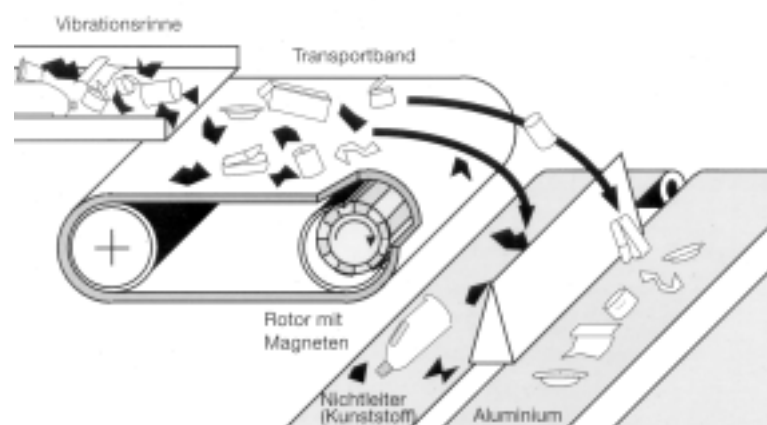


Abbildung 5-1: Aufbau eines Wirbelstromscheiders

Das erste Magnetfeld bildet sich um Magnete, die auf einem Polrad angeordnet sind, so dass stets Nordpol neben Südpol liegt (Wechselpolanordnung).

Das Polrad befindet sich in der Kopffrommel des Förderbandes, über das die Leichtverpackungen transportiert werden. Das Polrad dreht sich erheblich schneller als die Kopffrommel des Förderbandes. Hierdurch sowie durch die oben beschriebene

Wechseipolanordnung wird im Bereich der Kopftrommel ein sich änderndes Magnetfeld (magnetisches Wechselfeld) erzeugt.

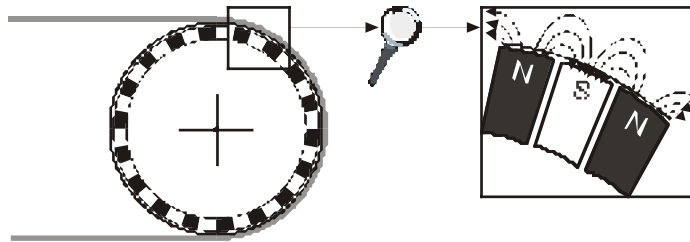


Abbildung 5-2: Feldlinienverlauf des magnetischen Feldes am Polrad

Das zweite Magnetfeld bildet sich um die abzutrennende aluminiumhaltige Verpackung. Werden elektrisch leitfähige, also metallische Leichtverpackungen in das oben beschriebene magnetische Wechselfeld befördert, so wird in diesen Verpackungen ein Strom erzeugt. Dieser Effekt wird auch als „Induktion“ bezeichnet. Da dieser in den metallischen Verpackungen induzierte Strom im Kreis fließt, d.h. keinen Anfang und kein Ende hat, nennt man diesen Strom auch „*Wirbelstrom*“. Der Wirbelstrom seinerseits erzeugt das zweite Magnetfeld, welches sich um die metallische Verpackung herum bildet. Dieses zweite Magnetfeld ist dem ersten Magnetfeld entgegengesetzt gerichtet (Lenz'sche Regel).

Durch die Abstoßung der beiden beschriebenen Magnetfelder kommt es zur Ablenkung der metallischen Verpackungen. So lässt sich die Abweichung von der normalen Flugbahn der aluminiumhaltigen Verpackungen erklären.

Bei Weißblechverpackungen dagegen ist die Magnetkraft stärker als die abstoßende Kraft, so dass sie in der Nähe des Polrads haften bleiben und den reibungslosen Ablauf der Nichteisenmetallscheidung stören würden. Es ist darum wichtig, Weißblechverpackungen bereits vorher abzutrennen.

Um eine möglichst weite Ablenkung der Nichteisenmetalle zu erzielen, müssen die Verpackungen gewisse Eigenschaften besitzen. So ist zum einen eine hohe elektrische Leitfähigkeit der Metalle von Vorteil, denn in diesem Fall ist das Magnetfeld, das sich um die Verpackung herum bildet, stärker. Hierdurch wird auch der Abstoßungseffekt verstärkt. Zum anderen beeinflusst ein geringes spezifisches Gewicht des Verpackungsmaterials den Ablenkprozess positiv, denn hier wirkt die Schwerkraft weniger stark als bei einem Material mit hohem spezifischem Gewicht. Diese beiden Voraussetzungen erfüllt Aluminium in hervorragender Weise. Es besitzt eine hohe Leitfähigkeit und ein geringes spezifisches Gewicht.

Eine weitere, für das Gelingen dieses Verfahrensschrittes wichtige Voraussetzung ist, dass das Verpackungsmaterial vereinzelt und nicht übereinander auf dem Förderband liegt. Die Tiefenwirkung des Magnetfeldes im Polrad ist nämlich nicht sehr groß. Ein vereinzelter Materialstrom wirkt sich positiv aus, da andere nichtmetallische Verpackungen (vor allem leichte Folien und Kunststoffe) nicht so leicht mit in die Aluminiumfraktion gerissen werden können.

## 1.10 Bauarten

Wirbelstromscheider unterscheiden sich im Wesentlichen durch die Art der Erzeugung des magnetischen Wechselfeldes. Das Wechselfeld kann beispielsweise durch Elektromagnete mit pulsierendem Strom erzeugt werden. In letzter Zeit sind neue magnetische Materialien entwickelt worden, mit denen höhere Feldstärken als bisher erreicht werden können. Infolgedessen konnten sich Wirbelstromscheider mit Permanentmagnetsystemen durchsetzen.

Ferner kann das Stoffgemisch auf unterschiedliche Weise in das magnetische Wechselfeld eingebracht werden.

In den Sortieranlagen für Leichtverpackungen werden die oben beschriebenen Wirbelstromscheider eingesetzt (zu weiteren Bauarten siehe Warlitz<sup>12</sup>). Bei dieser Bauart kann das Magnetsystem (Polrad) zentrisch oder exzentrisch zur Kopftrommel angeordnet sein. Die Magnete selbst müssen sehr nah an der Kopftrommel anliegen, da auch hier mit zunehmender Entfernung die Stärke des Magnetfeldes quadratisch abnimmt.

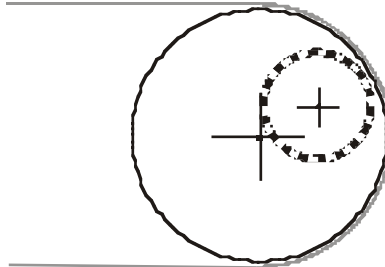


Abbildung 5-3: Exzentrisch angeordnetes Polrad am Wirbelstromscheider

Eine andere Bauart von Wirbelstromscheidern („System Exner“) wird von der Firma *Steinert* vertrieben. Der zu separierende Stoffstrom gelangt über eine Vibrorinne direkt auf das Polrad. Die durch das Polrad hervorgerufene Bewegung der Aluminiumteilchen ist genau entgegengesetzt zur Förderrichtung des übrigen Materials. Durch diese Aufspaltung wird eine höhere Verweilzeit im Magnetfeld erreicht, die zu besseren Trennergebnissen führt, vor allem auch bei kleinstückigen Teilen, und bei Teilen, die aufgrund ihrer Form nur geringe Wirbelströme ausbilden.

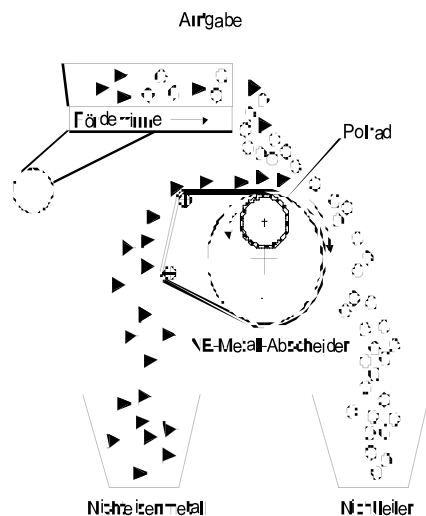


Abbildung 5-4: Wirbelstromscheider, System „Exner“, schematische Darstellung

Die Installation von Wirbelstromscheidern an Sortieranlagen für Leichtverpackungen ist unumgänglich, weil andernfalls die Sortierquote der Verpackungsverordnung nicht erfüllt werden kann und metallische Verunreinigungen in den anderen Wertstofffraktionen sehr stören.

<sup>12</sup> Warlitz, Götz: Separationsanlagen für Nichteisenmetalle, Sonderdruck aus: Aluminium. Internationales Magazin für Industrie, Forschung und Praxis, 11/1989, S. 1125-1131

geringeres Ausbringen, da nur greifbare Bestandteile erfasst werden	höheres Ausbringen, da auch kleinteilige Bestandteile enthalten sind
Kunststoffe bestehen hauptsächlich aus großen Stücken	ganze Bandbreite der Stückgröße ist erfasst
geringer Störstoffanteil	relativ hoher Störstoffanteil, da nur greifbare Störstoffe entnommen werden

## 6. Klauben

### 1.11 Grundlagen

Klauben ist ein Sortierverfahren, bei dem jedes einzelne Stück des Stoffstromes auf die ausgewählten Sortierkriterien hin geprüft und gegebenenfalls entnommen wird.

Zunächst kann man zwischen Handklauben (Handsortierung) und automatischem Klauben (automatische Sortierung) unterscheiden.

Weiterhin lassen sich die Verfahren nach der Art der Entnahme der Stoffe einteilen. Positiv-Sortierung liegt vor, wenn das Produkt (OUTPUT) gezielt dem Materialstrom (INPUT) entnommen wird. Bei der Positiv-Sortierung liegt das Hauptaugenmerk auf der Reinheit des Produktes.

Negativ-Sortierung liegt vor, wenn dem Materialstrom die Reststoffe (Störstoffe) entnommen werden, so dass das Produkt (OUTPUT) übrig bleibt. Das Hauptaugenmerk liegt hier auf der möglichst hohen Ausbringung des Produktes.

Die Entnahmeart - positiv oder negativ - wirkt sich unmittelbar auf die Zusammensetzung und die Sortierquote (Ausbringung) aus. Nachfolgend sind diese Auswirkungen beispielhaft für die Mischkunststoffe beschrieben.

#### *Abbildung 6-1: Charakterisierung der Mischkunststoffe*

Klauben kommt vor allem für diejenigen Fraktionen in Frage, die nicht eindeutig durch Materialeigenschaften wie Magnetisierbarkeit, elektrische Leitfähigkeit, Stückgröße oder Dichte zu identifizieren sind. Die hier betrachteten Verfahren zielen alle darauf ab, Wertstofffraktionen entsprechend den Produktspezifikationen zu gewinnen und dabei ein hohes Ausbringen an Wertstoffen zu gewährleisten.

Das Handklauben wird in den Sortieranlagen, die nach dem Stand der Technik zumindest mit einem NIR-Trennaggregat für Getränkekartons und Mischkunststoffe ausgestattet sind, nur noch zur Produktkontrolle herangezogen. Dabei werden die durch die verschiedenen Trennaggregate angereicherten Stoffströme auf Störstoffe kontrolliert.

## 1.12 Handklauben

Beim Handklauben prüft das Sortierpersonal an jedem Einzelteil aus dem Stoffstrom das entsprechende Trennmerkmal. Als Trennmerkmale dienen in den meisten Fällen Farbe und Form, gelegentlich auch andere optische Eigenschaften wie Glanz oder Lichtbrechung<sup>13</sup>.

Um ein ausreichendes Sortierergebnis erzielen zu können, müssen beim Klauben folgende Anforderungen erfüllt werden:

- deutliche Sichtbarmachung der Bestandteile des Stoffstromes durch weitgehende Vereinzelnung und gute Beleuchtung sowie
- genügend lange Verweilzeit des Materials in Greifweite der Sortierkräfte.

Die Verweilzeit wird unmittelbar von der Bandgeschwindigkeit bestimmt. Die Bandgeschwindigkeit, die dem Sortierpersonal zugemutet werden kann, hängt von der Korngröße und der Dichte des Materials ab. Sie beträgt in der Regel zwischen 0,1 und 0,2 m/s. Weitere Faktoren, die die notwendige Verweilzeit beeinflussen, sind die Kontinuität des Gutstromes auf den Sortierbändern und die Schwierigkeit der vom Sortierpersonal zu treffenden Entscheidung.

Bei der Handsortierung ist die Sortierleistung begrenzt. Die Klaubeleistung einer Sortierkraft beträgt nach verschiedenen Erhebungen<sup>14</sup> für Leichtverpackungen ca. 1.500 Stück pro Stunde. Die Gewichte für Verpackungen variieren zwischen 5 g und ca. 200 g. Dementsprechend können ca. 7,5 bis 300 kg pro Stunde absortiert werden. Dabei ist der Effekt der unterschiedlichen Stückgrößen noch nicht berücksichtigt. Mit fallender Stückgröße nimmt die Sortierleistung noch ab.

Bei *HTP*<sup>15</sup> wird das Ausbringen in Abhängigkeit von der Stückgröße für Aluminium angegeben (Abb. 6-2; das Ausbringen entspricht der Sortierquote). Eine wirtschaftliche Handsortierung beginnt erst bei einer Stückgröße von 80 mm. Dort liegt das Ausbringen bei ca. 25 %. Erst bei einer Stückgröße von ca. 100 mm wird ein Ausbringen von 50 % erreicht. Das durchschnittliche Ausbringen, gemittelt über die gesamte Stückgrößenverteilung und über alle Versuche liegt bei 50 %. Die in Abb. 6-2 gemachten Angaben sind sinngemäß auch auf die anderen Wertstofffraktionen übertragbar.

---

<sup>13</sup> Kellerwessel, Hans: Aufbereitung disperser Feststoffe. Mineralische Rohstoffe - Sekundärrohstoffe - Abfälle, Düsseldorf 1991, S. 104

<sup>14</sup> z.B. Schonert, Martina u. Heyde, Michael: Sortierung von LVP, AK Abfall- und Sekundärrohstoffwirtschaft des Fraunhofer-Instituts für Lebensmitteltechnologie und Verpackung, Januar 1995

<sup>15</sup> Planungsgrundlagen zur mechanischen Sortierung von Aluminiumverpackungen. Daten und Fakten zum Dualen System, zusammengestellt von HTP - Ingenieure für Umweltverfahrenstechnik im Auftrag von DSD, BDE, DAVR, Aachen 1994, S. 13

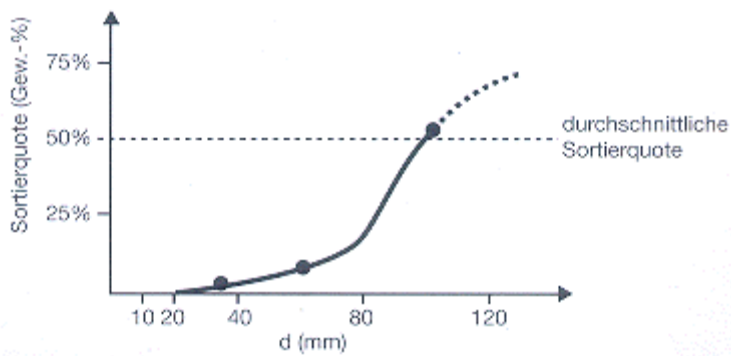


Abbildung 6-2: Stückgrößenabhängige Sortierquoten für Aluminiumverpackungen bei Handsortierung

Die bisher genannten Leistungen beziehen sich auf die Sortierleistung einer Sortierkraft. Das Gesamtergebnis der Handsortierung hängt aber insbesondere auch von der Anzahl der Sortierkräfte im Verhältnis zum Durchsatz ab. Dies wurde von HTP beispielhaft für den Wertstoff Aluminium untersucht. Ergebnis ist jedoch dabei, dass selbst bei geringeren Durchsätzen das Ausbringen für Aluminium kaum über 50 % steigt (siehe Abb. 6-3), was vor allem mit den geringen Stückgrößen der Aluminiumverpackungen zusammenhängt. Zum Vergleich: Bei ähnlichen Bedingungen liegt das Ausbringen für die erheblich größeren Getränkekartons bei 85 bis 90 %<sup>16</sup>.

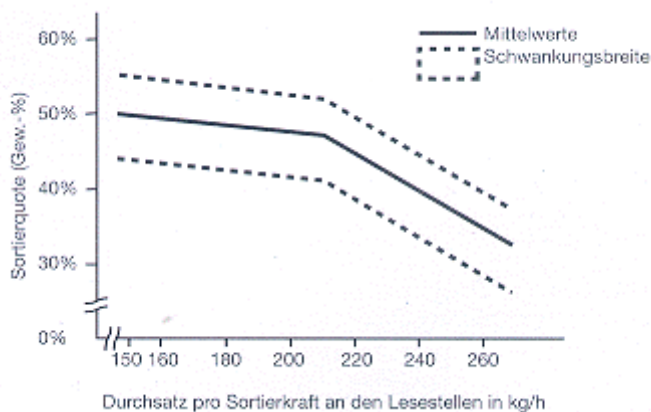


Abbildung 6-3: Sortierquote in Abhängigkeit des Massenstromes

Aus den beschriebenen Erkenntnissen lassen sich effektivitätssteigernde Maßnahmen hinsichtlich Durchsatz und Qualität bei den Wertstoffen ableiten:

- Reduzierung der Stückzahl auf dem Band und des Volumenstromes durch Stoffstromtrennung (z.B. Siebung);
- Abtrennung großer Bestandteile und des nicht von Hand sortierbaren Feinanteils;
- weitere Volumenreduzierung durch Stoffstromteilung und andere Sortierverfahren (z.B. Windsichtung oder Formsortierung);

<sup>16</sup> ebenda, S. 14

- Reduzierung des Volumenstromes vor dem Klauben durch Entnahme aller mechanisch abtrennbaren Bestandteile (z.B. über Magnetscheider);
- Vereinheitlichung durch Bildung von Fraktionen mit ähnlichem Aussehen (z.B. flächig oder körperförmig);
- Aussortieren der Fraktion mit dem geringeren Anteil;
- Aussortieren der grobstückigeren Fraktion;
- maximal zwei zu sortierende Fraktionen pro Sortierer, am besten sogar nur eine;
- kurze Wege zwischen Leseband und Abwurfschacht.

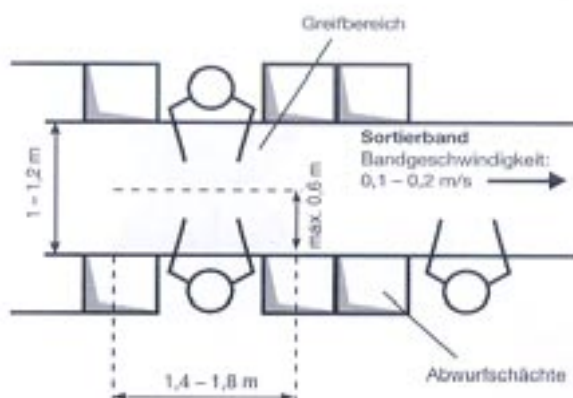
Die Effektivität der Sortierung wird natürlich auch durch die Arbeitsbedingungen, die Qualifizierung und die individuelle Einstellung des Sortierpersonals beeinflusst. Dabei müssen hygienische und arbeitspsychologische Aspekte beachtet werden, wie

- Temperatur und Belüftung am Arbeitsplatz,
- Sauberkeit,
- Wechsel der Tätigkeit.

### 1.12.1 Gestaltung der Handsortierung

Die übliche Bauweise von Sortierarbeitsplätzen besteht aus kontinuierlich laufenden Sortierbändern, in deren Nähe die Abwurfschächte für das Sortiergut angeordnet sind. Diese führen in darunter liegende Bunker oder auf Bunkerbänder.

Die Sortierkräfte stehen in der Regel seitlich der Bänder. Die Abwurfschächte sind rechts und links des Sortierarbeitsplatzes angeordnet, um die Wertstoffe mit wenig Kraft- und Zeitaufwand vom Band in die Bunker befördern zu können. So wird gleichzeitig gewährleistet, dass das Sortierpersonal ständig den Materialstrom beobachten kann. Die empfohlene Bandgeschwindigkeit liegt bei 0,1 bis 0,2 m/s. Die Arbeitstiefe bei einem Sortierarbeitsplatz beträgt normalerweise 60 cm<sup>17</sup>. Rechts und links, von der Sortierkraft aus gesehen, können je 70 bis 90 cm des Förderstromes bearbeitet werden (Abb. 6-4).



<sup>17</sup> Schubert, Heinrich, Bd. II, a.a.O., S. 431

Abbildung 6-4: Sortierarbeitsplatz in Draufsicht, Variante A

Eine andere Variante der Anordnung des Sortierpersonals ist in Abb. 6-5 dargestellt. Das Sortierband ist hier nur einseitig mit Personal besetzt. Absortiertes Material wird nach vorn in die Abwurfschächte geworfen, wodurch sich auch hier recht kurze Wege für die Materialentnahme ergeben. Bei einseitiger Anordnung der Arbeitsplätze sollte das Sortierband nicht breiter als 60 cm sein.

Die Abwurfschächte können dabei von zwei Sortierbändern flankiert werden. Nach einer Siebung des Materialstromes kann beispielsweise die Grobfraktion auf einem Band sortiert werden und die Feinfraktion auf dem anderen. Die Abwurfschächte werden dann von beiden Seiten benutzt.

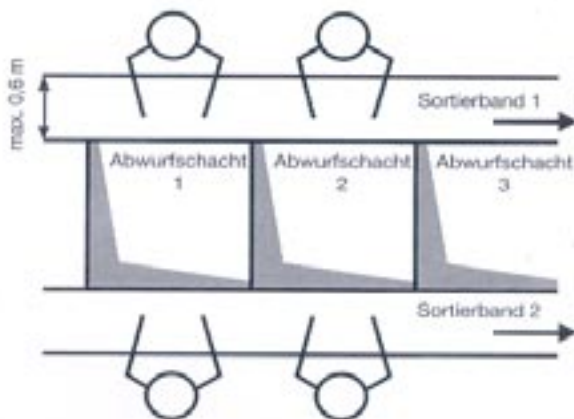


Abbildung 6-5: Sortierarbeitsplatz in Draufsicht, Variante B

An jedem Sortierarbeitsplatz werden ein bis zwei Fraktionen vom Förderband absortiert. Mehr Fraktionen überlasten das Sortierpersonal und führen somit zu Ungenauigkeiten bei der Sortierung. Aluminiumverpackungen stellen wegen ihrer zum Teil geringen Stückgröße und dem geringen Anteil am Gesamtstrom besondere Anforderungen an die Handklaubung. Um die geforderten Sortierquoten zu erreichen, muss in Anlagen ohne Wirbelstromscheider jeder Sortierer Aluminiumverpackungen absortieren. Diese werden dann in bereitgestellte Gefäße geworfen, die aufgrund der geringen Menge nur einige Male am Tage geleert werden müssen.

Ist kein Sieb oder Windsichter in der Anlage vorhanden, werden vom Leseband in der Regel zuerst die großen Folien absortiert, was zu einer spürbaren Volumenreduzierung führt. Als nächster Schritt folgt meist die Aussortierung von Hohlkörpern und Getränkekartons. Diese Fraktionen bereiten in Hinsicht auf Ausbringen und Qualität in der Regel keine Probleme, da es sich um große Teile handelt, die gut sichtbar und handhabbar sind.

In Deutschland wurde die Fraktion der Mischkunststoffe in der Anfangszeit meist durch Negativsortierung gewonnen. In diesem Fall ist das Ausbringen an Kunststoffen hoch, da auch sehr kleine Kunststoffteile mit in die Outputfraktion gelangen. Allerdings ist der Störstoffanteil bei der Negativsortierung deutlich höher als bei einer positiv aussortierten Mischkunststofffraktion. Seit Einführung der Qualitätsüberwachung an Sortieranlagen werden Mischkunststoffe fast ausschließlich positiv sortiert, da mit einer Negativsortierung die Produktspezifikation nur schwer erreichbar ist.

Eine weitere Voraussetzung für eine Negativsortierung mit qualitativ hochwertiger Produktausbeute ist, dass der Materialstrom durch Klassierung (Siebung), Sichtung oder

Formsortierung entsprechend vorbereitet wird. Nur so kann gewährleistet werden, dass Störstoffe in ausreichendem Ausmaß entnommen werden können.

Eine andere, aber kaum genutzte Möglichkeit der Gestaltung der Sortierarbeitsplätze ist die Positionierung der Sortierkräfte am Kopf des Bandes (Frontal- oder front-off-Arbeitsplätze), wie zum Beispiel von der Firma *Bezner* eingesetzt. Dabei läuft das zu sortierende Material frontal auf die Sortierkraft zu. Diese schiebt die Wertstofffraktionen nach links oder rechts auf dem Band, von wo diese in separate Schächte oder auf weitere Bänder fallen (Abb. 6-6).

Effektivitätssteigernd und qualitätsverbessernd bei diesem System ist, dass die Leistung jeder einzelnen Sortierkraft nachvollzogen werden kann. Der Abstand vom Förderband zum Abwurfschacht ist bei dieser Methode relativ gering, womit die Leistung an jedem Sortierarbeitsplatz gesteigert werden kann. Ein Nachteil dieses Verfahrens ist jedoch, dass der Stoffstrom für jeden Sortierer separat aufgeteilt werden muss. Entsprechend höher fällt der Aufwand für die Fördertechnik und Wartung derartiger Anlagen aus.

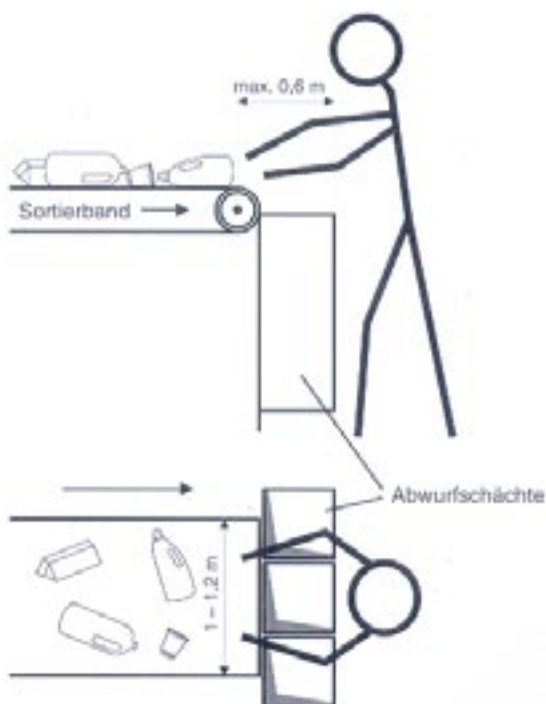


Abbildung 6-6: Schematische Darstellung eines Front-off-Arbeitsplatzes

### 1.13 Automatisches Klauben

Das automatische Klauben (Abb. 6-7) als Ersatz für das manuelle Klauben verläuft genau wie die Arbeit des Menschen in den Teilschritten

- Erkennen,
- Bewerten (Klassifizieren),
- Aussortieren<sup>18</sup>.

<sup>18</sup> Becker, Theo u.a.: Automatische Sortierung der DSD-Leichtstofffraktion mit Methoden der Bildverarbeitung und Spektroskopie unter Nutzung neuronaler Netze, in: Erfassung und Verwertung von Kunststoff, Hrsg.: Sutter, Hans, Berlin 1993

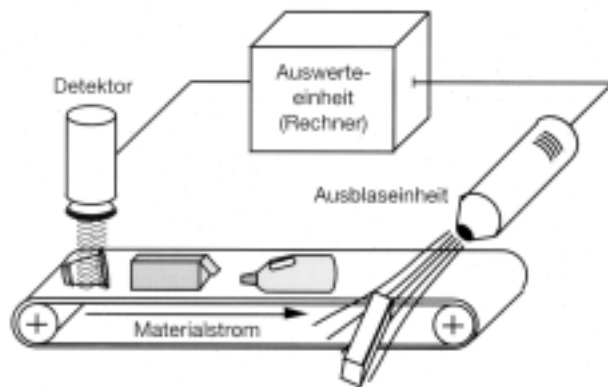


Abbildung 6-7: Schematische Darstellung des automatischen Klaubens

Die Erkennung der Leichtverpackungen erfolgt mit Sensoren unterschiedlicher Bauarten. Dabei werden je nach Aufgabenstellung ein oder mehrere Sensoren zum Erkennen herangezogen. Beispielsweise können Farbkameras mit oder ohne Bildverarbeitungseinheit, Metallsensoren oder Spektrometer eingesetzt werden. Mit Hilfe von Kameras kann die Farbe einer Verpackung bestimmt werden. Gemeinsam mit einer weiteren Lichtquelle kann festgestellt werden, ob es sich um eine durchsichtige oder undurchsichtige Verpackung handelt. Wird eine Bildverarbeitung eingesetzt, können zusätzlich Informationen zur äußeren Form ermittelt werden. Metallsensoren liefern Informationen über metallische oder metallhaltige Verpackungen.

Nahinfrarot (NIR) - Sensoren können zum Erkennen von Kunststoffsorten eingesetzt werden. Die Kunststoffe liefern bei der Bestrahlung mit Licht ein charakteristisches Spektrum im NIR-Bereich. Das gemessene Spektrum wird mit den in einer Datenbank gespeicherten Spektren verglichen. Auf dieser Grundlage erfolgt dann die Zuordnung zu einer bestimmten Kunststoffsorte.

Für relativ einfache Aufgabenstellungen reicht der Einsatz eines Sensors aus, wodurch auch die Bewertungseinheit (Software) weniger aufwendig gestaltet sein muß.

Komplexe Sortieraufgaben erfordern den Einsatz mehrerer, unterschiedlicher Sensoren, um Messwerte zu unterschiedlichen Eigenschaften zu ermitteln, wie z.B. Farbe oder Transparenz einer zu sortierenden Verpackung. Die ermittelten Messwerte werden dann durch sogenannte Klassifikatoren bewertet, um die Verpackung einer bestimmten Fraktion zuzuordnen. Die Klassifikatoren arbeiten beispielsweise auf Basis neuronaler Netze, deren Lernfähigkeit ein enormer Vorteil ist. Denn selbstverständlich müssen auch deformierte und verschmutzte Verpackungen der richtigen Fraktion zugeführt werden. Außerdem können sich solche Bewertungssysteme an wechselnde Bedingungen anpassen, wie beispielsweise an Verpackungsänderungen.

Ist das Objekt der entsprechenden Klasse zugeordnet worden, so muss es durch eine geeignete Vorrichtung in den Sammelbehälter der entsprechenden Fraktion ausgebracht werden. Üblicherweise wird dafür ein Druckluftstoß verwendet, der die Verpackung vom Band in die Sammelbehälter bläst. Versuche, Sortierroboter einzusetzen, scheiterten bislang daran, dass sie zu langsam arbeiten.

Für das automatische Klauben gelten die gleichen Anforderungen wie für die Handsortierung, wobei an die Vereinzelnung noch wesentlich höhere Ansprüche gestellt werden. Jede Verpackung muss für den Messfleck des Sensors erreichbar sein. Dieser ist bei vielen Geräten nur sehr klein ausgebildet. Es können vor allem körperförmige Materialien (Flaschen, Becher) abgetrennt werden. Folien bereiten meist beim Abblasen mit Druckluft Probleme, da sie ein unkontrolliertes Flugverhalten aufweisen. Sie sollten daher vorher abgetrennt werden. Bei keinen allzu großen Forderungen an die Reinheit und das Ausbringen können aber auch

flächenförmige Bestandteile mit der NIR-Technik sortiert werden. Im Einsatz sind Geräte zur Abtrennung von Papier aus Folienfraktionen im Mittelkornbereich (ca. 60 - 240 mm).

Der Durchsatz wird in erster Linie durch die Anforderungen an die Vereinzelung eingeschränkt. Von Vorteil ist hier, wenn mehrere Verpackungen gleichzeitig erkannt und abgetrennt werden können. Hingegen stellen weder das sensorische Erkennen noch die rechnergestützte Bewertung den Durchsatz begrenzende Faktoren dar.

### **1.13.1 Bauarten automatischer Klaubesysteme**

Inzwischen gehören Geräte zur automatischen Sortierung sowohl in LVP-Sortieranlagen als auch in den nachfolgenden Veredelungsanlagen zum Stand der Technik. Sie werden zurzeit für folgende Sortieraufgaben eingesetzt:

- Abtrennung von Getränkekartons;
- Summarische Abtrennung von Mischkunststoffen (wahlweise mit oder ohne Ausblendung von PVC);
- Abtrennung von verschiedenen Kunststoffarten (z.B. PE, PP, PS, PET), beliebige Kombinationen von Kunststoffarten und Verbunden;
- bestimmte Spezifikationen von Kunststoffarten (z.B. PS ohne EPS und ABS; PET-A, ohne PET-G und PET-Verbunde), soweit im NIR-Spektrum unterscheidbar;
- Abtrennung von PPK und PPK-Verbunden;
- Summarische Abtrennung von PPK, Aluminium und Getränkekartons;
- Abtrennung von Silikonkartuschen, PVC und anderen Störstoffen;
- Farbsortierung (z.B. für PET);
- Formerkennung von z.B. PET-Flaschen (Flaschen vs. sonstige PET-Artikel).

Die Lösung dieser Sortieraufgaben erfordert den Rückgriff auf spezifische Kombinationen von Gerätetypen, die nachfolgende Erkennungsprinzipien umsetzen:

- Materialerkennung (-> Nahinfrarot-Geräte),
- Farberkennung,
- Formerkennung.

Die Peripherie-Geräte zur Vereinzelung, Abtrennung und Ausschleusung der erkannten Fraktion bleiben dabei im Prinzip immer gleich.

Die NIR-Technik ist eine berührungs- und zerstörungsfreie Technologie zur Materialidentifizierung. Dabei werden die zu analysierenden Materialien mit hoher Geschwindigkeit (2,5 - 3 m/s) auf einem schwarzen Förderband unter die Erkennungseinheit transportiert, während des Vorbeifahrens analysiert und anschließend ausgeblasen. Während des Vorbeifahrens werden Lichtwellen auf die Objekte gesendet. Während ein Teil der Lichtwellen absorbiert wird, wird ein anderer Teil reflektiert. Das reflektierte Licht wird an ein Spektrometer weitergeleitet und im Nahinfrarot-Bereich (kurz NIR) analysiert. Der Nahinfrarot-Bereich befindet sich zwischen Lichtwellenlängen von 1.200 bis 2.000 nm. Auf Grund der molekularen Struktur der Materialien wird das Licht in bestimmten Wellenlängenbereichen auf eine materialtypische Art und Weise bevorzugt reflektiert bzw. absorbiert. Die Analyse ergibt ein so genanntes Spektrum.

Die Förderband-Breiten sind variabel und werden derzeit zwischen 0,5 - 2 m angeboten. Die wichtigsten Qualitätsmerkmale „Reinheit, Ausbringen und Durchsatz“ hängen neben der eingesetzten NIR-Technik und der Anzahl der Detektionen pro Objekt auch von begleitenden Faktoren wie Objektvereinzelung und Folienanteil (Vermeidung von Überlappungen auf dem

Förderband) ab. Grundsätzlich ist eine optimale Vereinzelung auf dem Förderband wünschenswert.

Die Abtrennung der erkannten Artikel erfolgt bei allen Anbietern mit Druckluft. Auf Düsen leisten angeordnete Düsenreihen blasen gezielt auf die zuvor identifizierten Artikel. Den unterschiedlichen Flugeigenschaften der Artikel wird durch Variation bei Luftdruck, Luftmenge und Düsenwinkel Rechnung getragen.

Spektrometer können jedoch nur an einem Punkt messen und liefern daher keine zweidimensionale Auflösung, die jedoch zur Positionsbestimmung der auszuschleusenden Objekte auf dem Sortierband erforderlich ist. Dieses Problem wird von den auf dem Markt erhältlichen Systemen zur Kunststoff-Identifizierung unterschiedlich gelöst.

Eine Lösungsvariante besteht darin, eine Zeile des Förderbandes mit einem Messfleck kontinuierlich zu scannen. Auf diese Weise wird die Bandfläche systematisch mit Messflecken übersät. Das reflektierte Licht jedes einzelnen Messfleckes wird über einen Parabolspiegel und einen rotierenden polyedrischen Spiegel zum Spektrometer weitergeleitet. Die in das Gerät eintretenden Lichtwellen passieren speziellen Filter, die einzelne Wellenbereiche des Spektrums ausblenden.

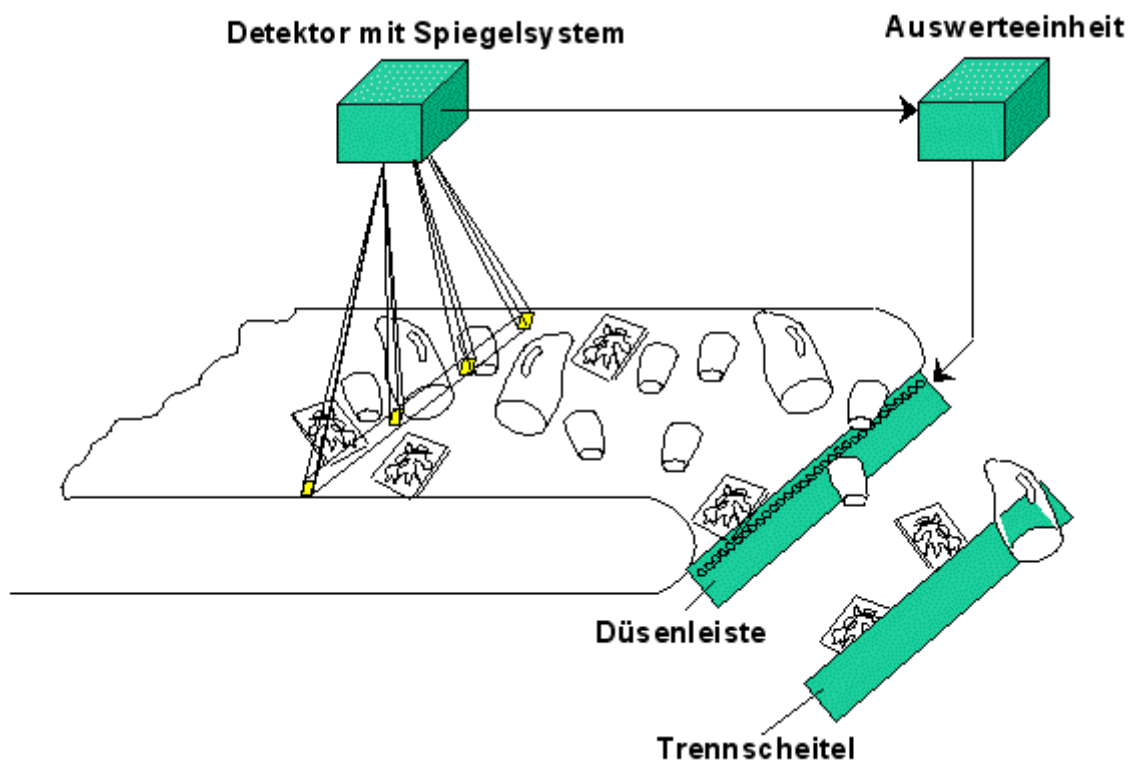


Abbildung 6-8: Räumliche Auflösung durch kontinuierliches Scannen der Bandoberfläche

Eine andere Möglichkeit zur Erzeugung der zweidimensionalen Auflösung besteht in der Kombination von Bildverarbeitung und NIR-Spektrometer (Material-, Farb- und Formerkennung). Die Bildverarbeitung erfolgt mit einer Flächenkamera. Die reflektierten Lichtwellen werden über ein Laser-Spiegelsystem an das Spektrometer weitergegeben. Während im ersten Schritt mit Hilfe der Kamera die genaue Position der Objekte auf dem Förderband ermittelt wird, werden zeitgleich zusätzliche Objektdaten (z.B. äußere Form und Farbe) erfasst und an den Rechner weitergeleitet. Im zweiten Schritt werden die Informationen des ersten Schrittes genutzt, um mit dem Spiegelsystem genau die Stellen

anzusteuern, an denen zuvor Objekte lokalisiert wurden. Jedes Objekt wird dabei an mehreren Stellen analysiert. Änderungen an der Sortierspezifikation (Wechsel des Zielpolymers) werden einfach über einen Berührungsbildschirm (touch-screen) eingegeben. Neben der Materialerkennung bietet diese Bauart also auch die Möglichkeit, Form und Farbe der Objekte zu erkennen und als Sortierkriterium heranzuziehen.

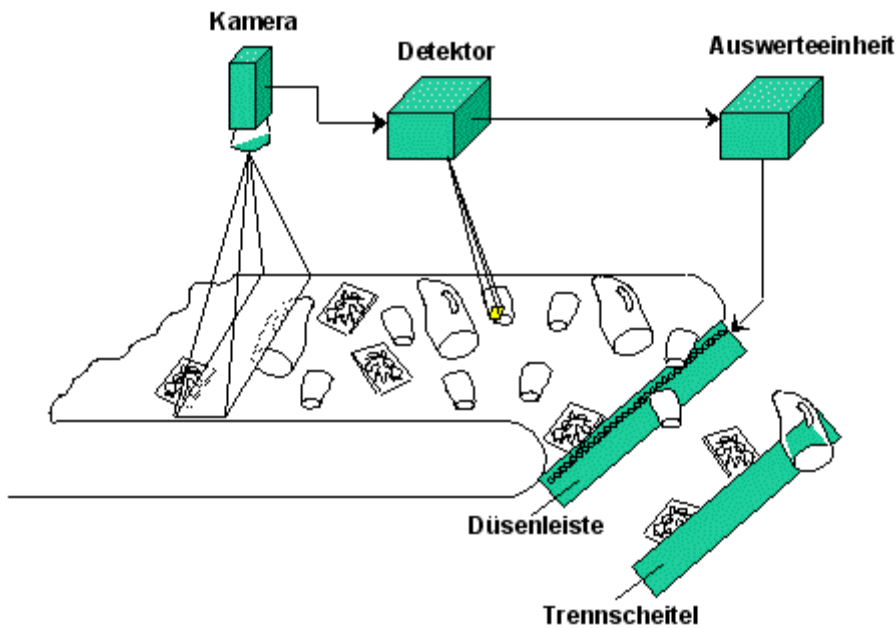


Abbildung 6-9: NIR-Trenner in Kombination mit Kamera

Eine dritte Möglichkeit zur räumlichen Auflösung bietet ein so genanntes Multiplex-System. Beim Multiplex-System sind über einem 1m-breiten Förderband 16 Messköpfe (optische Linsen) angebracht, die das Licht über Glasfaserkabel weiterleiten. Die Glasfaserkabel übergeben das Lichtsignal an eine sich drehende Lochscheibe, die jeweils ein aufgenommenes Lichtsignal an das Spektrometer weiterleitet.

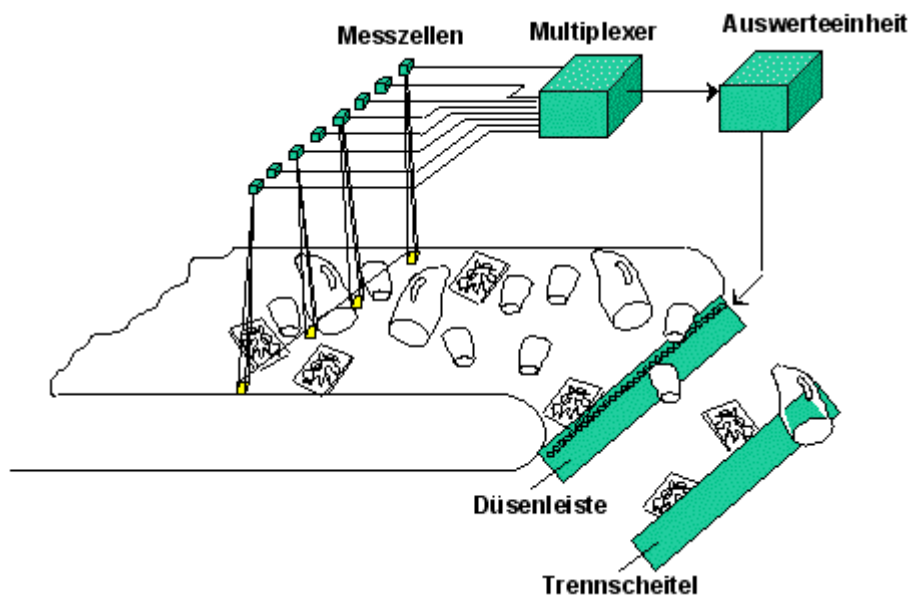


Abbildung 6-10: NIR-Trenner mit Multiplexsystem

Die Farbsortierung von Objekten kann grundsätzlich in Verfahren nach dem Auflicht- und nach dem Durchlichtprinzip unterschieden werden. Beiden Verfahren gemeinsam ist, dass von einer Lichtquelle Licht auf die zu sortierenden Objekte gestrahlt wird.

Beim Auflichtverfahren wird durch einen Farbdetektor das von den Objekten reflektierte Licht untersucht.

Das Durchlichtverfahren hingegen untersucht das durchstrahlende Licht und lässt sich daher nur bei transparenten Objekten anwenden. Da die zu untersuchenden Objekte weiterhin von mindestens zwei gegenüberliegenden Seiten zugänglich sein müssen, kann nicht auf einem Förderband gearbeitet werden. In der Praxis wird diese Anforderung dadurch gelöst, dass die Objekte im freien Fall oder Flug untersucht werden. Der Erkennung schließt sich dann sofort der Austrag der erkannten Objekte an.

Die Grenzen bei der Erkennung mit Hilfe der NIR-Technik liegen bei schwarz- oder dunkel- eingefärbten Kunststoffverpackungen, da diese kaum Lichtwellen reflektieren.

Folien oder andere leichte, flächige Verpackungen sollten vor der optischen Erkennung aus dem Produktstrom entfernt werden, da sie zu Überlagerungen neigen und sich bei hohen Fördergeschwindigkeiten unkontrolliert über das Beschleunigungsband bewegen.

Im Vergleich zur manuellen Sortierung sind durch den Einsatz automatischer Klauensysteme konstant hohe Ausbeuten (> 95 %) bezogen auf den auszusortierenden Wertstoff erreichbar. Weitere Vorteile:

- Diese Geräte ersetzen ermüdende Tätigkeiten unter schwierigen Bedingungen.
- Auch Klein- und Kleinstverpackungen können mit dieser Technik effizient sortiert werden.
- Auch durch den Menschen visuell nicht erkennbare Merkmale (z.B. Kunststoffart) können zur Sortierung herangezogen werden.

Es ist abzusehen, dass durch die stärkere Nutzung von mehreren Merkmalen zur Erkennung zukünftig noch komplexere Sortieraufgaben gelöst werden können. Beispielhaft hierfür ist der Einsatz automatischer Klauensysteme zur Produktkontrolle der Fraktion PET-Flaschen.

Die Nutzung der NIR-Technik zur Kunststoffartensortierung ist Stand der Technik in LVP-Sortieranlagen. Schon ca. 10 % des LVP-Aufkommens wird in Anlagen dieses Typs sortiert. Aufgrund der kontinuierlich steigenden Anforderungen des Marktes erweitert sich die Modellpalette der Geräte ständig.

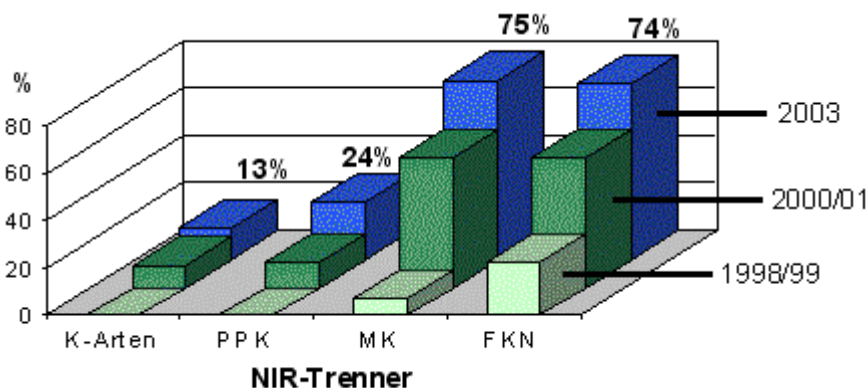


Abbildung 6-11: Anteil der Leichtverpackungen, die in Anlagen mit NIR-Trennaggregaten sortiert werden (Stand 2003)

## 7. Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1-1: Schematische Darstellung der Beanspruchungsarten .....	2
Abbildung 1-2: Schematische Darstellung des Gebindeöffners, Bauart der Firma BRT .....	3
Abbildung 1-3: Prinzipskizze Gebindeöffner, Bauart der Firma Gassner .....	4
Abbildung 2-1: Der Siebvorgang .....	5
Abbildung 2-2: Einteilung der Ausrüstung zum Siebklassieren nach der Siebgutbewegung .....	6
Abbildung 2-3: Schematische Darstellung eines Trommelsiebes .....	7
Abbildung 2-4: Aufbau eines Sternsiebes, Bauart Firma Thole .....	8
Abbildung 2-5: Funktionsweise eines Spannwellensiebes .....	9
Abbildung 3-1: Einteilung der Windsichter .....	12
Abbildung 3-2: Darstellung eines Windsichters, Bauart Firma Bezner .....	13
Abbildung 3-3: Windsichter für Leichtverpackungen, Bauart Firma Nihot .....	13
Abbildung 3-4: Grundlagen des Prallsprungprozesses .....	14
Abbildung 3-5: Prinzipskizze zum Paddelsichter .....	15
Abbildung 3-6: Prinzip der Schrägsortiermaschine .....	15
Abbildung 3-7: Schematische Darstellung einer Schrägsortiermaschine, Bauart Firma Bezner .....	16
Abbildung 4-1: Bauformen von Magnetscheidern .....	17
Abbildung 4-2: Überbandmagnetscheider in Queranordnung .....	18
Abbildung 4-3: Überbandmagnetscheider in Längsanordnung .....	18
Abbildung 5-1: Aufbau eines Wirbelstromscheiders .....	19
Abbildung 5-2: Feldlinienverlauf des magnetischen Feldes am Polrad .....	20
Abbildung 5-3: Exzentrisch angeordnetes Polrad am Wirbelstromscheider .....	21
Abbildung 5-4: Wirbelstromscheider, System „Exner“, schematische Darstellung .....	21
Abbildung 6-1: Charakterisierung der Mischkunststoffe .....	22
Abbildung 6-2: Stückgrößenabhängige Sortierquoten für Aluminiumverpackungen bei Handsortierung .....	24
Abbildung 6-3: Sortierquote in Abhängigkeit des Massenstromes .....	24
Abbildung 6-4: Sortierarbeitsplatz in Draufsicht, Variante A .....	26
Abbildung 6-5: Sortierarbeitsplatz in Draufsicht, Variante B .....	26
Abbildung 6-6: Schematische Darstellung eines Front-off-Arbeitsplatzes .....	27
Abbildung 6-7: Schematische Darstellung des automatischen Klaubens .....	28
Abbildung 6-8: Räumliche Auflösung durch kontinuierliches Scannen der Bandoberfläche .....	30
Abbildung 6-9: NIR-Trenner in Kombination mit Kamera .....	31
Abbildung 6-10: NIR-Trenner mit Multiplexsystem .....	31
Abbildung 6-11: Anteil der Leichtverpackungen, die in Anlagen mit NIR-Trennaggregaten sortiert werden (Stand 2003) .....	32