

Separationstechnologie für schwarze Kunststoffe

Andreas P. Wunsch

| | | |
|--------|---|-----|
| 1. | Wirkungsweise der tribo-elektrischen Aufladung..... | 268 |
| 2. | Die elektrostatische Separation – Materialanforderung und Aufbereitung | 268 |
| 2.1. | Materialfeuchte..... | 269 |
| 2.2. | Materialtemperatur..... | 269 |
| 2.3. | Staubfreiheit..... | 269 |
| 2.4. | Freiheit von störenden Substanzen an der Oberfläche | 270 |
| 2.5. | Binäre Stoffmischung..... | 271 |
| 3. | Der elektrostatische Separator..... | 271 |
| 3.1. | Aufladeeinheit | 271 |
| 3.2. | Separationseinheit..... | 272 |
| 3.2.1. | Die Ablenkung der Kunststoffe | 273 |
| 3.2.2. | Die eigentliche Separation | 273 |
| 4. | Praktische Erfahrungen im Bereich der Separation von ABS und PS für WEEE | 273 |
| 4.1. | Vorbehandlungen..... | 274 |
| 4.2. | Die elektrostatische Separation | 275 |
| 4.3. | Die elektrostatische Separation von gefülltem PP | 276 |

Die Separation von Kunststoffen im Recycling stellt vorhandene Separationstechnologien immer wieder vor neue Herausforderungen. Dabei spielt es keine Rolle, ob es sich um Produktionsabfälle oder post-consumer-Material handelt.

So lassen sich verschiedene Kunststoffe über die unterschiedlichen Charakteristiken, wie zum Beispiel Kunststoffart, Dichte oder Farbe trennen. Hier ist die Anwendung einer Schwimm-Sink-, NIR- oder Farbsortierung möglich.

Allerdings können auch Kunststoffgemische auftreten, bei denen eine Separation über diese Materialeigenschaften eine Trennung nicht ermöglicht. Gerade im Bereich des Elektronikschrottrecyclings fallen Materialgemische mit dunkler Farbe und gleicher Dichte an.

Mit Hilfe der elektrostatischen Kunststoffseparation ist eine Trennung dieser Gemische erzielbar, da diese vollkommen unabhängig von Farbe, Dichte und Zusammensetzung arbeitet. Allerdings sind auch hier Grenzen gesetzt. Eine Kombination verschiedener Verfahren ist daher zielführend.

1. Wirkungsweise der tribo-elektrischen Aufladung

Der Effekt der elektrostatischen Aufladung war bereits 577 v. Chr. dem Griechen Thales von Milet (626 bis 547 v. Chr.) bekannt. Er stellte fest, dass ein an einem Bernstein (griechisch: electron) geriebenes Wolltuch leichte Gegenstände wie etwa Watte anzieht. Der französische Physiker Charles Dufay (1698 bis 1739) fand heraus, dass es zwei Arten von Elektrizität gibt:

- die Glas-Elektrizität (électricité vitreuse) und
- die Harz-Elektrizität (électricité résineuse).

Später führte Franklin die Begriffe *Positive Elektrizität* und *Negative Elektrizität* ein.

Man fand heraus, dass die Dielektrizitätskonstante eine Rolle im Verhalten der Kunststoffe zueinander spielt. Kunststoffe mit einer höheren Dielektrizitätskonstante laden sich positiv gegenüber Kunststoffe mit einer niedrigeren Dielektrizitätskonstante auf.

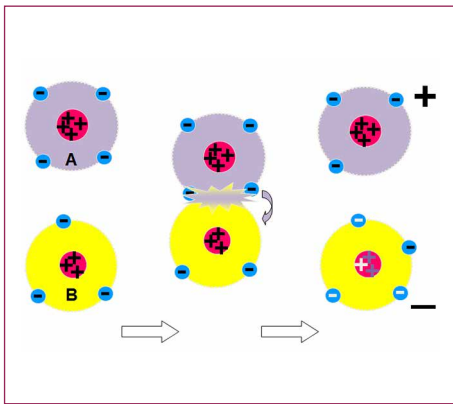


Bild 1: Vereinfachte Darstellung der tribo-elektrischen Aufladung

In der praktischen Anwendung bedeutet dies, dass zwei unterschiedliche Kunststoffe, mit unterschiedlichen Dielektrizitätskonstanten an Ihrer Oberfläche bei Kontakt Elektronen austauschen. Durch schnelles Trennen der Kunststoffteilchen haben die Elektronen keine Möglichkeit wieder zurück zu springen und verbleiben im jeweiligen Kunststoffteilchen. Je stärker der Impuls, und je schneller die Trennung, desto stärker ist die Aufladung.

Dieser Austausch von Elektronen ist somit unabhängig von der Farbe, oder Dichte der Kunststoffe.

2. Die elektrostatische Separation – Materialanforderung und Aufbereitung

Für die elektrostatische Kunststoffseparation ist die gegensätzliche Aufladung der einzelnen Kunststoffarten der Schlüssel für eine wirksame Trennung.

Die tribo-elektrische Aufladung geschieht ausschließlich an der Oberfläche der Kunststoffe. Aus diesem Grunde werden an die Oberfläche der Kunststoffe besondere Anforderungen gestellt, dies betrifft

- Materialfeuchte
- Staubfreiheit
- binäre Kunststoffmischung
- Materialtemperatur
- Freiheit von störenden Additiven

2.1. Materialfeuchte

Die Materialfeuchte spielt bei der tribo-elektrischen Aufladung eine große Rolle. Eine Aufladung zwischen zwei Kunststoffen kann nur erfolgen, wenn zwei Isolatoren vorliegen, damit die Ladung auf den Kunststoffteilchen verbleiben kann. Durch eine zu



Bild 2: Beispielhafte Darstellung eines thermischen Trockners

hohe Materialfeuchte wird die Oberfläche der Kunststoffe leitfähig und die unterschiedlichen Ladungen können wieder abfließen. Eine selektive Aufladung ist somit nicht möglich. Erfahrungen haben gezeigt, dass die Oberflächenfeuchte unter 0,2 Prozent liegen muss. Da, wie oben erwähnt, die gegensätzliche Aufladung der Kunststoffe nur an der Oberfläche geschieht, ist nur die Oberflächenfeuchte von Bedeutung. Die Materialfeuchte im Inneren des Kunststoffs ist irrelevant.

Um diese geforderte Materialfeuchte erreichen zu können ist eine thermische Trocknung notwendig. Hierfür haben sich Warmlufttrockner bewährt.

In Abhängigkeit von Materialart und Eingangsfeuchte variieren die Trocknungszeiten. Es ist auch zu beachten, dass die Temperatur der Warmluft nicht zu hoch gewählt wird, damit keine stofflichen Veränderungen auftreten und Kunststoffe mit einem niedrigen Schmelzpunkt nicht aufschmelzen und verbacken.

2.2. Materialtemperatur

Die Temperatur der zu trennenden schwarzen Kunststoffe hat einen Einfluss auf die Qualität der elektrostatischen Aufladung. Die Beweglichkeit von Elektronen an der Oberfläche der Kunststoffe ist bei höheren Temperaturen größer. Versuche haben gezeigt, dass das Aufladeverhalten einzelner Mischungen nach einer Erwärmung deutlich besser ist. Der Unterschied zwischen der positiven und negativen Ladung ist dabei höher und eine bessere Separation ist im elektrischen Feld möglich.

2.3. Staubfreiheit

Bei der Zerkleinerung von Kunststoffen entsteht mehr, oder weniger Staub, welcher stark von der Art des Kunststoffes abhängt. Auch dieser Staub wird bei der tribo-elektrischen Aufladung entsprechend polarisiert. Das bedeutet, dass sich Staubteilchen des

Kunststoffes A, welcher positiv geladen ist, an Teile des Kunststoffes B anlagern, welcher negativ geladen ist. Diese Überlagerung der Polaritäten beeinflusst die Separation, da die Differenz der unterschiedlichen Ladung verringert wird.



Bild 3: Beispielhafte Darstellung eines Entstaubers

2.4. Freiheit von störenden Substanzen an der Oberfläche

Verschiedene Aufbereitungsprozesse vor der elektrostatischen Trennung können unter Umständen die Separation im elektrischen Feld beeinflussen, oder gänzlich verhindern.

So werden zum Beispiel bei der Vorseparation von Polyolefinen sog. Entschäumer eingesetzt, die verhindern sollen, dass durch gelöste Reinigungsmittel und Seifen eine starke Schaumentwicklung entsteht. Umfangreiche Studien ergaben, dass der Einfluss dieser Entschäumer stark von seinen Inhaltsstoffen abhängt.

Ebenso werden im Elektronikschrottreycling verschiedene Medien für eine Schwimm-Sink-Trennung eingesetzt. Hier kommen verschiedene Salze zum Einsatz, die unterschiedliche Einflüsse auf die elektrostatische Aufladung haben.

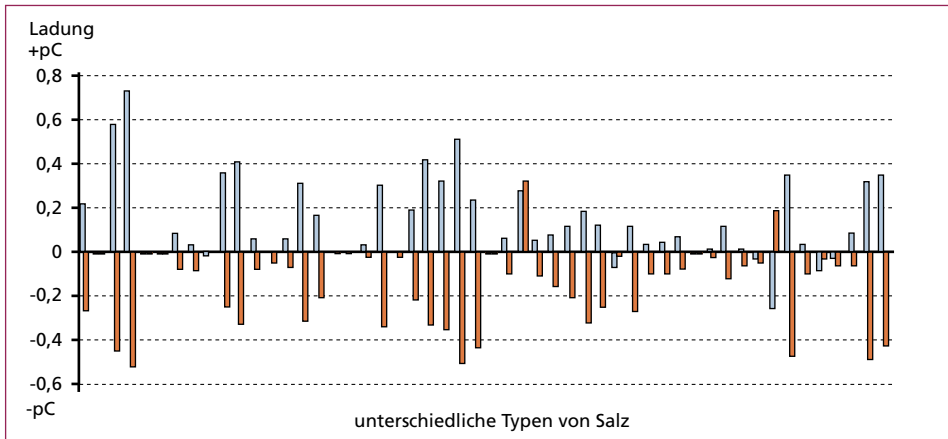


Bild 4: Einfluss unterschiedlicher Salze der Schwimm-Sink-Trennung auf die elektrostatische Separation

Studien der Firma hamos zu Folge ist eine gründliche Spülung der Kunststoffe mit Wasser nach einer Benetzung mit dem *falschen* Salz nicht mehr möglich. Das Salz lagert sich an der Oberfläche an und verhindert irreversibel eine elektrostatische Aufladung.

2.5. Binäre Stoffmischung

Da die elektrostatische Separation immer auf Basis der Aufladung in eine positiv geladene und eine negativ geladene Fraktion beruht, und keine dritte Ladung physikalisch zur Verfügung steht, können nur Zwei-Stoff-Gemische getrennt werden.

Allerdings ist es möglich eine dritte Kunststoffart aus einem solchen Gemisch abzutrennen, wenn diese nur in einem kleinen Massenanteil vorhanden ist.

| | | | |
|---|-----------|-----------------------------|-----------------------|
| + | POM | Polyoximethylen | |
| | PU | Polyurethan | |
| | PMMA | Polymethylmethacrylat | |
| | PC | Polycarbonat | <i>Plexiglas</i> |
| | PA | Polyamid | <i>Nylon</i> |
| | ABS | Acrylnitril-Butadien-Styrol | |
| | PS | Polystyrol | |
| | PP | Polypropylen | |
| | PE | Polyethylen | |
| | PET | Polyethylenterephthalat | <i>Polyester</i> |
| | RUC | Chlorkautschuk | |
| | Weich-PVC | Polyvinylchlorid (soft) | |
| | Hart-PVC | Polyvinylchlorid (rigid) | |
| | | Silikon /silicone | |
| | - | PTFE | Polytetrafluorethylen |

Hintergrund ist, dass sich verschiedene Kunststoffe nicht nur positiv, oder negativ zueinander aufladen, sondern sich auch in der Intensität der Ladung unterscheiden können. In der praktischen Anwendung im Elektronikschrottreycling bedeutet dies, dass sich neben ABS und PS auch gefülltes PP (sogenanntes PP-20) im Eingangsmaterial befindet. Während der elektrostatischen Aufladung lädt sich das ABS positiv und das PS negativ auf. Wie im Bild 5 zu sehen ist, befindet sich PP auf der *negativen* Seite von ABS und PS und wird somit negativer als PS aufgeladen. Im elektrischen Feld bedeutet dies, dass das gefüllte PP weiter abgelenkt und abgetrennt wird.

Bild 5: Das Verhalten verschiedener Kunststoffe zueinander bei der tribo-elektrischen Aufladung

3. Der elektrostatische Separator

Der elektrostatische Separator besteht im Wesentlichen aus der Aufladeeinheit und der Separationseinheit.

3.1. Aufladeeinheit

Wie oben angeführt ist es von großer Wichtigkeit, dass das zu trennende Materialgemisch sehr gut gegensätzlich aufgeladen wird. Nur dann ist eine Separation möglich. Am Beispiel des elektrostatischen Separators hamos EKS soll dies verdeutlicht werden.

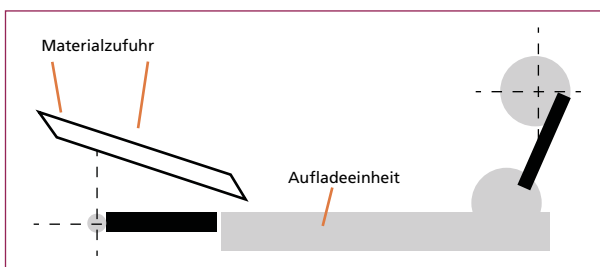


Bild 6:

Beispielhafte Aufladeeinheit

Zu separierendes Material wird zunächst in einem Aufgabebunker gegeben. Von dort wird es mittels eines Vibrationsförderers in die Aufladeeinheit dosiert. Die speziell gestaltete Aufladeeinheit wird mit hoher Geschwindigkeit nach oben und unten bewegt. Diese vertikale Bewegung bewirkt, dass das Material gegeneinander geschlagen, und dass das Material durch die Aufladeeinheit gefördert wird.

Studien haben ergeben, dass eine bestimmte Verweildauer in der Aufladeeinheit für eine optimale Separation nötig ist.

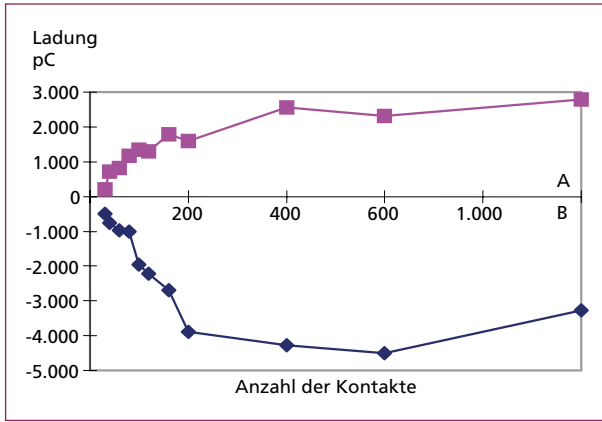


Bild 7:

Relation zwischen Anzahl der Kontakte und Ladung in der Aufladeeinheit

Wichtig ist, dass die Füllmenge der Aufladeeinheit immer konstant bleibt, damit immer genügend Partner zum Tausch der Elektronen vorhanden sind. Wird die Aufladeeinheit mit einer zu geringen Füllmenge betrieben, fehlen diese Partner und eine ungenügende Anzahl von Elektronen tauscht ihre Position von einem Kunststoff zu dem Anderen.

3.2. Separationseinheit

In der Separationseinheit werden die gegensätzlich aufgeladenen Kunststoffe entsprechend ihrer Ladung abgelenkt und separiert.

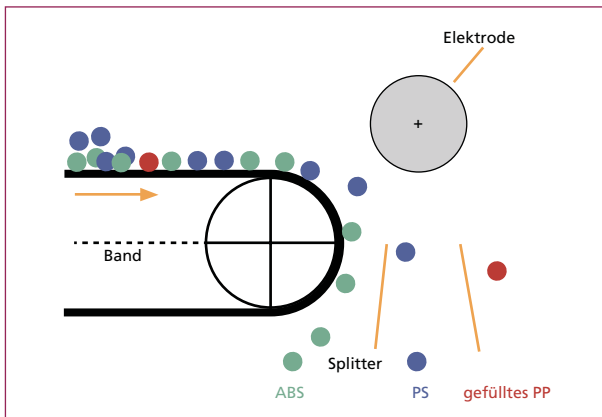


Bild 8:

Beispielhafte Separationseinheit

3.2.1. Die Ablenkung der Kunststoffe

Kunststoffe, die weder geladen, noch durch ein elektrisches Feld transportiert werden, würden lediglich nach dem Gesetz der Schwerkraft, oder/und der Zentrifugalkraft dieses Feld passieren. Erst die Ladung, oder das polare Feld ermöglichen eine Separation.

Hierfür wird ein Hochspannungsfeld benützt. Dieses Feld kann mit einer positiven, oder einer negativen Ladung betrieben werden. Die Art der Ladung entscheidet, ob positive geladene Kunststoffteile von der Elektrode angezogen, oder abgestoßen werden. Diese Elektrode wird mit bis zu 35.000 Volt betrieben. Je nach Art des Kunststoffes, der Zusammensetzung und des Separationsziels wird die entsprechende Polarität gewählt.

3.2.2. Die eigentliche Separation

Die eigentliche Separation der Kunststoffe findet nach dem elektrostatischen Feld statt. Hier wird der Materialstrom, welcher im elektrischen Feld aufgefächert wurde, mittels Trennbleche separiert. In der Regel werden hier drei Fraktionen erzeugt. Die Position der Trennbleche entscheidet über die erzielte Reinheit und Ausbringung eines Kunststoffes. Reinheit und Ausbringung stehen in starker Relation zueinander. Da das Trennblech in den Materialstrom gestellt wird, können sehr sortenreine Fraktionen erzielt werden, bei denen aber die Ausbringung relativ gering ist. Im Gegensatz dazu können sehr hohe Ausbringungen erzielt werden, die aber unter Umständen eine geringe Reinheit der jeweiligen Kunststofffraktion bedeuten.

In der Regel wird je Separationsdurchgang eine Kunststoffart sauber abgetrennt. Die anfallende Mischfraktion wird in einer zweiten Separationsstufe aufbereitet.

In Abhängigkeit von der Qualität des Eingangsmaterials und der geforderten Reinheiten ist eine einstufige Separation durchaus möglich. Hier werden beide Kunststoffe in nur einer Stufe in zwei sortenreine, entsprechend der geforderten Reinheit, Kunststofffraktionen abgetrennt.

4. Praktische Erfahrungen im Bereich der Separation von ABS und PS für WEEE

Im Elektronikschrottreycling wird das Hauptaugenmerk auf die Separation von Metallen gelegt. Gerade Edelmetalle sind im Fokus.

Aber auch Kunststoffe sind es wert, separiert und zurückgewonnen zu werden. Die stoffliche Zusammensetzung im Bereich des Kunststoffes ist sehr vielfältig. Dies ist historisch und von der Vielzahl der Hersteller elektronischer Geräte bedingt. Auch die verschiedenen Anwendungen der einzelnen Kunststoffe bestimmen ihre Verwendung. So werden unter anderem Flammhemmer eingesetzt, welche es zu separieren gilt.

Wenn man nur die verwendbaren Kunststoffe aus dem Elektronikschrott betrachtet, findet man eine Majorität von ABS und PS. Diese beiden Kunststoffe machen circa einen Anteil von 50 bis 60 % aus, und sind somit interessant zu separieren.

Andere Kunststoffe, wie zum Beispiel PC, kommen auch in der ursprünglichen Zusammensetzung vor, sind aber wegen ihres geringen Aufkommens nicht interessant für einen umfangreichen Separationsprozess.

Das ABS und PS besitzen die idealen Voraussetzungen für eine elektrostatische Separation. Beide Kunststoffe sind hauptsächlich in schwarzer, oder dunkler Farbe gehalten und kommen in einer Mischung von circa 50/50 vor. Kunststoffe mit diesen Eigenschaften können gut elektrostatisch getrennt werden.

4.1. Vorbehandlungen

Wie in den oberen Kapiteln dargestellt, ist eine Vorbehandlung des Eingangsmaterials notwendig, um letztlich eine separierbare Mischung aus ABS und PS zu erhalten. Hierbei wird auf eine Kombination von Nass- und Trockenprozess gesetzt. Zu Beginn ist es wichtig, dass im Vorfeld alle Metalle bestmöglich abgetrennt wurden. Verbleibende Metalle behindern den nachfolgenden Separationsprozess.

Mit Hilfe mehrerer Separationsstufen werden alle störenden Inhaltsstoffe wie Staub, Fasern, Metalle und unerwünschte Kunststoffe separiert. Hierzu wird das Eingangsmaterial gesiebt, windgesichtet und mittels einer Schwimm-Sink-Trennung separiert. Diese erfolgt zweistufig, um alle störenden Kunststoffe, wie Polyolefine, PVC, Flammschutzmittel und so weiter abtrennen zu können. Letztlich bleibt eine weitestgehend reine ABS/PS-Mischung übrig.

Da die Vorbehandlung in der Regel mit größeren Korngrößen durchgeführt wird, ist eine anschließende Zerkleinerung der Kunststoffteile notwendig. Hier wird neben der Zerkleinerung das Material auch an der Oberfläche getrocknet. Dies ist für die weitere elektrostatische Separation wichtig, da so Verunreinigungen wie Holz, Metalle und leitfähige Kunststoffe abgetrennt werden können. Eine Entstaubung reinigt das Mahlgut von feinen Partikeln und Staub.

Nach einer abschließenden Trocknung und Erwärmung des ABS/PS-Gemisches kommen wir zu der elektrostatischen Kunststoffseparation.

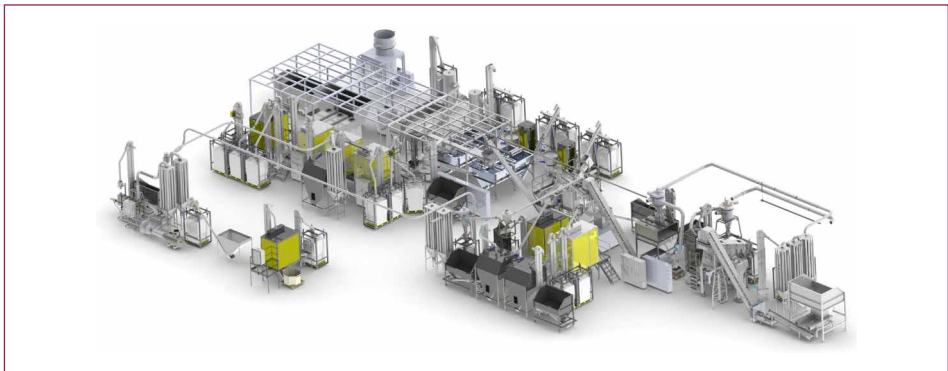


Bild 9: Beispielhafte Darstellung einer Separationslinie für Elektronikschrott

4.2. Die elektrostatische Separation

Das unter 4.1. vorbereitete Material wird nun mittels elektrostatischer Separation in eine saubere ABS- und eine saubere PS-Fraktion separiert.

Hierzu wird der Elektrostatische Separator so eingestellt, dass eine sortenreine ABS-Fraktion in der ersten Separationsstufe erzielt wird. Gleichzeitig werden noch vorhandene Verunreinigungen von gefülltem PP abgetrennt. Da dieses PP im gleichen Dichtebereich wie ABS/PS liegt, ist eine Separation mittels Schwimm-Sink nicht möglich. Somit erhält man in dieser Separationsstufe ein sauberes ABS, eine Mischung aus PS und ABS und eine PP20/PS-Fraktion.

Die Mischung aus PS und ABS wird danach in einer zweiten Separationsstufe weiterbehandelt. Hier wird nun der elektrostatische Separator so eingestellt, dass eine saubere PS-Fraktion entsteht. Auch hier wird gefülltes PP abgetrennt. Die letztlich verbleibende ABS/PS-Mischung wird der elektrostatischen Separation wieder zugeführt.

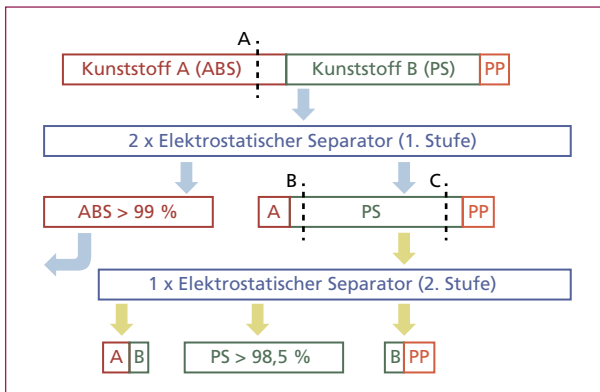


Bild 10:

Zweistufige elektrostatische Separation für ABS und PS

Durch die Rückführung der letztlich verbleibenden Mischung von ABS und PS ist der Materialverlust an ABS und PS sehr gering.



Bild 11: Saubere Kunststoffe ABS (links) und PS (rechts)

4.3. Die elektrostatische Separation von gefülltem PP

Kreide-gefülltes PP ist ein Material, welches in vielen elektronischen Geräten Verwendung findet. Dieses sogenannte PP20 ist mit etwa 20 Prozent Kreide gefüllt und hat exakt dieselbe Dichte wie ABS und PS. Nach der Schwimm-Sink-Trennung erhält man also dieses Polypropylen als Beifang zusammen mit ABS und PS.

Wie oben bereits erklärt ist es mit Hilfe der Elektrostatik möglich auch diese Verunreinigung aus der ABS und PS Fraktion zu separieren.

Ansprechpartner



Dipl.-Ing. Andreas Peter Wunsch

hamos GmbH Recycling- und Separationstechnik

Vertrieb

Im Thal 17

82377 Penzberg, Deutschland

+49 8856-9261-0

andreas.wunsch@hamos.com

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.dnb.de> abrufbar

Stephanie Thiel • Olaf Holm • Elisabeth Thomé-Kozmiensky
Daniel Goldmann • Bernd Friedrich (Hrsg.):
Recycling und Rohstoffe – Band 12

ISBN 978-3-944310-46-6 Thomé-Kozmiensky Verlag GmbH

Copyright: Elisabeth Thomé-Kozmiensky, M.Sc., Dr.-Ing. Stephanie Thiel, Dr.-Ing. Olaf Holm
Alle Rechte vorbehalten

Verlag: Thomé-Kozmiensky Verlag GmbH • Neuruppin 2019

Redaktion und Lektorat: Dr.-Ing. Stephanie Thiel, Dr.-Ing. Olaf Holm,
Elisabeth Thomé-Kozmiensky, M.Sc.

Erfassung und Layout: Elisabeth Thomé-Kozmiensky, Claudia Naumann-Deppe,
Janin Burbott-Seidel, Ginette Teske, Sarah Pietsch, Roland Richter,
Cordula Müller, Gabi Spiegel

Druck: Beltz Grafische Betriebe GmbH, Bad Langensalza

Dieses Werk ist urheberrechtlich geschützt. Die dadurch begründeten Rechte, insbesondere die der Übersetzung, des Nachdrucks, des Vortrags, der Entnahme von Abbildungen und Tabellen, der Funk-sendung, der Mikroverfilmung oder der Vervielfältigung auf anderen Wegen und der Speicherung in Datenverarbeitungsanlagen, bleiben, auch bei nur auszugsweiser Verwertung, vorbehalten. Eine Vervielfältigung dieses Werkes oder von Teilen dieses Werkes ist auch im Einzelfall nur in den Grenzen der gesetzlichen Bestimmungen des Urheberrechtsgesetzes der Bundesrepublik Deutschland vom 9. September 1965 in der jeweils geltenden Fassung zulässig. Sie ist grundsätzlich vergütungspflichtig. Zuwiderhandlungen unterliegen den Strafbestimmungen des Urheberrechtsgesetzes.

Die Wiedergabe von Gebrauchsnamen, Handelsnamen, Warenbezeichnungen usw. in diesem Werk berechtigt auch ohne besondere Kennzeichnung nicht zu der Annahme, dass solche Namen im Sinne der Warenzeichen- und Markenschutz-Gesetzgebung als frei zu betrachten wären und daher von jedermann benutzt werden dürfen.

Sollte in diesem Werk direkt oder indirekt auf Gesetze, Vorschriften oder Richtlinien, z.B. DIN, VDI, VDE, VGB Bezug genommen oder aus ihnen zitiert worden sein, so kann der Verlag keine Gewähr für Richtigkeit, Vollständigkeit oder Aktualität übernehmen. Es empfiehlt sich, gegebenenfalls für die eigenen Arbeiten die vollständigen Vorschriften oder Richtlinien in der jeweils gültigen Fassung hinzuzuziehen.