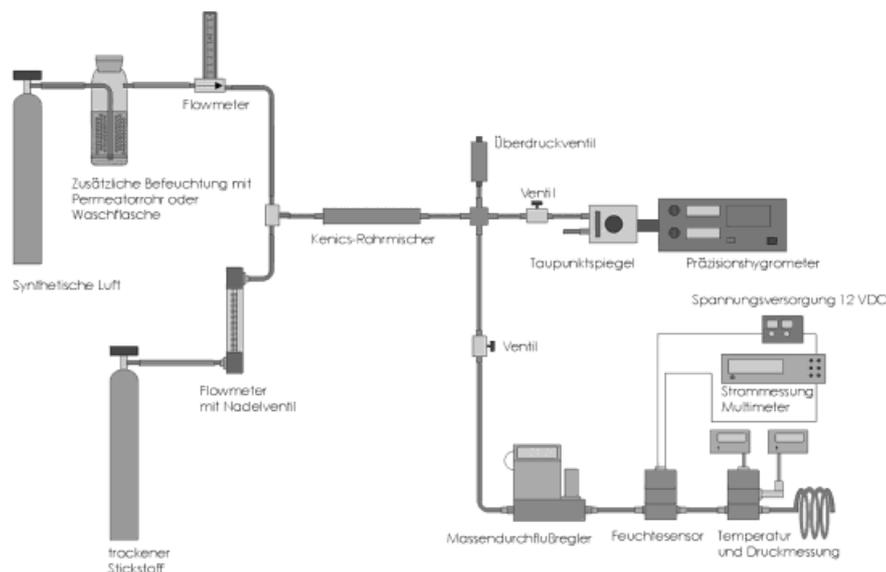


Abbildung 3.
Messplatz der BAM, Berlin, zur Prüfung und Kalibrierung von Spurenfeuchte-
sensoren.



stanten Gasstrom am Taupunkthygrometer und dem Feuchtesensor sorgen die Ventile und Massendurchflußregler. Als Referenzwert für die Gasfeuchte wird der Frostpunkt bestimmt, ebenso werden der Druck und die Temperatur des Gasgemisches am Feuchtesensor gemessen. Die Kalibriereinrichtung wird eingesetzt für die Zertifizierung von Messgeräten sowie für die Ermittlung von Sensorkennlinien bei wechselnden Gaszusammensetzungen. Im normalen Betrieb ist eine Kalibrierung des Feuchtemessgerätes inklusive Sensor nicht erforderlich.

5 Einsatzbereiche

Für den Einsatz von Verfahren zur Ermittlung des Feuchtegehaltes in gasförmigen Medien spielt ihre Effizienz eine wichtige Rolle. Das bedeutet, dass das Verfahren unabhängig vom zu messenden Medium arbeiten und die Funktion kontrollierbar sein muss. Außerdem sind die Kosten für die Regenerierung, Kalibrierung und Justage möglichst gering zu halten.

Die im AQUATRACE verwendeten, medienberührenden Werkstoffe sind Glas, Platin oder Platin-Rhodium-Legierungen und austenitischer Cr/Ni-Stahl. Für das Gehäuse wird PVDF-Kunststoff verwendet, Phosphorsäure dient als Reagenz. Damit ist dieses Verfahren auch in korrosiven Medien wie HCl und Cl₂, reduzierenden und oxidierenden Gasen und gasförmigen Kohlenwasserstoffen, kurz in allen Gasen und Dämpfen, die mit P₂O₅ nicht reagieren, einsetzbar.

In Verbindung mit der internen Kontrollmöglichkeit mittels Sensorcheck und Servicestecker ist die Überprüfung jederzeit möglich, und im Falle von Abweichungen ist die Regenerierung praktisch „kostenfrei“ möglich.

Eingegangen am 28. März 2000 [K 2698]

Literatur

- [1] DIN 50010 T. 2. August 1981.
- [2] SONNTAG, D.
Z. Meteorol. 70 (1990) 5,
S. 340/344.
- [3] U.S. 2,816,067, U.S. 2,830,945.
- [4] KEIDEL, F. A.
Anal. Chem. 31 (1959)
S. 2043/2048.
- [5] DIN 50450 T.1, Bestimmung
von Verunreinigungen in Trä-
gergasen- und Dotiergasen –
Bestimmung der Wasserver-
unreinigung in Wasserstoff,
Sauerstoff, Stickstoff, Argon
und Helium mittels einer
Diphosphorpentoxidzelle,
August 1987.

Sortieren von Kunststoffen durch thermisch beeinflusste Haften- schaften

SERGEJ AMAN UND JÜRGEN TOMAS *

1 Problemstellung

In Deutschland werden jährlich etwa 11,1 Mio t Kunststoffe produziert. Knapper werdende Rohstoffquellen und Umweltprobleme zwingen zu einer wesentlichen Wiederverwendung dieser Kunststoffe. Dafür müssen diese Produkte zuerst sortenrein getrennt werden. In letzter Zeit wurden moderne Prozesse zur Thermosortierung entwickelt, womit Kunststoffprodukte durch unterschiedliche Erweichungstemperaturen und Haften auf beheizten Oberflächen voneinander getrennt werden können [1 – 3]. Trockene Kunststoffstücke werden in dünner Schicht auf eine beheizte bewegte Unterlage gegeben. Deren Temperatur ist so eingestellt, dass die Kunststoffstücke mit dem niedrigsten Erweichungspunkt anhaften und abgeschabt werden müssen, während die anderen mit höherem Erweichungspunkt sich frei darüber bewegen können.

Obwohl die Erweichungstemperatur ein wichtiges Trennmerkmal ist, beeinflussen auch physikalische Partikeleigenschaften wie Wärmeleitung, Fließverhalten, Adhäsion und Strömungswiderstand die Haftkraft. Durch die zusätzliche Berücksichtigung dieser Stoffeigenschaften

* Dr. rer. nat. S. AMAN, Prof. Dr.-Ing. habil.
J. TOMAS, Lehrstuhl für Mechanische Ver-
fahrenstechnik, Fakultät für Verfahrens-
und Systemtechnik der Otto-von-Guericke-
Universität Magdeburg, Universitätsplatz 2,
D-39106 Magdeburg.

ten als Trennmerkmale soll eine bessere Selektivität der Trennung erreicht werden. Als ein wichtiges Trennmerkmal wird die Erweichungstemperatur der Thermoplaste angewandt. Dabei bleiben die erweichenden Thermoplaste in Abhängigkeit von ihren mechanisch-thermischen Eigenschaften an elektrisch beheizten Drähten (Durchmesser d_s) kleben¹⁾. Beim direkten Kontakt zwischen einem Thermoplastpartikel und dem beheizten dünnen Metalldraht schmilzt oder erweicht der Thermoplast, wobei der Draht durch das Eigengewicht des Kunststoffstückes in den Plastkörper eindringt.

Die Haftkraft ist proportional zu der mit der Zeit t_0 steigenden Kontaktfläche [4]. Die Kontaktfläche resultiert aus der Eindringtiefe des Drahtes im Kunststoff und aus den mit der Zeit steigenden Oberflächen der Mikrokontakte, die von der Viskosität η_s , der Wärmeleitfähigkeit λ und der Wärmekapazität c_p abhängen.

Alle diese physikalischen Grundvorgänge sind stark von der Wärmeübertragung abhängig, die mit Hilfe der Fourier-Zahl:

$$Fo = \frac{\lambda t_0}{\rho_s c_p d_s^2} \quad (1)$$

charakterisiert werden können. Dadurch können diese Eigenschaften von Thermoplasten als zusätzliche Trennmerkmale aufgefasst werden.

Um im betrachteten Fall die Wirkung auf die Haftkraft abschätzen zu können, soll das Mikroprozess-Modell der Verfestigung kohäsiver Schüttgüter auf Grund viskoser Kontaktdeformation verwendet werden [6, 7]. Die Anwendbarkeit dieses Modells wurde an Partikeln aus erweichendem PVC-U experimentell überprüft [7]. In Rahmen dieses Modells wurde für die zeitabhängige Haftkraft eines Mikrokontaktes mit dem Radius r_{vis} angenommen:

$$F_{Ht} = \sigma_H A_{vis}(\eta_s, t) = \sigma_H \frac{d_s}{\eta_s} \frac{dt}{dr_{vis}} \quad (2)$$

Für die Partikelviskosität gilt:

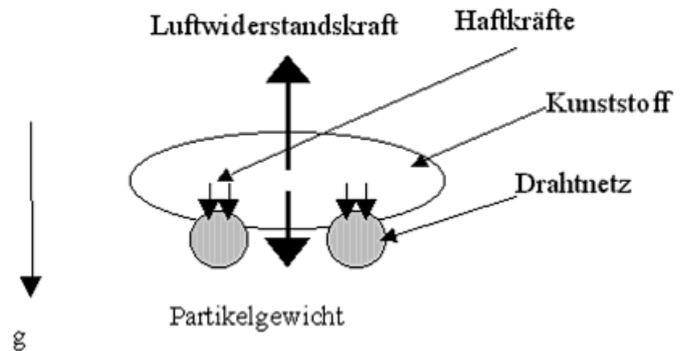
$$\eta_s = \eta_{s,min} \exp \left[\frac{E}{R(T - T_r)} \right] \quad (3)$$

T_r Temperaturparameter, wobei $0 \text{ K} < T_r < T_g$ (Glastemperatur)

$\eta_{s,min}$ Viskositätsparameter für $T \gg T_m$ (Schmelzpunkt)

Dem Modell entsprechend hängt die Haftkraft bei einer bestimmten Zeit von der Kontakttemperatur (Zugfestigkeit) und der Vorgeschichte der Heizung (Kontaktfläche) ab. Um den Einfluss der Partikelform auf den Trennprozess zu verringern, soll dieser dynamische Prozess in zwei Teilprozesse durchgeführt werden: Heizdrahtpenetration (Penetrationsphase) und Partikelablösung (Ablösungsphase). Während der Penetrationsphase dringt der Draht in den Kunststoff ein. Dadurch wird eine neue Kontaktfläche $A_{vis}(\eta_s, t)$ entwickelt. Die Haftfestigkeit zwischen Kunststoff und Draht ist nicht bekannt. Es wird jedoch angenommen, dass eine ähnliche Temperaturabhängigkeit wie bei der Kunststoff-Zugfestigkeit existiert. Sowohl durch die

Abbildung 1. Trennprinzip.



selektive Ausbildung der Kontaktfläche als auch durch die temperaturabhängige Haftfestigkeit können die Kunststoffpartikel durch eine geeignete Auswahl der Ablösekraft voneinander getrennt werden. Die Widerstandskraft bei der Luftumströmung des Kunststoffstückes wird als Ablösekraft angewandt. Mittels Änderung der Luftgeschwindigkeit kann diese Kraft gesteuert werden (s. Abb. 1)

Schwerpunkt der experimentellen Grundlagenarbeiten ist die Ermittlung der erforderlichen Prozessgrößen: Haftdauer, Hafttemperatur, Ablösedauer, Ablösetemperatur, Ablösekraft. Im Mittelpunkt der Untersuchungen steht die Bestimmung des für jeden einzelnen Kunststoff optimalen Parameterbereiches der Prozessgrößen, in welchem nur er sicher erkannt, erfasst und entfernt werden kann.

2 Versuchsaufbau und Messmethodik

Abb. 2 gibt einen Überblick über die neuartige Labor-Versuchseinrichtung zur Ermittlung oben genannter grundlegender Einflussgrößen. Das Kernstück dieser Apparatur bildet der Haftrahmen mit den Temperatursensoren. Weil die Prozesszeit nur etwa 5 s beträgt, soll die Drahttemperatur als zeitabhängige Variable indirekt durch die Länge des Drahtes bestimmt werden, um die Messzeit zu verringern. Eine stabile mechanische Spannung des Drahtes wird mit Hilfe von Federn erreicht. Diese Federn sind in einer Scheibe befestigt, die wiederum mit dem Messfühler eines induktiven Wegaufnehmers verbunden ist.

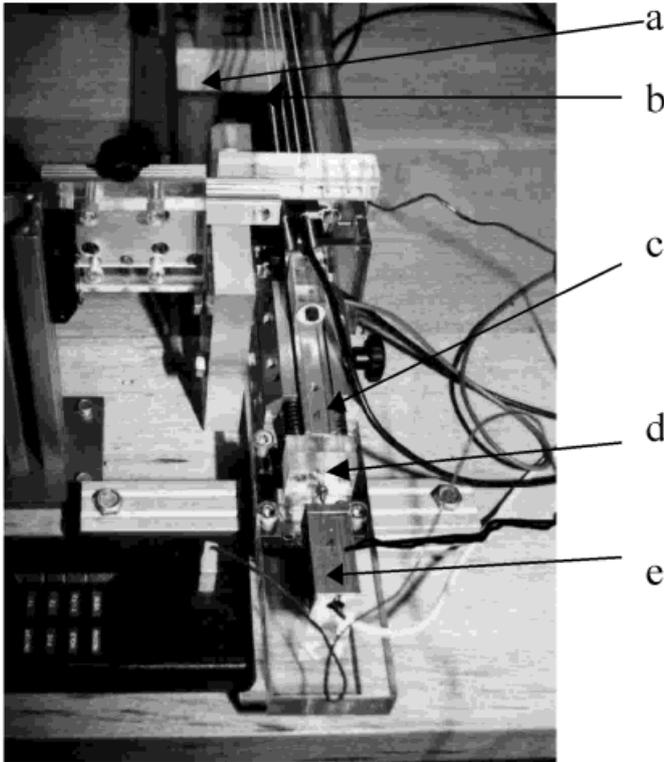
Ein Wechselstromfeld steuert die Drahttemperatur. Um dessen Rückwirkung auf die Messergebnisse auszuschließen, wird der induktive Wegaufnehmer mit einer Metallhülle abgeschirmt.

Die Widerstandskraft bei der Luftumströmung der Kunststoffstücke wird als Ablösekraft angewendet. Mittels Frequenzumrichter kann die Drehzahl des Ventilators und damit die Luftgeschwindigkeit eingestellt werden. Mit Hilfe von Leitblechen wird das Geschwindigkeitsprofil vergleichmäßig. Damit wird eine konstante, von der Position des Kunststoffstückes auf dem Drahttrahnen unabhängige Luftgeschwindigkeit bei der Anströmung erreicht.

Die Heizleistung und die Heizdauer werden durch einen Mess- und Steuermodul eines PC bereitgestellt. Um die Heizleistung und die Temperatur unabhängig voneinander

1) Eine Zusammenstellung der Formelzeichen befindet sich am Schluss des Beitrags.

Abbildung 2.
Haftvorrichtung: a – Strömungsöffnung, b – Draht, c – Federn, d – Scheibe, e – Wegaufnehmer.



der zu variieren und ein gleichmäßiges, gradientenfreies Temperaturfeld zu erreichen, wird der Draht nicht nur durch die Einwirkung des elektrischen Stromes geheizt, sondern mittels des vergleichmäßigten Luftstromes während der Penetrationsphase zusätzlich gekühlt.

Wird die Drahtheizung zum Zeitpunkt $t = 0$ eingeschaltet, ändert sich die Temperatur mit der Zeit t .

$$T = T_{\max} [1 - \exp(-t/\tau)] \quad (4)$$

T_{\max} maximale Temperatur beim Gleichgewicht zwischen Wärme- und Kühlstrom

τ Zeitkonstante für die Drahtheizung, abhängig von der Luftgeschwindigkeit

Bisherige Untersuchungen ergaben, dass eine Luftgeschwindigkeit von $u = 11,2$ m/s, die zum Entfernen der Kunststoffstücke angewendet werden kann, der Zeitkonstante $\tau = 1,68$ s entspricht. Bei dieser Zeit wird eine Temperatur von $T = 0,63 \cdot T_{\max}$ erreicht.

Während der Penetrationsphase wird eine Luftgeschwindigkeit von 3 m/s eingestellt. Die Heiz- und Kühlzeit ist in diesem Fall mit $\tau = 4,82$ s länger. Es wurde zum Heizen ein Draht mit einem Durchmesser von 0,5 mm aus einer Nickel-Chrom-Heizleiterlegierung eingesetzt.

3 Versuchsdurchführung und Trennergebnisse

Es wurden Stücke aus folgenden Kunststoffen zur Trennung ausgewählt: Hart-PVC (PVC-U), Polyethylen hoher Dichte (PE-HD), Polyethylen niedriger Dichte (PE-LD) und Poly-

amid (PA-6). Die ausgewählten Kunststoffmaterialien werden entsprechend ihrer DIN-Kennzeichnung hinsichtlich des Fremdstoffinhaltes geprüft. Sie beinhalten keine Füllstoffe und Weichmacher. Die Stückgrößen variieren zwischen 4 und 15 mm. In diesem Größenbereich der untersuchten Kunststoffstücke kann der Einfluss der Stückabmessungen auf die Trennergebnisse vernachlässigt werden. Aufgrund der Abmessung des Drahtrahmens von 180 mm × 30 mm muss für die Voruntersuchungen die Anzahl der Kunststoffstücke bei jedem Trennversuch auf 20 beschränkt werden.

Bei der Einwirkung einer Temperatur höher als 240 °C wird die Kontaktoberfläche von PVC-U teilweise denaturiert (Molekülkettenspaltung), und dieser Kunststoff verringert stark seine Haftfähigkeit. Dies trifft nur für PVC-U zu. Nach der Kühlung im Luftstrom lässt sich PVC-U während der Ablösephase selektiv vom Draht abtrennen. Auf diesem Grund wird erst einmal in der Penetrationsphase diese Temperatur von 240 °C angewandt.

Ein partikelanzahlbezogenes Wertstoffausbringen soll für diese ersten Grundlagenuntersuchungen für PVC-U wie folgt berechnet werden:

$$R_{n,PVC} = N_{e,PVC} / N_{0,PVC} \quad (5)$$

Das anzahlbezogene Wertstoffausbringen $R_{n,PVC}$ wird in Abhängigkeit von der Drahttemperatur für verschiedene Heizzeiten in Abb. 3 dargestellt. Hohe Hafttemperaturen ermöglichen eine bessere Trennung der Kunststoffstücke von dem Draht. Bei einer Hafttemperatur von 240 °C beträgt $R_{n,PVC}$ ca. 0,95 für unterschiedliche Heiz- oder Haftzeiten. Bei der Trennung von PVC-U ist nur die Temperatur der dünnen Kontaktschicht wichtig. Wenn die Temperatur 240 °C während der Penetrationsphase erreicht wird, kann man erfolgreich PVC-U von anderen Kunststoffen trennen, da diese nach Abkühlung auf Raumtemperatur an dem Draht haften.

Im zweiten Schritt wird das Polyethylen hoher Dichte (PE-HD) abgelöst (Ablösephase 2). Jetzt hängt der Trennprozess von folgenden Prozessgrößen ab:

Hafttemperatur und Haftzeit (Penetrationsphase): Die Hafttemperatur ist schon durch die notwendige erfolgreiche Trennung des PVC während der Ablösephase 1

Abbildung 3.
Anzahlbezogenes Wertstoffausbringen des PVC-U, $R_{n,PVC}$ in Abhängigkeit von der Zeit t .

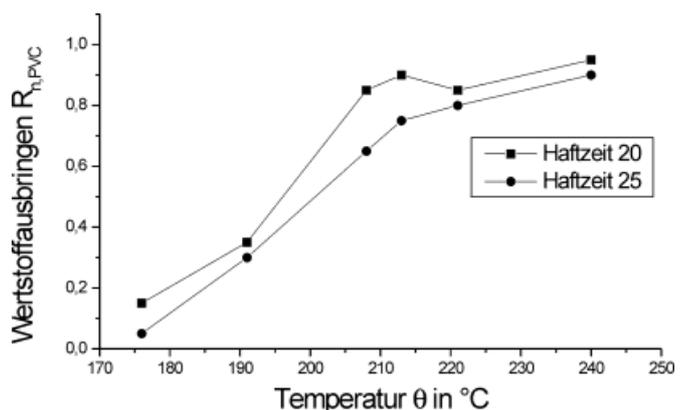
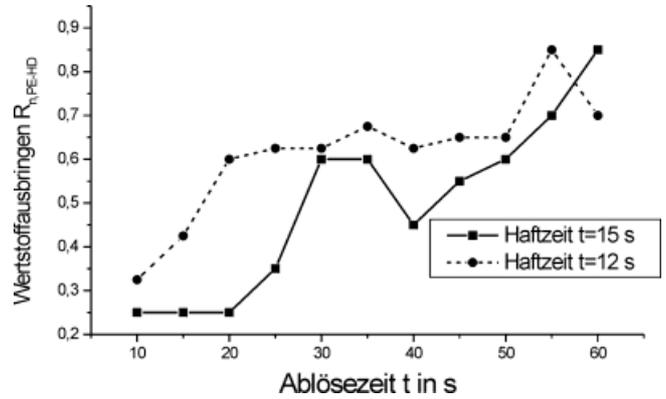


Abbildung 5. Wertstoffausbringen $R_{n,PE-HD}$ in Abhängigkeit von der Ablösezeit für unterschiedliche Haftzeiten.



festgelegt. Die Zeit kann auch nur zwischen 12 und 25 Sekunden variiert werden, um einerseits die erforderliche Heiztemperatur zu erreichen und andererseits die Haftfestigkeit zu beschränken.

Heiztemperatur und Heizzeit sollen während der Ablösephase 2 so eingestellt werden, dass nur die Entfernung des PE-HD ermöglicht wird. Je größer die Heiztemperatur und Heizzeit sind, desto leichter wird das PE-HD abgelöst, und um so größer wird das Wertstoffausbringen.

Andererseits benötigen die nachfolgend zu trennenden Kunststoffe Polyamid (PA-6) und Polyethylen niedriger Dichte (PE-LD) zur Ablösung höhere Temperaturen und längere Heizzeiten, da während der Penetrationsphase die Drähte tiefer in die Partikel eingedrungen sind. Dadurch ist die obere Prozessgrößengrenze für die Entfernung des PE-HD zu bestimmen. Die effektive Trennung des PE-HD von dem Draht ($R_{n,PE-HD}$ beträgt ca. 0,9) findet bei der Heiztemperatur 93 °C statt, s. Abb. 3. Für niedrige Haftzeiten ($t < 5$ s) ist diese Temperatur in der Kontaktschicht zwischen dem Draht und Kunststoff nicht erreichbar (s. Abb. 4). Aber wenn der Draht mehr als 7 Sekunden aufgeheizt wird, dann werden fast alle Stücke in dieser Ablösezeit entfernt und $R_{n,PE-HD}$ ändert sich nicht mehr mit der Zeit.

Die Anzahl der Kunststoffstücke aus PE-HD, die sich während der Ablösephase 1 (Entfernung PVC-U) ent-

Abbildung 4. Anzahlbezogenes Wertstoffausbringen des PE-HD, $R_{n,PE-HD}$ in Abhängigkeit von der Zeit t.

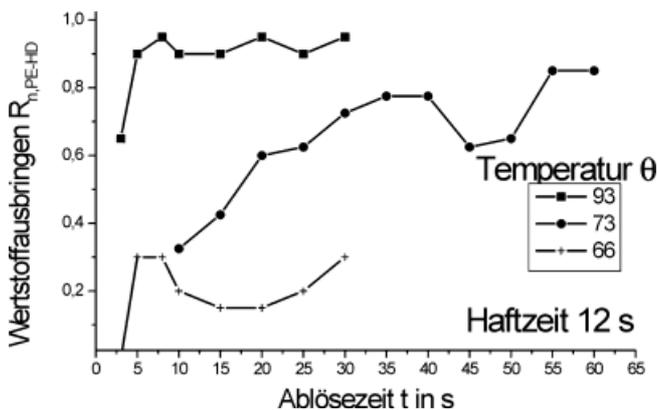
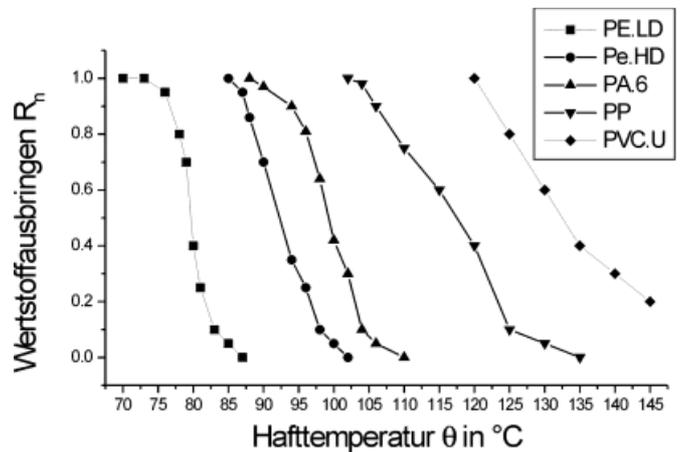


Abbildung 6. Trennung von Kunststoffen durch den Unterschied zwischen den Erweichungstemperaturen; Haftzeit 20 Sekunden.



fernen lassen, ist vernachlässigbar klein. Andererseits wurde eine große Anzahl der Stücke aus PVC-U bis zur Ablösephase 2 abgelöst ($R_{n,PVC} = 0,95$). Dies bedeutet, dass beide Kunststoffe sich gut voneinander trennen lassen. Bei niedrigen Hafttemperaturen hängt der Trennprozess auch von der während der Penetrationsphase entwickelten Kontaktfläche ab. Lange Haftzeiten verursachen eine große Kontaktfläche und entsprechend niedrige Werte $R_{n,PE-HD}$ (s. Abb. 5).

Die entwickelte Sortierungsmethode ermöglicht auch die Trennung von Kunststoffen durch die unterschiedlichen Erweichungstemperaturen. Für jeden Kunststoff wird die Temperatur während der Haftphase so eingestellt, dass nur er selektiv haftet.

Die erforderlichen Temperaturintervalle (Trennmerkmal Erweichungstemperatur) zur Kunststoffsortierung für PVC-U, PP, PE-HD, PE-LD, PA 6 sind nicht genau voneinander unterscheidbar (s. Abb. 6).

Während der Penetrationsphase kann der Draht im Kunststoff mehr als zur Hälfte seines Drahtdurchmessers eindringen. Dies verursacht zusätzlich einen Formschluss des Drahtes im Kunststoff. Wird dann der Draht während der Ablösephase geheizt, dreht sich das Kunststoffstück

unter der Wirkung der Luftwiderstandskraft um den Draht. In diesem Zustand ist die Ablösung durch die Luftwiderstandskraft sehr problematisch. Dadurch findet keine 100%ige Trennung statt. Insbesondere trifft dies auf die leicht erweichende PE-LD und PA-6 zu. Diese Kunststoffe besitzen ein niedriges Wertstoffausbringen bei der Ablösung von PVC-U und PE-HD. Die aus den Versuchsergebnissen errechneten $R_{n,PE-LD}$ und $R_{n,PA-6}$ betragen nur etwa 10 % und sind daher bei der Entfernung von PE-HD als kumulative Fehlausträge aufzufassen.

Wegen des Formschlusses bleiben die PE-LD- und PA-6-Stücke unabhängig von der Temperatur und der Zeit auf dem Draht haften und können nicht durch die Luftströmung abgelöst werden. Dadurch lassen sie sich schwer bei hohen Penetrationstemperaturen und Zeiten voneinander trennen. Wird ein Draht mit einem großen Durchmesser benutzt, verringert sich die Fourier-Zahl Fo und, entsprechend Gl. (1), die durchmesserbezogene Eindringtiefe. Dadurch kann der Formschluss vermieden werden.

4 Schlussfolgerungen

Tab. 1 gibt einen Überblick über die besten Trennergebnisse. Die Partikel aus PVC-U und PE-HD lassen sich gut aus einem Kunststoffgemisch trennen. Kunststoffstücke aus PE-LD und PA-6 können nicht im gleichen Parameterbereich entfernt werden. Diese Partikel werden nur bei Einwirkung von zusätzlichen mechanischen Kräften im erweichenden Zustand vom Draht abgeschabt. Der beobachtete Formschluss kann auch durch die Vergrößerung des Drahtdurchmessers oder die Verringerung des Drahtabstandes verhindert werden.

Die Kunststofftrennung soll in zwei Stufen durchgeführt werden:

1. Zuerst sollen alle Kunststoffe kurzfristig bis 240 °C aufgeheizt werden. Dadurch können PVC-U und PE-HD aus dem Gemisch erfolgreich abgetrennt werden. Die Oberfläche von PVC-U wurde dabei in einer sehr dünnen Schicht zersetzt, und seine Haftvermögen ging verloren. Dies ermöglicht eine einfache Absortierung von PVC-U. Weil PE-HD die niedrigsten Werte von der Fo -Zahl besitzt, dringt der Draht nicht tief ein. Also entsteht während des Heizens nur die geringste Kontaktfläche zwischen dem Draht und dem Kunststoff.

Tabelle 1.
Trennergebnisse.

	Ablösephase 1 PVC-U $t = 24\text{ °C}$	Ablösephase 2 (PE-HD) $t = 93\text{ °C}$	Ablösephase 3 (PE-LD) $t = 97-140\text{ °C}$	Ablösephase 4 (PA-6) $t = 97-140\text{ °C}$
$R_{n,PVC}$	0,95	0,05	vernachlässigbar	vernachlässigbar
$R_{n,PE-HD}$	vernachlässigbar	0,90	0,05	0,05
$R_{n,PE-LD}$	vernachlässigbar	0,05	ca. 0,45	ca. 0,5
$R_{n,PA-6}$	vernachlässigbar	0,05	ca. 0,5	ca. 0,45

Dadurch kann PE-HD selektiv von anderen Kunststoffen aus dem Gemisch abgetrennt werden.

2. Im zweiten Schritt werden die im Gemisch verbleibenden Kunststoffe (PE-LD, PP und Pa 6) durch ihre Erweichungstemperaturen getrennt. PE-LD und Polyamid 6 lassen sich dadurch gut voneinander trennen. Polyamid 6 und PP können nur mit wechselndem Erfolg voneinander getrennt werden.

Die Erwärmungszeit ist wegen der niedrigen Geschwindigkeit der Wärmeübertragung relativ groß. Dadurch wird die Temperatur nicht nur an der Kontaktfläche, sondern im ganzen Kunststoffstück erhöht. Der spezifische Energieverbrauch bei der vier- oder fünfstufigen Sortierung ist verhältnismäßig hoch und sollte wesentlich verringert werden, um Einsatzmöglichkeiten in der Industrie zu finden.

Für die Unterstützung bei der Durchführung des Forschungsvorhabens wird der Deutschen Forschungsgemeinschaft gedankt.

Eingegangen am 11. Mai 2000 [K 2737]

Formelzeichen

A_{vis}	[m ²]	Kontaktfläche
c_p	[J/kg K]	Wärmekapazität
d_s	[m]	Drahtdurchmesser
Fo	[-]	Fourier-Zahl
t_0	[s]	Zeit
η_s	[Pa s]	dynamische Viskosität
λ	[W/m K]	Wärmeleitfähigkeit
ρ_s	[kg/m ³]	Partikeldichte
r_{vis}	[m]	Radius
σ_H	[kPa]	Haftfestigkeit Kunststoff-Draht
η_s	[pa s]	scheinbare Viskosität
F_{Ht}	[N]	Haftkraft
E	[K]	charakteristischer Energieschwellenwert des Fließvorganges
R	[Nm/kmol K]	allgemeine Gaskonstante
τ	[s]	Zeitkonstante für die Drahtheizung
R_n	[-]	Wertstoffausbringen
$N_{e,PVC}$	[-]	Anzahl der entfernten PVC-Partikel
$N_{0,PVC}$	[-]	gesamte Anzahl der zum Versuch benutzten Partikel

Literatur

- [1] THIMM-DORNER, U.; DORNER, J. Patentschrift DE 3722777 C2, Veröffentlichungstag 24.10.1991.
- [2] LENTJENS, T.; LENTJENS, C. Patentschrift DE 4112179 C1, Veröffentlichungstag 07.05.1992.
- [3] BLETSCH, S. Untersuchungen zum Haftverhalten von Kunststoffen an beheizten Oberflächen im Hinblick auf die Entwicklung eines Sortierverfahrens für Kunststoffgemische, Dissertation, TH Aachen 1995.

- [4] TOMAS, J.
Zum Verfestigungsprozess von Schüttgütern – Mikroprozesse, Kinetikmodelle und Anwendungen, Schüttgut 2 (1996) 1, S. 31/51.
- [5] WAUER, G.
Untersuchungen zur Schweißbarkeit thermoplastischer Folien beim Hochfrequenz- und Heizkeilschweißverfahren, Dissertation, TH Aachen 1975.
- [6] TOMAS, J.
Zum Verfestigungsprozess von Schüttgütern – Mikroprozesse, Kinetikmodelle, Chem.-Ing.-Tech. 69 (1997) S. 455/467.
- [7] RUMPF, H.; SOMMER, K.; STEIER, K.
Mechanismen der Haftkraftverstärkung bei der Partikelhaftung durch plastisches Verformen, Chem.-Ing.-Tech. 48 (1976) 4, S. 300/307.
- [8] TOMAS, J.
Zur Verfestigungskinetik von Schüttgütern, Vortrag GVC-Fachausschuss „Agglomerations- und Schüttgütetechnik“, Mai 1997 in Weihenstephan.
- [9] DOMININGHAUS, H.
Die Kunststoffe und ihre Eigenschaften, VDI-Verlag, Düsseldorf 1992.

Stellenanzeige