

Oberflächenphänomene nach Trennmittelapplikation

Eigenschaften von Trennmitteln

Trennmittel werden im allgemeinen als der Beelzebub der Kunststoffverarbeitung angesehen. Dennoch sind sie in der heutigen kunststoffverarbeitenden Industrie nicht mehr wegzudenken, denn neben ihrer eigentlichen Funktion, ein Formteil einfach, ohne Zerstörung zu entnehmen, haben sie die Aufgabe, Oberflächen zu beeinflussen. Sie können den Griff oder Touch eines Formteils verbessern, den Oberflächenglanz bzw. die Mattigkeit beeinflussen. Insbesondere bei den Weichschäumen sind die Trennmittel für die Zelligkeit der Oberflächen mit verantwortlich. Erfahrungen bei diesen Systemen zeigen, daß das Zusammenwirken von Schaum und Trennmittel aufeinander abzustimmen ist, da die Wirkung auf die Oberfläche nicht immer vorhersagbar ist [1,2,3].

Probleme durch Trennmittel

Trennmittel stehen immer zur Disposition, wenn Oberflächen nachbearbeitet werden müssen. Dies betrifft besonders Vorgänge wie Lackierung und Verklebung. Die klassischen Wirkstoffe der Trennmittel wie Wachse, Silikone, Paraffine, Öle verursachen Störungen [1], so daß sich Begriffe wie Paraffinpest oder Silikonpest bei den Verarbeitern einprägten.

Physikalische Grundlagen

Grundlage für die Wirkung von Trennmitteln, Klebstoffen sowie Lacken sind das Zusammenspiel von Kohäsion und Adhäsion. Hierbei sind die intermolekular wirkenden Kräfte, wie die Van-der-Waals-Kraft, elektrostatische Wechselwirkung oder gar chemische Bindungen verantwortlich für die Ausprägung der Adsorption zweier Grenzflächen. Voraussetzung für die Adsorption an einem Substrat ist die Benetzbarkeit der Grenzfläche, die u.a. auch von der Oberflächenstruktur des Substrates abhängt. Makroskopisch wird dies durch die Ausprägung der Oberflächenspannung bzw. Grenzflächenspannung beobachtbar [4].

Physikalisch läßt sich die Grenzflächenspannung mit dem Blick in eine wassergefüllte Kapillare erläutern (Bild 1). Der sich ausbildende Meniskus bzw. die Benetzung der festen Grenzfläche wird durch die Wechselwirkung der Flüssigkeit mit dem Feststoff über die Oberflächen- bzw. Grenzflächenspannung

$$S_{fest/flüssig} - S_{fest} = -S_{flüssig} \cos \Theta$$

anhand der Young'schen Gleichung beschrieben:

$\sigma_{fest/flüssig}$ ist die Grenzflächenspannung zwischen der Flüssigkeit und dem Feststoff.

σ_{fest} ist die Oberflächenspannung der Flüssigkeit

$\sigma_{flüssig}$ ist die Oberflächenspannung des Substrates.

$\cos \Theta$ ist der Randwinkel, der sich ausbildet, wenn eine Flüssigkeit/Luft -Oberfläche an eine feste Wand grenzt.

$\sigma_{fest/flüssig} - \sigma_{fest}$ ist als sogenannte Haftspannung definiert. [6]. Ein Stoff mit einem Randwinkel $< 90^\circ$ wird eine Oberfläche benetzen, da die Haftspannung negativ ist und beim Benetzen Energie an die Umgebung abgibt. Bei einem Randwinkel von $> 90^\circ$ ergeben sich für die Haftspannung positive Werte. Es muß also Energie aufgewendet werden, um einen Stoff zum Benetzen zu bringen.

Wirkung von Trennmitteln

Die Wirkung von Trennmitteln kann auf unterschiedliche Wirkungsmechanismen zurückgeführt werden. Zunächst kann die Trennwirkung als Unverträglichkeit von Materialien beschrieben werden. Dieses Phänomen kann unter anderem auf die Unterschiede in der Polarität von Substrat und Trennmittel zurückzuführen sein. Aufgrund von Unverträglichkeiten der flüssig/fest Wechselwirkungen kommt es zu einer Abstoßung, wie sie z.B. bei der Hydrophobierung von Wachsen, Silikonem oder bei der Oleophobierung durch Fluorverbindungen bekannt ist.

Diese Effekte lassen sich auch über die Differenzierung der Oberflächenspannung in einen polaren und einen dispersen Anteil deuten, wobei in der Regel der polare Anteil für die Haftung entscheidend mitverantwortlich ist. Für den Fall der ausschließlich dispersiv wirkenden Kräfte wird die Benetzung der Oberfläche weitgehend ausgeschlossen und so die Voraussetzung zur Adhäsion vermindert. Daraus kann

man folgern, daß das am besten wirkende Trennmittel so zu konfigurieren ist, daß keine Benetzung des Substrates bzw. der Formoberfläche stattzufinden hat (Bild 2). Für diesen Fall erhöht sich der Randwinkel der Flüssigkeit auf maximal 180°. Der $\cos\Theta$ wird dann negativ. Erreichbar wird dies immer dann, wenn $\sigma_{fest} < \sigma_{fest/flüssig}$ ist. Die resultierende Haftspannung wird positiv, d.h. für die Benetzung muß Arbeit aufgewendet werden. In dieser Situation ist die Trennwirkung nur noch von der Adhäsion und dem Materialdruck abhängig.

In der kunststoffverarbeitenden Industrie sind hierfür eine Reihe von Verfahren bekannt, bei denen die Erhöhung des Randwinkels zur Ausbildung der Trennwirkung genutzt wird. So beruht die Wirkung von semipermanenten Trennschichten auf Basis von Silikonharzen oder auch die Teflonisierung auf diesem Verfahren. Die Teile sind in der Regel leicht zu entformen, wenn die Adhäsionswerte wesentlich kleiner als die Kohäsionswerte sind, damit das Formteil nicht irreversibel gedehnt oder zerrissen wird. Dies gilt z.B. für hoch verdichtete Systeme wie RIM oder Elastomerteile mit entsprechendem Elastizitätsmodul.

Ein weiteres Anwendungsfeld sind die Kunststoffe mit einem entsprechendem Schrumpf, weil das ausgehärtete Kunststoffteil die Adhäsionskräfte an der Grenzfläche aufheben kann. Bei Verfahren, die den Kunststoff auf die Oberfläche der Form pressen, wird die Benetzung der Formoberfläche durch die auftretenden Drücke ermöglicht. Der zu formende Kunststoff wird auf der Oberfläche zumindest mechanisch verankert. Trotz geringer Benetzungsfähigkeit wird das Substrat auf der Trennoberfläche haften, und es muß mit zusätzlichem Kraftaufwand für die Entformung gerechnet werden. Inwieweit mit diesem Verfahren auch Oberflächen beeinflusst werden können, ist nicht ohne weiteres vorhersagbar. Es ist jedoch klar, daß mit jeder Änderung der Oberfläche der Trennschicht auch die zu gestaltende Oberfläche des Formstücks verändert wird.

Zu Lösung dieser diffizilen Probleme ist nach weiteren Möglichkeiten der leichten Entformung mit konstanter Oberflächenqualität gesucht worden. Das Trennmittel muß eine vollständig geschlossene Schicht sowohl auf der Formoberfläche als auch auf dem zu entformenden Kunststoff bilden. Voraussetzung hierfür ist, daß das Trennmittel sowohl die Formoberfläche sowie die Oberfläche des Formteils benetzt. Dies funktioniert nur, wenn die Oberflächenspannung des Trennmittels kleiner als die der Formoberfläche und auch kleiner als die des Kunststoffes ist. Diese Tatsache ist unbedingte Voraussetzung für jede Art von gut funktionierenden Trennmitteln und auch von Klebstoffen.

Die Wirksamkeit beider Systeme ist jedoch recht unterschiedlich. Für den Kleber bedeutet eine gute Benetzung und damit gute Adhäsion eine gute Verankerung auf der Formteiloberfläche. Der Klebstoff hat hohe Kohäsionswerte und kann nur unter Zerstörung des Kunststoffes entfernt werden. Bei dem Trennmittel ist der Bruch innerhalb der fluiden Phase geradezu ideal. Die Kohäsion ist aufgrund der Molekularbewegung bei flüssigen Systemen niedrig und beträgt in Abhängigkeit von der Viskosität etwa 40kJ/mol. Für das Trennmittel muß daher gelten: Kohäsionsbruch bei niedrigen Viskositäten in der flüssigen Phase führt zu niedrigen Kraftaufwendungen bei der Entformung. Dies steht natürlich im Gegensatz zu der Wirkung von Klebstoffen, die neben einer guten Adhäsion an der Grenzfläche hohe Kohäsionswerte besitzen müssen.

Nachbearbeitung

Da Trennmittel die gleichen Voraussetzungen für ihre optimale Wirkung wie Klebstoffe benötigen, wird immer mit Trennmittelverunreinigungen auf einer zu verklebenden Oberfläche zu rechnen sein. Dies hat zur Folge, daß die Oberflächenspannung des Formteils durch das Trennmittel herabgesetzt ist und ein Klebstoff nicht mehr benetzen kann. Die Forderung heißt daher berechtigter Weise: Entfernung des Trennmittels für die Nachbearbeitung oder Abstimmung aller Parameter auf die Nachbearbeitung [5]. Daß dies funktioniert, zeigt u.a. die Herstellung von 2-Dichte Schuhen. Hier wird auf die Oberfläche der ersten Sohle im Anschluß an die Trennung eine zweite PUR-Sohle angeschäumt, ohne das Teil vorher reinigen zu müssen. Ermöglicht wurde dieses Verfahren nur durch folgende Maßnahmen:

- Die Arbeitsschritte in der Fertigung sind soweit optimiert, daß der Zeitverlust zwischen den Verschäumungen gering ist, so daß die Restaktivität der PUR-Oberfläche ausreichend hoch bleibt, um sich mit der zweiten Schicht zu verbinden.
- Optimierte Auftragsmenge des Trennmittels von ca. 1g pro Sohle
- Teillöslichkeit des Trennmittels im Schaum

Die physikalischen Werte zeigten, daß ohne Entfernung des Trennmittels der Kohäsionsbruch innerhalb

des Schaums von geringerer Dichte liegt.

Für andere PUR-Schäume sollte es ebenso möglich sein, trotz des Einsatzes von Trennmitteln, gute Verklebungsergebnisse oder Lackierungsergebnisse zu erzielen. Zur Zeit sind hierfür folgende Möglichkeiten gegeben:

1. Entfernen des Trennmittels durch Waschprozesse
Dieser Prozeß garantiert eine trennmittelfreie Oberfläche, das Verfahren bedeutet aber einen zusätzlichen Arbeitsschritt.
2. Lösungsvermittler
Die Trennmittelschicht wird durch Lösemittel oder Lösevermittler im Lack oder Kleber aufgenommen.
3. Erhöhung des polaren Anteils der Kunststoffoberfläche
Aktivierung durch Strahlung, chemische Aktivatoren, reaktive Gruppen. Ausnutzung der Restaktivität des Schaums.
4. Erhöhung der Polarität der Trennmittel
Entwicklung nachbearbeitungsfreundlicher Trennmittel.

Zusammenfassung

Trennmittel und Kleber funktionieren nur unter den gleichen Voraussetzungen: Benetzung des entsprechenden Substrates. Während der Klebstoff durch Kohäsion die beiden Phasen zusammenhält, funktioniert ein gutes Trennmittel durch Kohäsionsbruch. Es gibt verschiedene Möglichkeiten, das Trennmittel als Teil der Nachbearbeitung zu integrieren. Dies ist jedoch nur möglich, wenn die Parameter Schaum, Trennmittel, Lack bzw. Kleber aufeinander abgestimmt werden. Ergebnisse in der Praxis bestätigen dies.

Dr. rer. nat. Holger Klyszcz-Nasko
ACMOS CHEMIE, Bremen

Literatur:

- [1] H. Wochnowski; Kunststoffe 79, 8, S. 680 (1989)
- [2] H. Wochnowski, 18. Schaumkunststoff-Tagung, 1997, S. 249ff, Mainz
- [3] W.Thies, PU-China 95, S. 160 ff
- [4] M.Osterhold, Farbe und Lacke 99,6, S.505ff (1993)
- [5] T.Brock, M. Groteklaes, P.Mischke, Lehrbuch der Lacktechnologie, S. 172, Hannover (1998)
- [6] Ullmann, Bd.22, S. 456 ff 4.Aufl, Weinheim (1975)

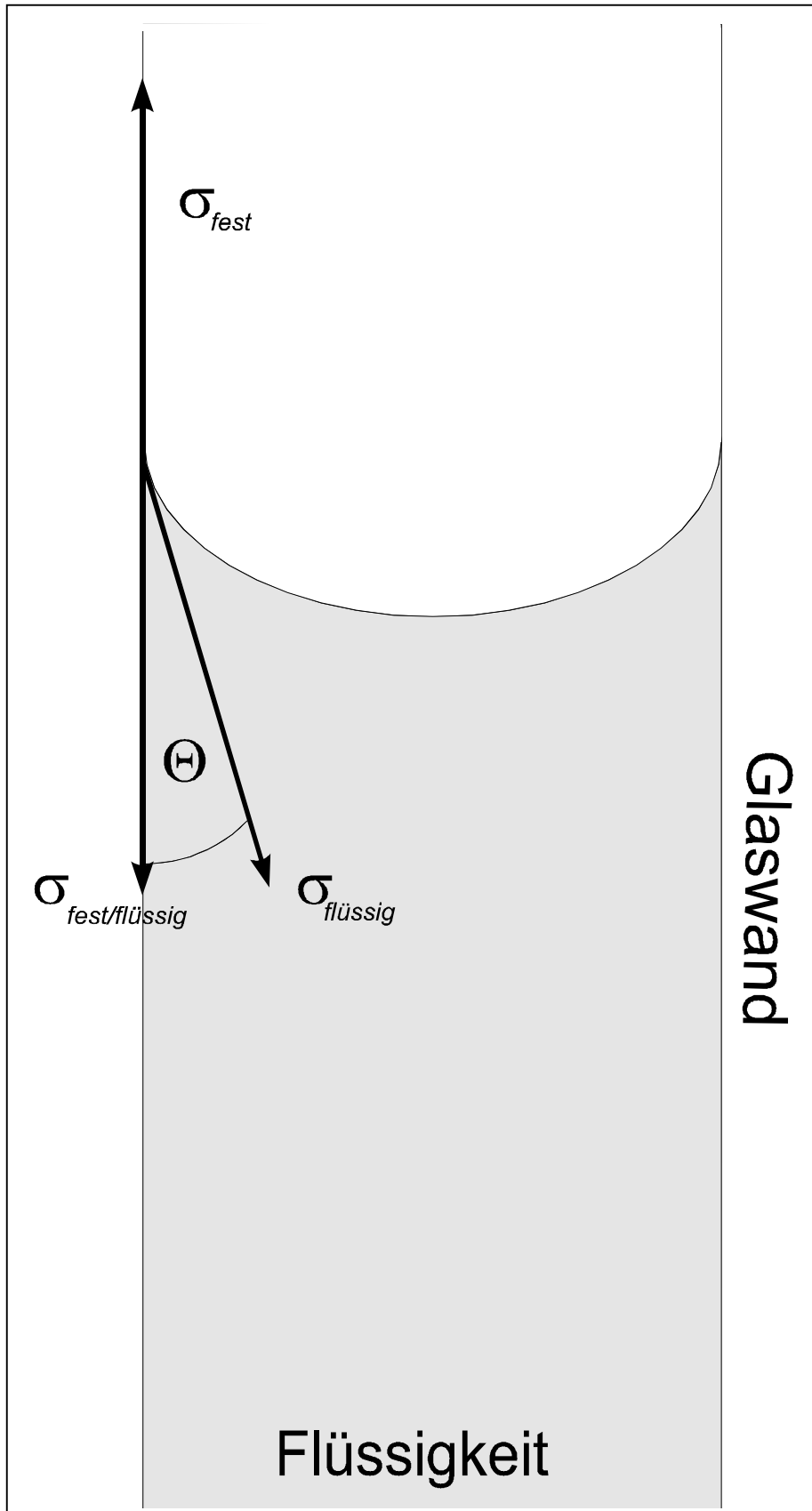


Bild 1: Benetzung einer Glaskapillare durch eine Flüssigkeit.

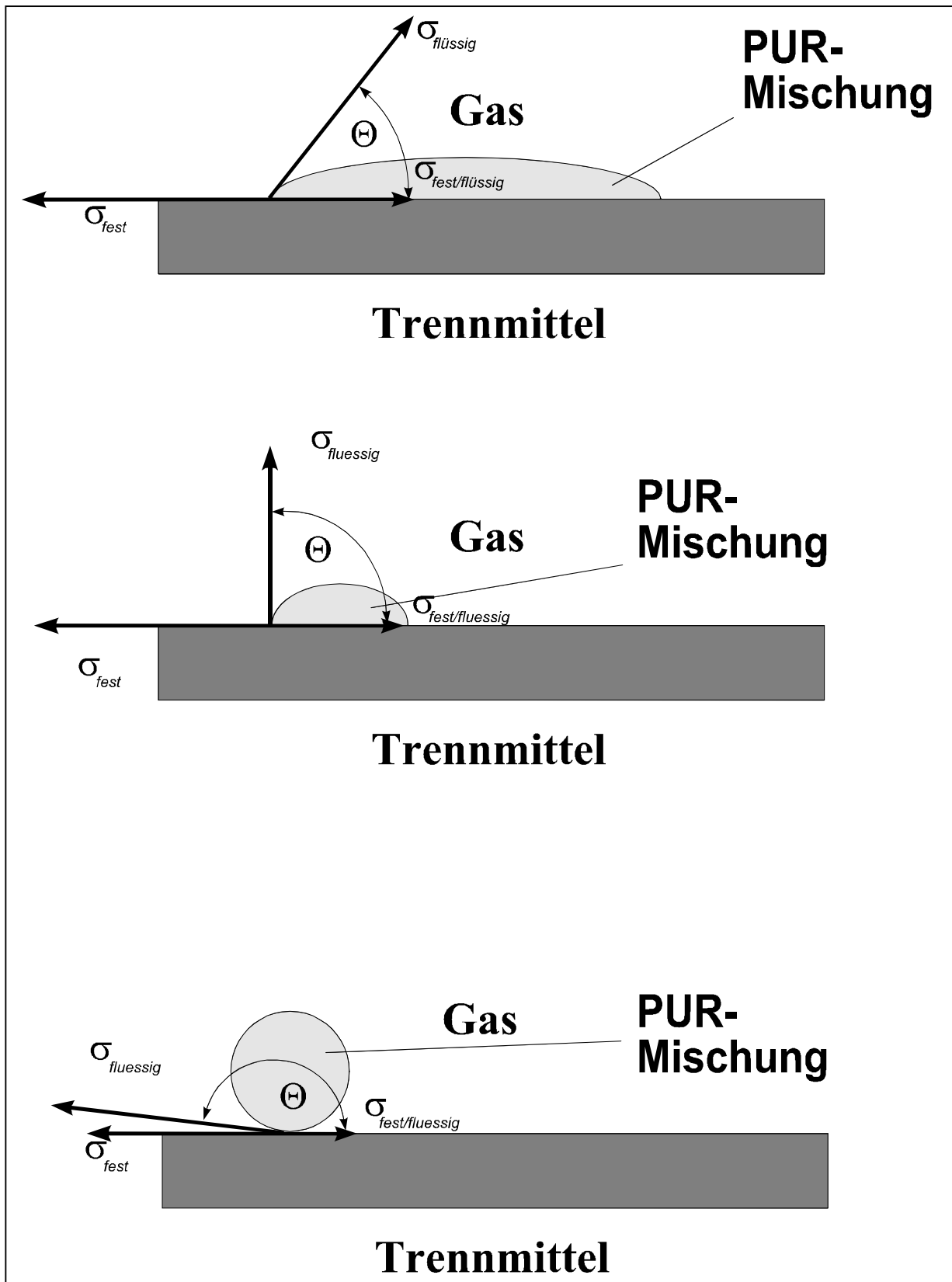


Bild 2: Kräfteverhältnisse an der Phasengrenze PUR/Trennmittel