

Schröter GmbH

**Entwicklung eines umweltfreundlichen Verfahrens
zur Herstellung von Profilleisten unter Vermeidung
Lösungsmittelbasierter Haftvermittler**

**Abschlussbericht über ein Entwicklungsprojekt,
gefördert unter dem Az: 22774 von der
Deutschen Bundesstiftung Umwelt**

von

Stefan Schröter (Schröter)
Claus Müller-Reich (Fraunhofer IFAM)
Dr. Alfred Baalman (Fraunhofer IFAM)

Bremen, im Dezember 2008

Projektkennblatt
der
Deutschen Bundesstiftung Umwelt



| | | | | | |
|----|-----------------|---------|-------------|-------------|---------------------|
| Az | 22774/02 | Referat | 22/2 | Fördersumme | 197.164,00 € |
|----|-----------------|---------|-------------|-------------|---------------------|

Antragstitel Entwicklung eines umweltfreundlichen Verfahrens zur Herstellung von Profilleisten unter Vermeidung lösungsmittelbasierter Haftvermittler

Stichworte Verfahren, Energie, Oberflächenbehandlung

Laufzeit

Projektbeginn

Projektende

Projektphase(n)

24 Monate

Zwischenberichte: alle 6 Monate Kurzbericht

Bewilligungsempfänger **Schröter GmbH**
Talstr. 13
71546 Aspach

Tel **07191/9250-20**
Fax **07191/9250-51**

Projektleitung
Stefan Schröter

Bearbeiter

Kooperationspartner

Zielsetzung und Anlass des Vorhabens

Ziel der Arbeiten war die umweltfreundliche Modifizierung des Prozessschrittes der Verklebung von Polyurethanbauteilen mit Dekorfolien insbesondere für die Inneneinrichtung von Caravan, Flugzeug und Schiffen in Leichtbauweise. Zum Erreichen einer ausreichenden Haftung werden bis heute bei der Herstellung von Polyurethan-Profilen in diesem Industriebereich lösungsmittelhaltige Haftvermittler eingesetzt. Um die Umweltbelastung mit Lösungsmitteln, insbesondere auch chlorierten Kohlenwasserstoffen zu vermeiden, wurde der vollständige Ersatz von Haftvermittlern durch ein Atmosphärendruck-Plasma (AD-Plasma) als umweltfreundliches Reinigungs- und Aktivierungsverfahren untersucht.

Darstellung der Arbeitsschritte und der angewandten Methoden

Die Umsetzung des Verfahrens von den plasmatechnischen Laboranlagen auf eine Pilotanlage stand im Mittelpunkt der Arbeiten des Projektes AZ 22774/02. Es wurde eine Pilotanlage mit Vorbehandlungseinheit aufgebaut und der Prozess auf diese übertragen. In Labor- und Technikumsarbeiten wurde die Effektivität der Vorbehandlung verbessert und auf gekrümmte Oberflächen übertragen. Daneben stand die Einstellung der prozeßtechnischen Parameter des Klebprozesses der Dekorpapiere auf die vorbehandelten PU-Profile im Vordergrund. Hierzu wurden Klebungen unter Feuchtigkeits- und Temperatureinfluss durchgeführt. Zur Verbesserung der Klebverbindungen sind zwei verschiedene Klebstoffgruppen untersucht worden, thermoplastische, d.h. nicht-reaktive und reaktive Schmelzklebstoffe. Ein weiterer Aspekt der Arbeiten war es, die Vermeidung von Trennmitteln zu erforschen, um dadurch trennmittelfreie Bauteiloberflächen zu erhalten. Dazu wurden permanente Trennschichten bei Entformungen in der Produktion eingesetzt.

Um die Ergebnisse zu bewerten, wurden Messungen der Oberflächenenergie und lichtmikroskopische Untersuchungen durchgeführt. Die begleitenden Untersuchungen zur Analyse der Elemente und Bindungen erfolgten mit spektroskopischen Verfahren. Dabei wurden die Röntgen-Photoelektronenspektroskopie XPS und die Infrarotspektroskopie in abgeschwächter Totalreflexion (ATR) eingesetzt. Um die Qualität der Vorbehandlung in der Praxis zu testen, wurden Bauteile verklebt und die Festigkeiten geprüft.

Ergebnisse und Diskussion

Die Verklebung von Polyurethan-Profilen mit Dekorpapieren war bisher nur mit Hilfe von Haftvermittlern möglich. Es konnte gezeigt werden, dass ein Plasmaverfahren für die Oberflächenvorbehandlung der PU-Profile auch im produktionstechnischen Maßstab geeignet ist, Produktionshilfsstoffe von der Bauteiloberfläche zu entfernen und die Oberfläche zu aktivieren. Einen wichtigen Einfluß bei der produktionstechnischen Umstellung stellte dabei die festgestellte inhomogene Verteilung der Trennmittel auf dem Bauteil dar.

Die Oberflächenenergie eines mit Trennmittel entformten PU-Profils liegt im nicht behandelten Zustand bei ca. 30 mN/m und konnte durch die Vorbehandlung an der Pilotanlage auf 56 - 60 mN/m erhöht werden. Auf den Materialien konnte anschließend eine gute Haftung der Dekorfolien mit reaktiven Schmelzklebstoffen auf Basis von Polyurethan und nichtreaktiven Systemen auf Basis von Polyamiden erzielt werden. Nichtreaktive Systeme auf Basis von Polyolefinen zeigten im technischen Maßstab keine ausreichenden Klebfestigkeiten. Diese Klebungen erwiesen sich als nicht langzeitstabil.

Das Plasma entfernt nach den vorliegenden Untersuchungen oberflächlich vorhandene Trennmittel teilweise. Zum anderen Teil werden die Trennmittel im Plasma oxidiert und verbleiben auf der Oberfläche. Die Veränderung der PU-Oberfläche durch eine Behandlung im AD-Plasma zeigt sich bei der Aufnahme eines ATR-Spektrums. Aus der Intensitätsabnahme der CH₂- und CH₃-Banden (2850 – 2920 cm⁻¹) lässt sich ableiten, dass eine Oxidation stattfindet. Die wichtigsten Parameter für die Vorbehandlung sind neben Abstand und Geschwindigkeit der eingesetzten Plasmadüsen das zu verwendende Ionisationsgas und die elektrische Leistung. Als Ionisationsgas in den eingesetzten Plasmadüsen ist die Verwendung von Druckluft ausreichend, der Einsatz von speziellen Gasen ist nicht erforderlich. Eine gute Wirkung erzielt man mit hohen elektrischen Leistungen. Zur flächigen Behandlung des Polyurethans eignen sich Rotationsdüsen. Für den Kantenbereich, in denen z.T. verstärkt Trennmittel nachgewiesen werden konnte, können auch Runddüsen verwendet werden, ohne das Polyurethan thermisch zu schädigen.

Als wichtigster Parameter für eine gute Haftung stellte sich die Kontakttemperatur zwischen Klebstoff und Polyurethan heraus. Die Temperaturführung im Klebprozeß muß bei dem neuen Vorbehandlungsverfahren mit Atmosphärendruck-Plasma exakt eingestellt werden. Ein Einfluss der Feuchtigkeit auf die Klebqualität bei den reaktiven Klebstoffen konnte bei den Untersuchungen nicht nachgewiesen werden. Das Verfahren konnte erfolgreich übertragen werden. Umweltschädliche lösungsmittelbasierte Haftvermittler können durch eine Vorbehandlung im AD-Plasma substituiert werden.

Für die Ökologische Betrachtung ist nur die Vorbehandlung zu berücksichtigen. Die anderen Hilfsstoffe brauchen zum Vergleich nicht herangezogen zu werden, da die gleichen Trennmittel und ähnliche Klebstoffe verwendet werden können. Durch den Ersatz der lösungsmittelbasierten Haftvermittler mit einer Reinigung und Aktivierung im Plasma kann die Umwelt erheblich entlastet werden. Für eine Möbeloberfläche von 100 m² werden nach dem herkömmlichen Verfahren etwa 10 l chlorierte kohlenwasserstoffhaltige Haftvermittler verbraucht, die aufwändig entsorgt werden müssen. Zur Vorbehandlung im Plasma sind für die gleiche Fläche lediglich ca. 5 m³ Druckluft und 6 – 7 kW elektrische Leistung notwendig.

Öffentlichkeitsarbeit und Präsentation

Die Projektergebnisse fließen direkt in die Seminare und Veranstaltungen am Klebtechnischen Zentrum des IFAM ein. Dadurch wird gezielt ein Fachpublikum erreicht. Weiterhin wurden die Resultate bei einigen Messepräsenzen von der Schröter GmbH und vom IFAM präsentiert.

Fazit

Im Projekt konnte gezeigt werden, dass bei der Herstellung von Profilen in der Möbelindustrie die Primerung mit chlorierten Kohlenwasserstoffen durch eine umweltfreundlichere AD-Plasma Vorbehandlung ersetzt werden kann. Durch die flexible Gestaltung der Plasmadüsen ist das Vorbehandeln auch von schwierigen Profilgeometrien möglich. Ein anschließendes Verkleben der Dekorfolien ist prozessicher möglich. Die Untersuchungsergebnisse zeigen, dass ohne Plasmavorbehandlung kein prozessicheres Kleben der Dekorfolien realisiert werden kann. Das Ziel, Profil- und Möbelteile auf Basis von PU-Schäumen ohne Haftvermittler zu kleben ist erreicht worden. Der Einsatz chlorierter Kohlenwasserstoffe ist in diesem Industriebereich nicht mehr notwendig. Die VOC-Richtlinien können eingehalten werden und somit wird die Umwelt nachhaltig entlastet

Inhaltsverzeichnis

| | | |
|-------|---|----|
| 1 | VERZEICHNIS VON BILDERN, ZEICHNUNGEN, GRAFIKEN UND TABELLEN | 5 |
| 2 | VERZEICHNIS VON BEGRIFFEN, ABKÜRZUNGEN UND DEFINITIONEN | 6 |
| 3 | ZUSAMMENFASSUNG | 7 |
| 4 | EINLEITUNG | 7 |
| 5 | HAUPTTEIL | 9 |
| 5.1 | KONZEPTIONIERUNG EINER PILOTANLAGE | 9 |
| 5.2 | KONZEPTIONIERUNG DER VORBEHANDLUNGSSTATION | 10 |
| 5.3 | VERSUCHE ZUR STEIGERUNG DER BEHANDLUNGSINTENSITÄT | 13 |
| 5.4 | KLEBSTOFFAUSWAHL | 13 |
| 5.5 | ÜBERTRAGUNG DER LABORERGEBNISSE AUF DIE PILOTANLAGE | 14 |
| 5.6 | KLEBVERSUCHE | 15 |
| 5.6.1 | REAKTIVE KLEBSTOFFSYSTEME | 16 |
| 5.6.2 | NICHT-REAKTIVE KLEBSTOFFSYSTEME | 16 |
| 5.6.3 | UNTERSUCHUNG ZU DEN KLIMATISCHEN EINFLÜSSEN | 18 |
| 5.6.4 | UNTERSUCHUNG ZU PERMANENTEN TRENNSCHICHTEN | 20 |
| 5.7 | KONZEPTIONIERUNG EINER PRODUKTIONSANLAGE | 23 |
| 6 | DISKUSSION DER ERGEBNISSE | 24 |
| 7 | ÖKOLOGISCHE UND ÖKONOMISCHE BEWERTUNG DES VERFAHRENS | 25 |
| 8 | VERBREITUNG DER VORHABENSERGEBNISSE | 26 |
| 9 | FAZIT | 26 |
| 10 | LITERATURVERZEICHNIS | 27 |

1 Verzeichnis von Bildern, Zeichnungen, Grafiken und Tabellen

Tabelle 1: Chemische Zusammensetzung der PU-Oberfläche in Atomprozent [At%] .22

| | |
|--|----|
| Abbildung 1: Prinzipskizze einer Kaschieranlage | 9 |
| Abbildung 2: Typischer Viskositätsverlauf eines Schmelzklebstoffes (reaktiv) | 10 |
| Abbildung 3: Prinzipskizze Atmosphärendruck-Plasmadüse (Standard-Runddüse) | 11 |
| Abbildung 4: AD-Plasmadüsen: Runddüse (links) und Rotationsdüse (rechts) | 12 |
| Abbildung 5: Vorbehandlungsstation zur Reinigung und Aktivierung durch mehrere AD-Plasmadüsen | 12 |
| Abbildung 6: Robotergeführte Atmosphärendruckplasma-Anlage zur Erprobung der Plasmadüsen für 3-D Geometrien | 13 |
| Abbildung 7: Frisch geklebte Probe mit noch nicht voll ausgehärtetem Klebstoff | 15 |
| Abbildung 8: Kohäsives Versagen des Dekorpapieres beim Kleben auf PU-Schaum | 16 |
| Abbildung 9: Klebergebnisse der Laborversuche bei unterschiedlichen Klimaten | 19 |
| Abbildung 10: Mischbruch einer guten Klebung des Dekors auf dem PU-Schaum | 19 |
| Abbildung 11: Chemische Zusammensetzung der PU-Oberfläche eines mit permanenter Trennschicht abgeformten Bauteils. | 21 |
| Abbildung 12: IR-Spektrum der PU-Oberfläche eines mit Folie abgeformten Bauteils. | 21 |
| Abbildung 13: Nach Abformung auf der Form verbliebene PU-Reste | 23 |

2 Verzeichnis von Begriffen, Abkürzungen und Definitionen

| | |
|-------------------------------|--|
| kW | Kilowatt – Maßeinheit für Energie |
| CFK | Kohlefaser verstärkter Kunststoff |
| r.F | Relative Feuchte – Maßeinheit für Luftfeuchtigkeit |
| mN/m | Millinewton/Meter - Maßeinheit für Oberflächenenergie |
| 1K | Ein-komponentig |
| TPE | Thermoplastische Elastomere |
| Tack | (Anfangs-) Haftung |
| Hotmelt | Schmelzklebstoff |
| Fa. | Firma |
| °C | Grad Celsius |
| AD-Plasma | Atmosphärendruck-Plasma |
| at% | Atomprozent |
| C | Atomarer Kohlenstoff |
| IFAM, bzw. Fraunhofer IFAM | Fraunhofer Institut für Fertigungstechnik und angewandte Materialforschung |
| IR | Infra-Rot |
| IR-Spektroskopie | Infrarot-Spektroskopie |
| KG | Kommanditgesellschaft |
| N | atomarer Stickstoff |
| nm | Nanometer |
| O | atomarer Sauerstoff |
| PU, PUR | Polyurethan |
| Si | atomares Silizium |
| VOC | volatile organic compounds (flüchtige organische Substanzen) |
| XPS-Analyse | X-Ray photoelectron spectroscopy, auch ESCA - Elektronen Spektroskopie für die chemische Analyse |
| IUCN | Weltnaturschutzorganisation |
| FSC | Forest Stewardship Council |

3 Zusammenfassung

Bei der Verklebung von Polyurethanbauteilen mit Dekorfolien werden bis heute lösungsmittelhaltige Haftvermittler eingesetzt. Um die Umweltbelastung mit den in den Lösungsmitteln enthaltenen (chlorierten) Kohlenwasserstoffe zu verringern, wurde die Substituierbarkeit der Haftvermittler durch ein Atmosphärendruck-Plasma (AD-Plasma) als umweltfreundlicheres Reinigungs- und Aktivierungsverfahren untersucht. Im vorhergehenden Projekt AZ 22774/01¹ konnte gezeigt werden, dass das AD-Plasmaverfahren für die Oberflächenvorbehandlung der PU-Profile prinzipiell geeignet ist.

Im Projekt AZ 22774/02 wurde eine Pilotanlage aufgebaut und ein neues plasmabasiertes Verfahren produktionstechnisch umgesetzt, in dem nach der Vorbehandlung Dekorfolien ohne Haftvermittler auf die Polyurethan-Profile kaschiert werden können. Als Klebstoffe sind reaktive Schmelzklebstoffe auf Basis von Polyurethan und nichtreaktive Systeme auf Basis von Polyamiden geeignet. Klebstoffe auf Basis von Polyolefinen eigneten sich nicht für eine langzeitstabile Verklebung..

Das Plasma entfernt die aus dem Entformungsprozess oberflächlich vorhandenen Trennmittel teilweise. Der übrige Anteil der Trennmittel wird im Plasma modifiziert oder oxidiert und es verbleiben davon klebtechnisch unkritische Bestandteile auf der Oberfläche. Die Vorbehandlungswirkung auf den Profil-Oberflächen ist an der Pilotanlage etwas geringer als unter idealen vereinfachten Bedingungen mit Laboranlagen, sie reicht für eine Anbindung der Schmelzklebstoffe jedoch aus. Als vereinfachte bzw. ergänzende Verfahrensrouten ist weiterhin untersucht worden, ob es möglich ist, die Bauteile ohne den Einsatz von Trennmitteln zu entformen und damit unter Umständen eine Vorbehandlung überflüssig zu machen. Die dafür verwendeten Trennschichten sind in einem anderen Projekt (AZ 22635²) entwickelt worden. Es konnten mehrere PU-Profile ohne Trennhilfen entformt werden. Da es jedoch insbesondere in Kanten und an Hinterschneidungen noch zu Anhaftungen kam, sind permanente Trennschichten derzeit noch nicht ausreichend, um die herkömmlichen Trennmittel zu ersetzen.

Es konnte gezeigt werden, dass für eine gute Anhaftung der Schmelzklebstoffe die Kontakttemperatur beim Applikationsprozess zentral wichtig ist. Ein negativer Einfluss der Luftfeuchtigkeit war nicht nachweisbar.

Die Arbeiten wurden in Kooperation der Firma Schröter GmbH und dem Fraunhofer Institut für angewandte Materialforschung (IFAM) durchgeführt. Die Förderung des Projektes erfolgte durch die „Deutsche Bundesstiftung Umwelt“ DBU unter dem Förderkennzeichen AZ 22774.

4 Einleitung

Zur Herstellung von Profilleisten für die Möbel- und Caravanbranche wird als Trägermaterial zunehmend PU-Schaum genommen. Auf dieses Trägermaterial wird zur Oberflächenveredelung eine Dekorfolie aufgeklebt. Der PU-Schaum verdrängt das bisher eingesetzte Tropenholz zunehmend, einerseits um das Gewicht deutlich zu reduzieren (Treibstoffersparnis im Fahrzeugbau) und andererseits um auch komplexe Strukturen und eine größere Formenvielfalt einfach realisieren zu können.

Bei der Herstellung der Schaumteile in Werkzeugformen müssen Trennmittel eingesetzt werden, um eine einwandfreie Entformung zu erzielen und eine

hochwertige Oberfläche der Bauteile zu erhalten. Als Trennmittel werden standardmäßig wachsbasierte Systeme eingesetzt. Diese Trennmittel verbleiben nach dem Abformen teilweise auf dem Bauteil und verhindern ein gutes Anbinden des Klebstoffes an die eigentliche Bauteiloberfläche. Stand der Technik für den Kaschierprozess sind aufwändige Reinigungsbehandlungen und/oder die Verwendung von Lösungsmittelbasierten Haftvermittlern, die chlorierte Kohlenwasserstoffe enthalten. Der großtechnische Einsatz erfordert aus Gründen des Umwelt- und Arbeitsschutzes einen erheblichen technischen Aufwand zur Vermeidung dieser Gefahren bzw. zur Entsorgung des Lösungsmittels.

In einem von der DBU geförderten vorhergehenden Projekt (AZ 22774-1) konnte grundsätzlich in Laborversuchen gezeigt werden, dass der Haftvermittler durch eine Aktivierung und Reinigung mit Hilfe atmosphärischer Plasmen (Düsenystem Fa. Plasmatrete) ersetzt werden kann. Auf den PU-Profilen konnte nach einer Atmosphärendruck-Plasmabehandlung eine ausreichende Haftung der Dekorfolien mit reaktiven Schmelzklebstoffen auf Basis von Polyurethan und nichtreaktiven Systemen auf Basis von Polyolefinen erzielt werden.

Ziel des vorliegenden Projektes ist daher die Absicherung des neuen Prozesses unter realen Produktionsbedingungen und die Umsetzung des Verfahrens in die Praxis. Lösemittelbasierte Haftvermittler sowie Waschprozesse zur Bauteilreinigung sollen vollständig vermieden werden. Für das Erreichen des Zieles ist die Entwicklung und Konstruktion einer Sondermaschine (Atmosphärendruck-Plasmabehandlungsstation) notwendig, die anstelle der Haftvermittler die Formteilerfläche für eine gute, dauerhafte Haftung zum Kaschierklebstoff vorbehandelt. Das Atmosphärendruck-Plasmaverfahren mit den gewählten Düsenystemen der Fa. Plasmatrete arbeitet berührungslos, als Arbeitsmedium wird nur Druckluft eingesetzt und es entstehen keine Entsorgungskosten für Chemikalien.

Die Weiterentwicklung des Verfahrens erfolgt in Zusammenarbeit mit dem Fraunhofer IFAM. Dabei wird der gesamte Herstellungsprozess einbezogen. Begleitende materialtechnische und oberflächenanalytische Untersuchungen zur Charakterisierung der Bauteiloberfläche und des erzielten Behandlungsergebnisses können am IFAM durchgeführt werden. Im Projekt soll eine Produktionslinie zu einer Pilotanlage umgebaut und dort das neue Verfahren unter realen Bedingungen erprobt werden. Die Einführung der Anlage wird dabei wissenschaftlich vom IFAM begleitet.

Durch das Projekt sollen nicht nur die Verarbeitung von Tropenholz und der Einsatz giftiger bzw. gesundheitsgefährdender Haftvermittler entfallen, sondern es sollen auch 100% recycelbare Profil- u. Möbelteile entstehen. Durch den vermehrten Einsatz der PUR-Schaumprofil-Produkte in Fahrzeugen (Caravan- u. Wohnwagen, Booten, Flugzeugen, etc.) ergibt sich zudem (ca. 50% leichter als Tropenholz) darüber hinaus eine enorme Einsparung von Treibstoffen.

5 Hauptteil

5.1 Konzeptionierung einer Pilotanlage

Eine klassische Anlage zum Kaschieren von Dekorfolien oder –papieren auf Profilen besteht aus einem Klebstoffauftragssystem, Andruckrollen und dem Einlaufbereich mit dem Haftvermittlerauftrag (Abbildung 1).

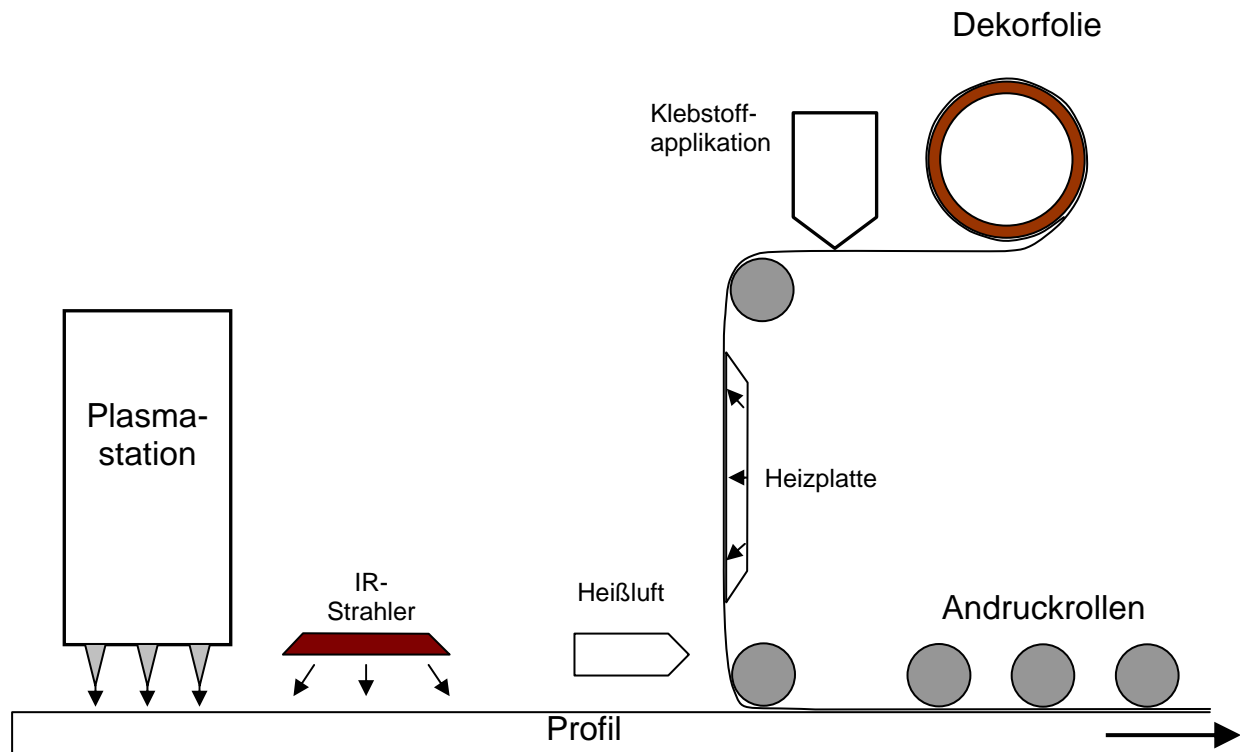


Abbildung 1: Prinzipskizze einer Kaschieranlage

Der Klebstoffauftrag erfolgt üblicherweise auf das wesentlich dünnere Dekor bei der Zuführung zur Kaschierlinie. Klebstoffmenge, Klebstoffart, die Auftragstemperatur, sowie natürlich die Bandgeschwindigkeit bestimmen ganz wesentlich das Resultat der Verklebung³. Durch die geringe Masse der Dekorfolie verliert der Schmelzklebstoff nach dem Auftrag auf die Folie nur vergleichsweise wenig an Temperatur. Bei anderen Applikationen, z.B. auf massive Möbelteile tritt eine wesentlich höhere Abkühlung von Schmelzklebstoffen auf. Der Viskositäts- / Temperaturverlauf des jeweiligen Klebstoffsystems ist daher entscheidend für die Einstellung des richtigen Temperaturprofils bei der Applikation (Abbildung 2). Um dieses Temperaturprofil zu beeinflussen, werden die Bauteile mit IR-Strahlern und Warmlufterhitzern lokal in der Applikationsstrecke beheizt. Hiermit müssen zwei konkurrierende Anforderungen befriedigt werden. Der Klebstoff muss im Moment des Verklebens einerseits ausreichend viskos sein und es soll andererseits nach dem Durchlaufen der Andrückstrecke schnell eine hohe Haftung (Tack) erzielt werden, um ein Ablösen der Dekorfolie durch Rückstellkräfte zu verhindern.

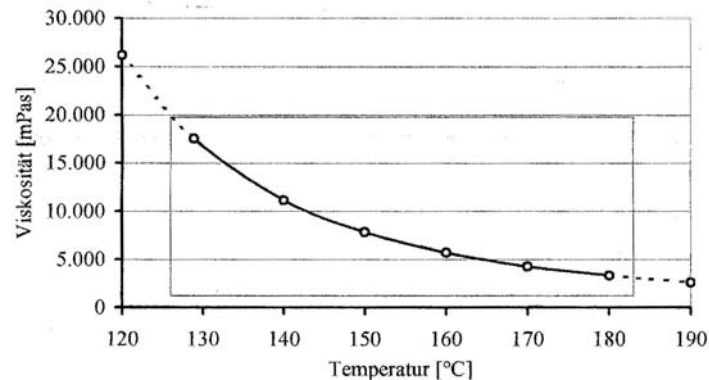


Abbildung 2: Typischer Viskositätsverlauf eines Schmelzklebstoffes (reaktiv)

Der wesentliche Unterschied der neuen Anlage zur bisherigen Standard-Produktionsanlage besteht in dem Austausch der Vorbehandlungsstrecke. Statt des nasschemischen Auftrags des Haftvermittlers wird eine Plasmaanlage zur Vorbehandlung eingesetzt. Ein zusätzlicher Vorteil ist, dass der Klebstoff direkt in einem Schritt aufgetragen werden kann und keine Ablüfzeit der Lösungsmittel eingehalten werden muss. Ein Vorteil des ausgewählten Plasmaverfahrens mit Düsensystemen ist weiterhin, dass durch den Gasstrom der Plasmadüsen auch Produktionsstäube von der Oberfläche entfernt werden und hierfür keine zusätzlichen Maßnahmen wie z.B. Bürsten erforderlich sind.

Eine plasmabehandelte Bauteiloberfläche verhält sich gegenüber den eingesetzten Klebstoffen anders als ein mit Haftvermittler beaufschlagtes Bauteil. Dieses bedeutet, dass andere Klebstoffsysteme eingesetzt werden müssen, die einen veränderten Viskositätsverlauf und auch eine andere Schmelz- und Auftragstemperatur haben können. Die exakte Temperaturführung durch geeignete, fein einstellbare Wärmequellen ist wichtig für den Prozess Erfolg. Dieses wurde bei der Anlage durch viele Anbaumöglichkeiten von Infrarotstrahlern und Heißluftgebläsen berücksichtigt. Hierdurch kann auch eine gleichmäßige Auftragstemperatur in allen Bereichen des Bauteils gewährleistet werden. Verschiedene Warmluftgebläse und IR-Strahler wurden für die Anwendung getestet. Warmluftgebläse wirken gerichtet mit hoher Temperatur. IR-Strahler haben den Vorteil, dass sie Flächenstrahler sind. Je nach Wellenlänge zeigen die IR-Strahlen unterschiedliche Eindringtiefe.

5.2 Konzeptionierung der Vorbehandlungsstation

Die zentrale neue anlagentechnische Komponente der Pilotanlage ist die Vorbehandlungsstation mit Atmosphärendruck-Plasma-Düsen. Der grundsätzliche Aufbau derartiger Düsen ist in der folgenden Skizze (Abbildung 3) wiedergegeben.

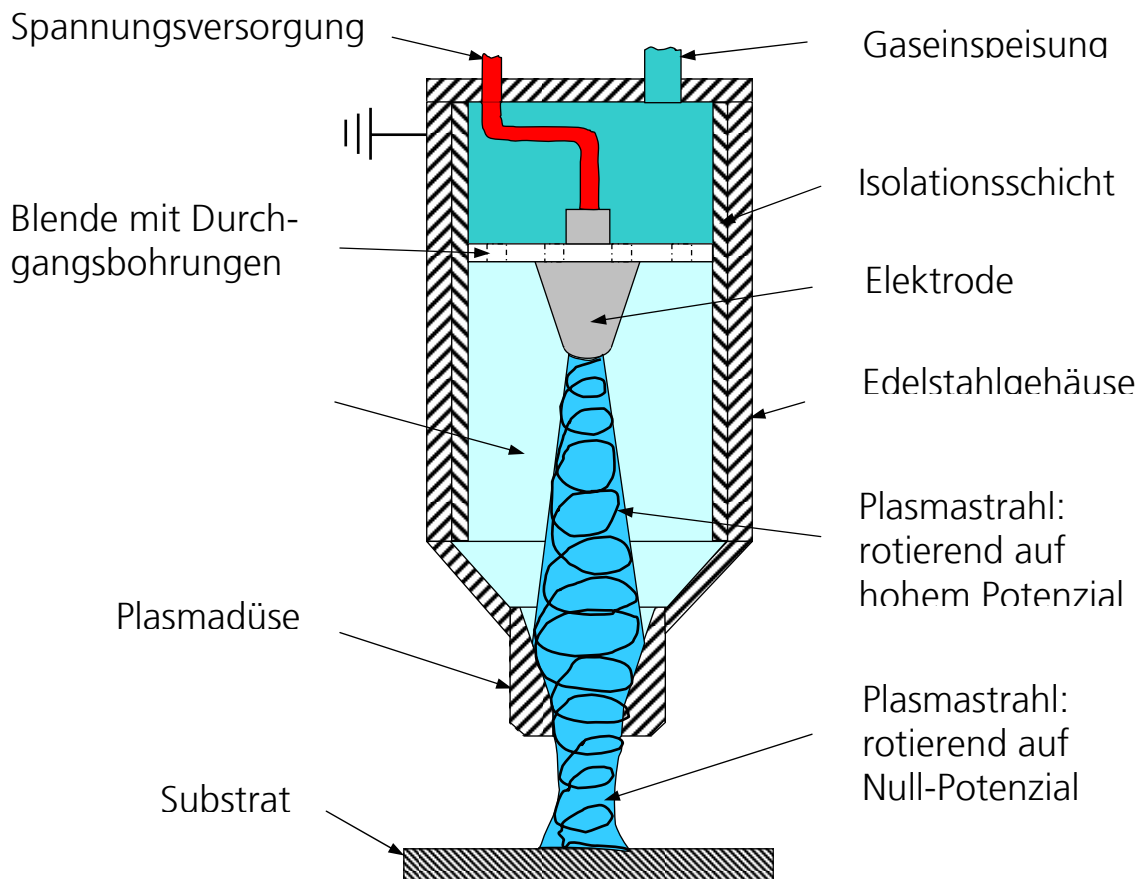


Abbildung 3: Prinzipskizze Atmosphärendruck-Plasmadüse (Standard-Runddüse)

In dem vorhergehenden Projekt „Entwicklung eines umwelt- und gesundheitsfreundlichen Verfahrens für die Oberflächenbehandlung von PU-Teilen“ konnte grundsätzlich gezeigt werden, dass die Oberflächenenergie der Polyurethan-Bauteile erhöht wird. Die Reinigungs- und Aktivierungsqualität hängt unter anderem auch von der Bauform und Art der Plasmadüsen ab. Abhängig von der lokalen Gestalt der Schaumprofile ist der Einsatz von Rotationsdüsen mit einem größeren Wirkungsbereich oder von Rund- bzw. Schlitzdüsen mit angepassten Wirkzonen z.B. für Kanten sinnvoll (Abbildung 4). Da der Abstand der Plasmaerzeuger von der Oberfläche ein sehr wichtiger Parameter ist, müssen die Düsen flexibel justiert und angepasst werden können, um in allen Bereichen eine ausreichende und möglichst homogene Wirkung zu erzielen.

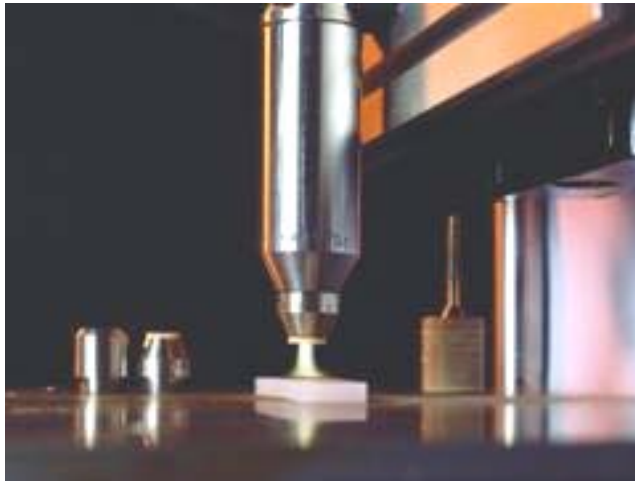


Abbildung 4: AD-Plasmadüsen: Runddüse (links) und Rotationsdüse (rechts)

In Abbildung 5 ist eine typische Vorbehandlungsstation mit Atmosphärendruck-Plasmadüsen abgebildet. Die AD-Plasmadüsen sind in der geometrischen Anordnung flexibel ausgeführt. Die Einhausung umschließt die Anlage hermetisch, sie verhindert, dass Staub u.ä. Produktionseinflüsse auf die Bauteile gelangen können und ermöglicht die Installation einer konzentrierten Absaugung.



Abbildung 5: Vorbehandlungsstation zur Reinigung und Aktivierung durch mehrere AD-Plasmadüsen

Für die Erprobung der Plasmadüsen auf 3-D Substratgeometrien von PUR-Schaumbauteilen konnte im IFAM eine Roboteranlage mit Atmosphärendruck-Plasmadüsen eingesetzt werden (Abbildung 6). Die Resultate auf flachen Substraten aus dem vorhergehenden Projekt konnten dadurch mit der Plasmawirkung auf 3-D Substraten verglichen werden. Mit dieser Anlage war es möglich, die Wirkung von Einzeldüsen und auch Mehrfachdüsenanordnungen zu studieren. Parameterfelder wie Abstand, Vorschubgeschwindigkeit, Plasmaleistung, Gasflussrate etc. konnten damit eingegrenzt werden. Ebenso konnte die Überdeckung von mehreren benachbarten Einzeldüsen und die Homogenität des Plasmas mit dieser Einrichtung verfolgt werden. Die Resultate dieser Arbeiten waren sehr wertvoll für die Planung und Konstruktion

der Vorbehandlungstation, insbesondere für die Einsatzmöglichkeiten der neuen Vorbehandlungstechnologie bei schwierigeren und komplexeren Profilgeometrien.



Abbildung 6: Robotergeführte Atmosphärendruckplasma-Anlage zur Erprobung der Plasmadüsen für 3-D Geometrien

5.3 Versuche zur Steigerung der Behandlungsintensität

In den Laboruntersuchungen konnte prinzipiell der Abbau von Trennmitteln durch eine Plasmabehandlung nachgewiesen werden. Die Verteilung, Art und Menge der eingesetzten Trennmittel variieren jedoch erheblich in einer laufenden Produktion. Diese Einflüsse wurden in weiteren Versuchen erprobt. Die Untersuchungen zeigten, dass unabhängig vom Trennmittelprodukt mit Runddüsen lokal mehr Trennmittel entfernt wird, als mit Rotationsdüsen. Lokale Inhomogenitäten des Trennmittels bewirken jedoch, dass eine vollständige Entfernung der Trennmittel an allen Stellen des Bauteils schwierig ist, ohne das PU zu schädigen. Es war daher eine umfangreiche Optimierung der Plasmabehandlung notwendig, um eine gute Wirkung zur Entfernung der Trennmittel zu erzielen. Hierbei hatte eine Anpassung der elektrischen Parameter einen geringeren Einfluss auf die Vorbehandlung. Wesentlich entscheidender waren der Abstand der Düsen zum Bauteil und die Einwirkungszeit des Plasmas, d.h. die Prozessgeschwindigkeit.

5.4 Klebstoffauswahl

Für die Verklebung von Dekorfolien auf Profilen sind Schmelzklebstoffe, Hotmelts, praktisch prädestiniert. Diese Klebstoffe werden im heißen Zustand auf die Klebfläche aufgetragen und stellen beim Abkühlen die Verbindung her⁴.

Die Hotmelt – Klebstoffe sind zu 100 % Festkörper und enthalten keine Lösemittel. Der Schmelzpunkt der unterschiedlichen Hotmelts reicht von etwa 70°C bis über 200°C. Die chemische Basis der Hotmelts sind beispielsweise Thermoplaste wie Polyethylen, Polyamide, Ethylvinylacetat und auch verschiedene Thermoplastische Elastomere (TPE). Die verschiedenen Hotmelts können grundsätzlich in zwei Gruppen aufgeteilt werden: Thermoplastische Hotmelts und Reaktive Hotmelts.

Mit der breiten Palette an unterschiedlichen Hotmelts steht für viele Anwendungen ein optimal geeigneter Klebstoff zur Verfügung. Hotmelts erobern sich dadurch beständig steigende Marktanteile und finden in vielen Einsatzbereichen Verwendung. Das Einsatzgebiet der Hotmelts liegt vor allem in automatisierten Prozessen mit kurzen Taktzeiten bzw. hohen Applikationsgeschwindigkeiten wie z.B. im vorliegenden Projekt bei der Ummantelung von Profilen.

Für die Verklebung der Dekorfolien im vorliegenden Projekt ist insbesondere der Viskositäts-Temperatur Verlauf und eine optimale chemisch/mechanische Kompatibilität des heißen, flüssigen Klebstoffes zur plasmavorbehandelten Oberfläche des PUR-Profils entscheidend. Der Klebstoff muss im Moment der Applikation (Andrücken der Dekorfolie mit aufgetragenem Klebstoff auf das Profil) noch ausreichend dünnflüssig sein, um eine gute Benetzung zu erzielen. Quasi unmittelbar danach muss die Verfestigung eintreten, eine Ablösung von der Oberfläche durch Rückstellkräfte muss vermieden werden. Für eine gute Anbindung des Klebstoffes an die Bauteiloberfläche müssen folgende Parameter für den einzelnen Hotmelt richtig zueinander eingestellt werden:

- Klebstofftemperatur
- Klebstoffmenge
- Bauteiltemperatur
- Heizleistungen der IR-Strahler und Heißluftherhitzer
- Vorschubgeschwindigkeit des PUR-Profils
- Ausreichende offene Zeit

Im vorhergehenden Projekt wurden in Laborversuchen gute Klebergebnisse mit zwei reaktiven 1K-PU-Hotmelts erzielt. Die beiden Klebstoffe sind die reaktiven 1K-PU-Hotmelts SikaMelt-9674 OT (Sika) und Jowatherm Reaktant 607.30 (Jowat). Für die Umsetzung der Arbeiten in die Produktion erwies es sich als notwendig, weitere Klebstoffe zu erproben. Hierfür wurden nach einem Vorscreening einige weitere Produkte der vorgenannten Hersteller sowie von Dorus und Kleiberit ausgewählt.

Viele der im Labor getesteten nichtreaktiven Systeme auf Basis von Polyolefinen zeigten keine ausreichende Haftung auf dem PU-Schaum. Einige gut haftende Klebstoffe wiesen keine genügende Temperaturstabilität auf, da sie in Temperaturbeständigkeitstests bereits bei 60°C wieder so stark erweichten, dass sich das Dekor löste. Dies führte dazu, temperaturstabilere thermoplastische und insbesondere auch reaktive Systeme zu betrachten. Neben Polyolefineklebstoffen mit höheren wurden auch Schmelzklebstoffe auf Basis von Polyamiden ausgewählt, die grundsätzlich höhere Schmelz- und Erweichungstemperaturen aufweisen.

5.5 Übertragung der Laborergebnisse auf die Pilotanlage

Die Vorbehandlung mit AD-Plasmadüsen führte in Laborversuchen zu einer Steigerung der Oberflächenenergie des PU-Schaums bis hin zu einer optimalen Benetzbarkeit, d.h. Wasserbenetzung. Hiefür war als Ionisationsgas Druckluft ausreichend, dieses ist vor allem unter Kostenaspekten bedeutend. Beim Übertragen auf die Pilotanlage konnten diese optimalen Oberflächenenergien nicht erzielt werden. In Flächenbereichen wurden mit Rotationsdüsen Steigerungen bis 60 mN/m (Testtinte) erzielt werden. Für eine gute Benetzung mit einem niedrigviskosen Schmelzklebstoff ist die erzielte Steigerung in der Oberflächenenergie ausreichend. Eine flächige, ausreichende Aktivierung ist mit den verwendeten Rotationsdüsen somit möglich. Für

gute Behandlungsergebnisse ist ein geringer Abstand zum Substrat notwendig. Ein Abstand von kleiner als 8mm sollte möglichst eingehalten werden.

Die Vorarbeiten im Labor hatten weiterhin gezeigt, dass der Einsatz von Runddüsen zu thermischen Schädigungen am PU führen kann. Chemische Analysen haben gezeigt, dass sich Hilfsstoffe in Kanten produktionsbedingt gegenüber Flächen aufkonzentrieren. In den Parameterstudien wurde deutlich, dass die Trennmittel mit Runddüsen effektiver als mit Rotationsdüsen entfernt werden können. Um dabei eine thermische Schädigung der PU-Oberfläche zu vermeiden, sind hier größere Arbeitsabstände (>10 mm) erforderlich.

5.6 Klebversuche

Die Prüfung der Haftung erfolgt von Hand. Hierbei wird das Dekorpapier mit einem Messer eingeritzt und langsam von Hand abgezogen. Solange der Klebstoff noch nicht vollständig ausgehärtet, bzw. abreagiert hat, kann man eine gute Haftung anhand des Bruchbildes gut erkennen. In Abbildung 7 ist solch ein Bruchbild dargestellt. Der Klebstoff haftet sowohl auf dem Dekor als auch auf dem PU, ist selbst jedoch noch elastisch, sodass er Fäden zieht.



Abbildung 7: Frisch geklebte Probe mit noch nicht voll ausgehärtetem Klebstoff

Abbildung 8 zeigt das Bruchbild einer guten Haftung nach Erkalten des Klebstoffes. Es kommt zum kohäsiven Versagen im Dekorpapier



Abbildung 8: Kohäsives Versagen des Dekorpapieres beim Kleben auf PU-Schaum

Adhäsives Versagen tritt ausnahmslos am PU-Profil auf. Die Haftung des Klebstoffes zum Dekorpapier ist stets größer.

5.6.1 Reaktive Klebstoffsysteme

Die in den Versuchen eingesetzten reaktiven Hotmelts sind 1k-PU-Schmelzklebstoffe. Diese werden in der Produktion in größeren Gebinden aufgeschmolzen. Die Klebstoffe reagieren nach dem Erkalten unter Feuchtigkeitseinfluss weiter. Daher ist das Reaktionsverhalten von Umgebungseinflüssen und der Größe und Länge der Klebfuge abhängig. Die verschiedenen eingesetzten Klebstoffe unterscheiden sich u.a. im Benetzungsverhalten.

5.6.2 Nicht-Reaktive Klebstoffsysteme

Aufgrund der Vorauswahl wurden nur einige nichtreaktive Klebstoffe für die Technikumsversuche ausgewählt. Dies sind Vertreter aus der Gruppe der Polyolefin- und Polyamidklebstoffe. Die Schmelz- und Auftragstemperatur dieser Klebstoffe liegt um ca. 20°C höher, als die der Reaktivklebstoffe. Die Pilotanlage musste daher mit zusätzlichen Wärmequellen wie IR-Strahler und Heißluftgebläsen ausgestattet werden. Siehe auch in der Skizze einer Kaschieranlage in Abbildung 1. Insgesamt wurden sechs verschiedene Hotmelts an der Pilotanlage eingesetzt, vier Klebstoffe auf Basis von Polyamid, zwei auf Basis von Polyolefin.

Die Polyolefinklebstoffe haben eine Verarbeitungstemperatur von 170 – 190°C und unterscheiden sich im Wesentlichen in dem Erweichungspunkt, der Viskosität und der Abbindezeit.

Die Polyamidklebstoffe haben eine noch höhere Verarbeitungstemperatur von 180 – 200°C, wobei die Temperatur im Aufschmelzbehälter eine Dauertemperatur von 200°C nicht übersteigen darf, um die Klebstoffe thermisch nicht zu zersetzen und unterscheiden sich ebenfalls im Erweichungspunkt, der Viskosität und der Abbindezeit.

Um zu klären, welchen Einfluss der Zustand der Oberfläche hat, ist diese unterschiedlich vorbehandelt worden. Auf der Oberfläche befinden sich einerseits Rückstände aus der Abformung und lokal Schleifstaub aus Entgratungsarbeiten. Eine unbehandelte Oberfläche wurde mit einer im Plasma vorbehandelten gegenübergestellt. Des Weiteren erfolgten eine Lösungsmittelreinigung und eine wässrige Reinigung. Die Lösungsmittelreinigung führt zu einem oberflächlichen Anlösen des Profils. Die veränderte Oberfläche mit leicht erhöhter Oberflächenenergie führt wie auch bei der wässrigen Reinigung nicht zu einer Verbesserung der Haftung. Eine sehr gute Haftung wurde dagegen nach einer Plasmabehandlung erzielt. Bei der Plasmabehandlung werden Rückstände, insbesondere Trennmittel, von der Oberfläche größtenteils entfernt bzw. chemisch modifiziert und zusätzlich werden sauerstofffunktionelle Gruppen an der Oberfläche eingebaut. Die Oberflächenenergie steigt dadurch von ca. 38 mN auf ca. 56 mN an. Dadurch verbessert sich die Benetzung und der bei ausreichend hoher Applikations-Temperatur aufgetragene niedrigviskose Klebstoff kann besser spreiten. Dies gilt gleichermaßen für reaktive und nicht reaktive Klebstoffe. Ohne eine Vorbehandlung ist nur lokal eine gute Haftung des Dekorpapiers auf dem PU-Schaum gegeben.

Um die Temperatur des Klebstofffilms auf dem Dekor zu halten, sind neben mehreren Heißluftgebläsen zwei IR-Strahler verwendet worden. Diese waren so ausgerichtet, dass sowohl das PU-Profil vorgewärmt wurde, als auch der Klebstofffilm auf dem Dekorpapier angestrahlt wurde. Die Heißluftgebläse wurden direkt vor die Andruckwalzen platziert. Durch ihre Ausrichtung wurde sichergestellt, dass das Dekorpapier thermisch nicht zu hoch belastet wird. Die Haftungsergebnisse zeigten, dass der direkte Temperatureintrag über die Heißluftgebläse wesentlich effektiver ist, als der Energieeintrag durch die IR-Strahlen.

Die Arbeiten zeigten, dass die Temperatur des Schmelzklebstoffes unmittelbar vor den Andruckwalzen für eine Haftung wesentlich mit entscheidend ist. Da diese Klebstoffe nur physikalisch abbinden, musste sichergestellt werden, dass die Verarbeitungstemperatur des Klebstoffes bei Kontakt mit dem PU eingehalten wird. Mit einem Kontaktthermometer können die Temperaturen an den interessierenden Bereichen der Anlage bzw. der Klebbereiche nur teilweise gemessen werden. IR-Thermometer messen die Temperaturen sehr genau, aber auch hier ist die Einsetzbarkeit im Prozess nur bedingt gegeben. Eine Methode die Temperaturen zu messen, sind irreversible Temperaturmessstreifen oder -punkte. Unter Temperatureinfluss finden chemische Farbumschlagsreaktionen durch Schmelzchemikalien statt. Leider liegt die Ansprechzeit der Indikatoren bei 1 – 2 Sekunden und damit wesentlich höher als die Kontaktzeit. Absolutwerte können somit nicht bestimmt werden, aber für einen relativen Vergleich bei Messreihen ist die Methode geeignet und ausreichend.

Mit Hilfe der Temperaturindikatoren konnte gezeigt werden, dass an den Stellen, bei denen Haftung auch auf unbehandeltem PU stattfand, eine höhere Temperatur

vorherrschte. Die Applikationstemperatur des Klebstoffes ist bei plasmabehandelten Bauteilen nicht so kritisch, da auch ein höher viskoser Schmelzklebstoff sich noch auf eine für gute Haftung ausreichend große Kontaktfläche verbreitert.

Die Polyolefinklebstoffe zeigten unmittelbar nach Herstellung der Ummantelung nur teilweise gute Haftung. Nach Auslagerung der Bauteile bei Raumtemperatur für 14 Tage konnte nur noch bei plasmabehandelten Teilen eine gute Haftung festgestellt werden. Bei längerer Auslagerung in feuchtem Klima (82 % r.F., 40°C) versagte auch hier die Klebung fast vollständig.

In der Gruppe der Polyamidklebstoffe konnte eine bessere Haftung nicht nur auf plasmabehandeltem, sondern auch auf unbehandeltem PU festgestellt werden. Zwei Klebstoffe hafteten auch nach 14 tägiger Auslagerung.

5.6.3 Untersuchung zu den klimatischen Einflüssen

Bereits im vorhergehenden Projekt, der labortechnischen Erprobung von plasmavorbehandelten Profilen, zeigte sich ein kritischer Einfluss von Klimabedingungen. Offenbar ist das Zusammenwirken von Klebstoff und Profiloberfläche beim Einsatz der Plasmabehandlung kritischer als bei der klassischen Verklebung mit Einsatz von lösemittelhaltigen Haftvermittlern. Bei reaktiven Klebstoffen können nach dem Klebstoffauftrag in der Applikationsstrecke chemische Reaktionen mit Luftbestandteilen und Feuchtigkeit⁵⁶ an der offenen Klebstoffoberfläche auftreten.

Weitere Einflüsse für die Verklebung resultieren aus der Produktionsumgebung. Dies könnte Staubentwicklung oder der Einsatz von Chemikalien mit flüchtigen Komponenten in der näheren Umgebung der Kaschierstrecke sein. Um die klimatischen Bedingungen, die an der Produktionslinie auftreten können definiert und kontrolliert nachstellen zu können, ist eine Reihe von Klebversuchen am IFAM in einer Lackierkabine durchgeführt worden. Diese Kabine bietet die Möglichkeit, Feuchtigkeit und Temperatur in weiten Bereichen unabhängig voneinander einzustellen und damit nahezu alle in der Industrie vorhandenen Produktionsumgebungen realisieren zu können. Das Aufschmelzen der Schmelzklebstoffe erfolgt in Umluftöfen in unmittelbarer Nähe der Lackierkabine bei voreingestellter Temperatur. Die Vorbehandlung der PU-Profile fand vorher statt.

Das Kleben im Labor unterscheidet sich von dem in der Produktion im Wesentlichen dadurch, dass in der Produktion kontinuierlich produziert wird und der Klebstoff kontrolliert aufgetragen werden kann. Im Labor erfolgt der Klebstoffauftrag per Hand. Um ein zu schnelles Abkühlen der Schmelze zu vermeiden, wird die Dekorfolie auf eine Heizplatte mit einer Temperatur von ca. 100°C gelegt. Nach Auflegen des Dekors auf den PU-Schaum, wird diese mit einer Handrolle angepresst. Drei verschiedene Reaktiv-Klebstoffe sind unter unterschiedlichen klimatischen Bedingungen geklebt worden (Abbildung 9). Die Klebprüfungen erfolgen in Anlehnung an die Produktionsprüfungen von Hand. Die Klebungen hielten unabhängig vom Raumklima sehr gut. Lediglich beim Jowatherm 12604.60 erfolgte bei einer geringeren Schmelztemperatur teilweise keine Haftung des Dekors auf dem PU-Schaum. Wichtig erscheint die Kontakttemperatur des Schmelzklebstoffes am PU-Schaum. Ein Vorwärmen des Profils ist daher sinnvoll, um den Temperaturgradienten zwischen Klebstoff und Profil zu verringern.

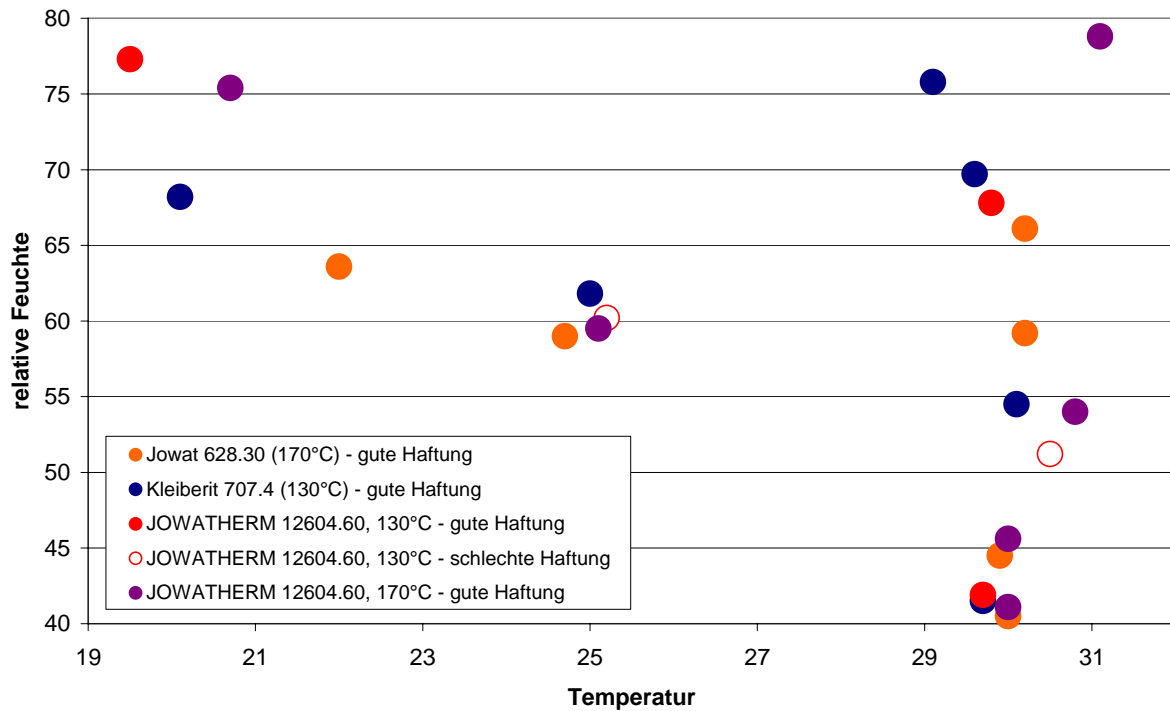


Abbildung 9: Klebergegebnisse der Laborversuche bei unterschiedlichen Klimaten

In Abbildung 10 ist eine sehr gute Haftung des Dekorpapiers auf dem PU-Profil zu sehen. Dabei kam es zu einem Mischbruch. Neben einem geringen Anteil adhäsiven Versagens am PU-Schaum, erfolgt der Bruch hauptsächlich kohäsiv, sowohl im Dekorpapier als auch im PU-Schaum. Dabei reißt die Gushaut des PU auf und die Schaumstruktur wird sichtbar.



Abbildung 10: Mischbruch einer guten Klebung des Dekors auf dem PU-Schaum

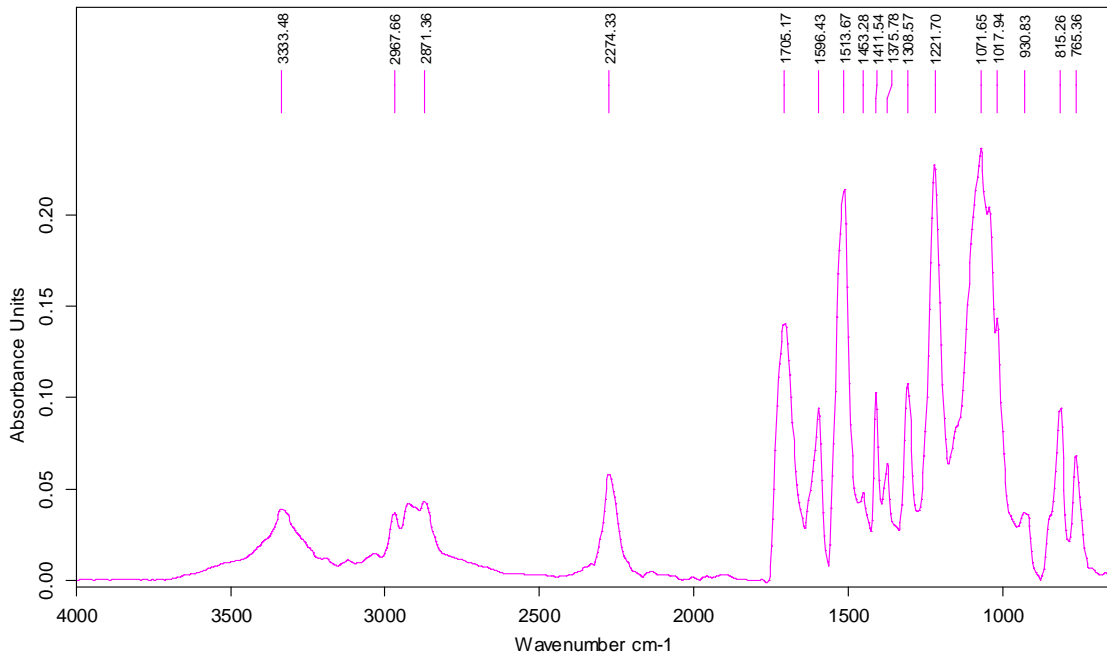
5.6.4 Untersuchung zu permanenten Trennschichten

Der Einsatz von sog. „Permanenten Trennschichten“ wurde im Laufe des Projektes betrachtet, um die Trennmittelkontaminationen auf den Profil-Bauteilen zu vermeiden. Trennmittelfreie Bauteiloberflächen würden für den Einsatz der Atmosphärendruckplasmatechnik zur Vorbehandlung vor dem Verkleben besonders günstig sein. Die Bauteiloberfläche läge dann bereits vorgereinigt vor und das Plasma würde dann unmittelbar am PUR- Material ansetzen. Wenn noch Trennmittelreste auf der PUR-Oberfläche vorhanden sind, wirkt das Plasma zunächst auch auf diese ein und es tritt ein kombinierter Effekt auf.

Seit einigen Jahren werden am IFAM mit der Niederdruck-Plasmatechnik Trennschichten entwickelt, die z.B. zur Abformung von Epoxid-Harzen geeignet sind. In dem Projekt ProCFK (BMBF-FK20W0303L)⁷ gelang die Weiterentwicklung dieser Schichten, um erfolgreich CFK-Bauteile abzuformen. Diese Trennschichten wurden vorwiegend im Niederdruck-Plasma (abgeschlossene Plasmareaktor-Kammer) auf die Formwerkzeuge aufgebracht. Für größere Formen wurden erste permanente Trennschichten bei Atmosphärendruck aufgetragen. Diese Schichten zeigten z.T. ähnliche Eigenschaften. In einem von der DBU geförderten Projekt (mit Fa. AC MOS Bremen) wurden die Trennschichten für Polyurethansysteme weiterentwickelt. Dabei stellte sich heraus, dass die Wechselwirkung der Polyurethane mit der Trennschicht erheblich von der Rezeptur der abzuformenden Polyurethane abhängt.

Für die zweikomponentigen Polyurethane, die zur Herstellung der PU-Profile eingesetzt werden, sind die bislang entwickelten Trennschichten erprobt worden. Zunächst wurden Aluminiumstreifen mit verschiedenen permanenten Trennschichten am IFAM ausgerüstet. Um die Verhältnisse der Fertigung abzubilden, sind diese Streifen in eine Produktionsform eingeklebt worden. Während die Form ansonsten mit einem wachsartigen Trennmittel eingesprüht wurde, bildete die Oberfläche der Streifen die permanente Trennschicht. Nach mehreren Abformungen versagte als erstes die AD-Plasma-Trennschicht. Dagegen war die Trennwirkung der permanenten Trennschichten, die im Niederdruckplasma hergestellt wurden, gegenüber den PU-Schäumen besser.

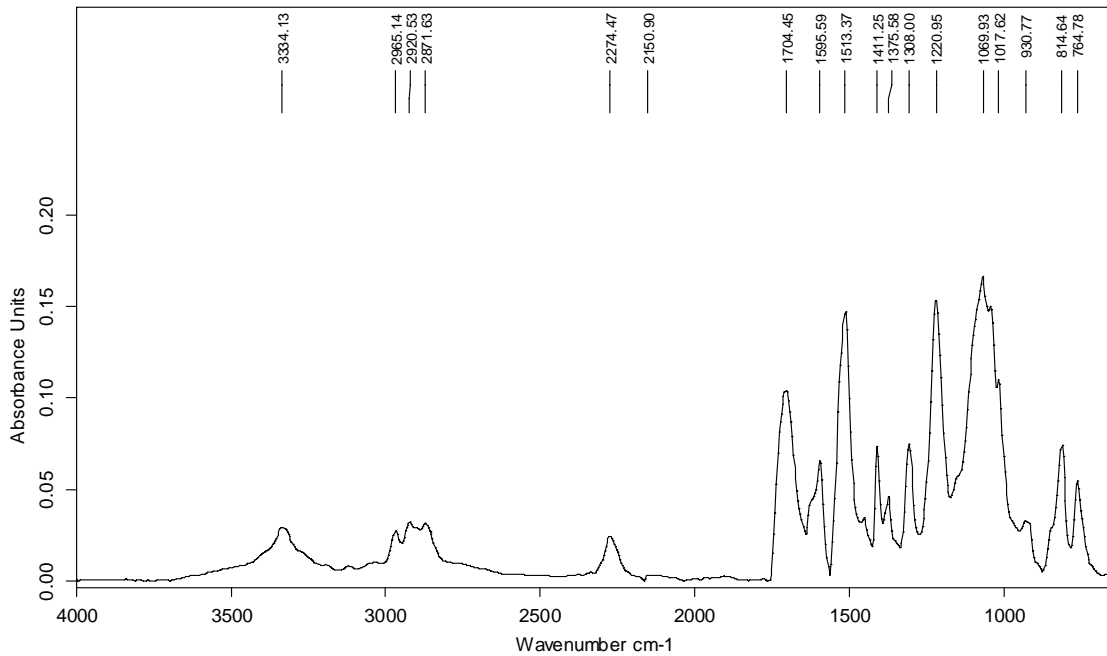
Für einen Produktionsversuch wurde eine Form ausgewählt, die hinsichtlich ihrer Abmessungen noch in einem Niederdruckreaktor beschichtet werden konnte. Die beschichtete Form wurde anschließend unter Produktionsbedingungen getestet. Es konnte mehrfach abgeformt werden. Um festzustellen, ob bei der Abformung chemische Gruppen der permanenten Trennschicht auf das Bauteil übertragen werden, sind die Oberflächen IR-spektroskopisch untersucht worden (Abb. 1). Als Referenz wurde ein Bauteil mit einer Folie als Trennhilfe gefertigt (Abb. 2). Es konnte kein Unterschied zwischen den Oberflächen festgestellt werden. Die Oberfläche der gefertigten Bauteile unter Einsatz der permanenten Trennschicht ist also offenbar frei von Kontaminationen.



| | | | |
|---|---------------------------|-----------|------------|
| D:\MESSUNGEN\WUE\Fa. Schröter A406506\Bauteil mit Folie Probe 4.0 | Bauteil mit Folie Probe 4 | PU-Schaum | 2007/07/06 |
|---|---------------------------|-----------|------------|

Seite 1 von 1

Abbildung 11: Chemische Zusammensetzung der PU-Oberfläche eines mit permanenter Trennschicht abgeformten Bauteils.



| | | | |
|---|-------------------|--------------------|------------|
| D:\MESSUNGEN\WUE\Fa. Schröter A406506\Bauteil 1 Probe 3.0 | Bauteil 1 Probe 3 | Folie PU-Schaum | 2007/07/06 |
|---|-------------------|--------------------|------------|

Seite 1 von 1

Abbildung 12: IR-Spektrum der PU-Oberfläche eines mit Folie abgeformten Bauteils.

Die Ergebnisse der IR-Messungen werden durch XPS-Messungen auf den Bauteilen bestätigt. In Tabelle 1 ist die chemische Zusammensetzung mit permanenter Trennschicht entformter PU-Bauteile der eines in Folie entformten PU-Bauteils gegenübergestellt. Bei den permanenten Trennschichten handelt es sich um siliziumorganische Schichten. Die typische Zusammensetzung ist 29,5 % Sauerstoff, 48,5 % Kohlenstoff und 22 % Silizium. Sowohl bei den Bauteilen, die mit Folie entformt wurden, als auch bei den Bauteilen mit Einsatz der permanenten Trennschicht tritt ein geringer Si-Gehalt an der PU-Oberfläche auf. Dieser stammt nicht von Kontaminationen oder Trennmitteln, sondern von Zusatzstoffen des PU-Basismaterials. In Ecken scheint es zu einer geringen Anreicherung dieser Hilfsstoffe zu kommen.

| | PU-Oberfläche (in Folie entformt) | PU-Oberfläche (mit permanenter Trennschicht entformt) | |
|----|--------------------------------------|--|------|
| Na | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| O | 16.2 | 19.8 | 21.1 |
| N | 3.5 | 3.6 | 4.2 |
| Ca | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| C | 77.6 | 73.6 | 71.3 |
| S | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| Si | 2.8 | 3.0 | 3.5 |

Tabelle 1: Chemische Zusammensetzung der PU-Oberfläche in Atomprozent [At%]

In Versuchen mit einer verbesserten permanenten Trennschicht konnten über 40 Bauteile ohne Entformungshilfen geschäumt werden, bevor es in der Fläche zur Anhaftung von PU-Resten kam. Als problematisch erwiesen sich jedoch Kantenbereiche und Hinterschneidungen. Hier erfolgte eine Verzahnung des Polyurethans und anschließendes Herausbrechen von Schaumresten aus dem Bauteil (Abbildung 13). Anhand der Interferenzfarben ist sehr gut zu erkennen, dass die Trennschicht in den Flächenbereichen auch nach etlichen Entformungen noch unverändert vorhanden ist.



Abbildung 13: Nach Abformung auf der Form verbliebene PU-Reste

Eine spezielle Situation besteht im Angussbereich. Beim Schäumen des Polyurethans entweicht der Überdruck durch den Angussbereich der Form. Dabei tritt dort PU aus. Diese Reste müssen manuell entfernt werden. Bei diesem Arbeitsvorgang mit Handwerkzeugen ist offenbar die mechanische Belastung der Trennschicht an einigen Stellen so hoch, dass diese geschädigt werden. In diesen Bereichen müsste weiterhin mit herkömmlichen Trennmitteln gearbeitet werden.

Diese manuellen Arbeiten und die bislang noch zu geringen Standzeiten erschweren die Wirtschaftlichkeit, und es ist daher zurzeit noch keine Umsetzung für eine Produktion von PUR-Schaumprofilen möglich. Es besteht somit noch ein hoher Bedarf an neuen Beschichtungen der Formwerkzeuge, um den aufwändigen Einsatz von Trennmitteln und die damit verbundenen Kontaminationen an Bauteilen zu vermeiden.

5.7 Konzeptionierung einer Produktionsanlage

Die Projektarbeiten haben gezeigt, dass für die Vorbehandlungsstation einer Produktionsanlage eine Kombination von Rotations- und Runddüsen benötigt wird, die einzeln justiert und eingestellt werden können. Dadurch kann die Anlage auf die individuelle Geometrie der Profile angepasst werden. Die Größe und damit auch die Kosten einer Anlage hängen von den zu kaschierenden Profilgeometrien ab. Für Profile bis zu einer Breite von ca. 600 mm wird eine Anlage mit ca. 12 Rotations- und 6 Runddüsen benötigt.

Die Absaugung kann abhängig von der aktuell betriebenen Düsenzahl geregelt werden, um Energiekosten einzusparen. Eine Kapselung der Kaschierstrecke ist nicht notwendig und somit entfallen auch die Komponenten, die zur Einstellung eines Klimas benötigt werden.

Die Installation von Wärmequellen, d.h. von IR-Strahlern und Heizgebläsen, ist genau abzustimmen, um ein exaktes Temperaturprofil mit homogener Verteilung auf dem Bauteil einstellen zu können. In dieser Beziehung stellt der Einsatz der Plasmabehandlung zur Reinigung / Aktivierung der Bauteiloberfläche als Ersatz für den Einsatz von lösemittelbasierten Haftvermittlern höhere Anforderungen.

6 Diskussion der Ergebnisse

Die Verklebung von Polyurethan-Profilen mit Dekorpapieren war bisher nur mit Hilfe von lösemittelhaltigen Haftvermittlern möglich. Es konnte gezeigt werden, dass ein Plasmaverfahren für die Oberflächenvorbehandlung der PU-Profile auch im technischen Maßstab geeignet ist, um Produktionshilfsstoffe zu entfernen oder zu modifizieren. Dabei konnte festgestellt werden, dass die Verteilung der Trennmittel auf dem Bauteil ungleichmäßig ist.

Die Oberflächenenergie eines mit Trennmittel entformten PU-Profils liegt im nicht behandelten Zustand bei ca. 30 mN/m und konnte durch die Vorbehandlung an einer Pilotanlage auf 56 - 60 mN/m erhöht werden. Auf den Materialien konnte anschließend eine gute Haftung der Dekorfolien mit reaktiven Schmelzklebstoffen auf Basis von Polyurethan und nichtreaktiven Systemen auf Basis von Polyamiden erzielt werden. Nichtreaktive Systeme auf Basis von Polyolefinen konnten im technischen Maßstab nicht erfolgreich geklebt werden. Diese Klebungen erwiesen sich als nicht langzeitstabil.

Das Plasma entfernt nach den vorliegenden Untersuchungen oberflächlich vorhandene Trennmittel nur zum Teil. Zum anderen Teil werden die Trennmittel im Plasma oxidiert und verbleiben auf der Oberfläche. Die Veränderung der PU-Oberfläche durch eine Behandlung im AD-Plasma zeigt sich bei der Aufnahme eines ATR-Spektrums. Aus der Intensitätsabnahme der CH₂- und CH₃-Banden (2850 – 2920 cm⁻¹) lässt sich ableiten, dass eine Oxidation stattfindet. Jedoch zeigte sich, dass eine Vorbehandlung unter Produktionsbedingungen und bei komplexerer Bauteiltopographie weniger intensiv als im Labor an einfachen Oberflächengeometrien ist. Dennoch reichte die Vorbehandlung der PU-Bauteile aus, um die Dekorpapiere aufzukleben.

Die wichtigsten Parameter für die Vorbehandlung sind neben Abstand und Geschwindigkeit das zu verwendende Ionisationsgas und die notwendige elektrische Leistung. Als Ionisationsgas in den eingesetzten Plasmadüsen ist die Verwendung von Druckluft ausreichend. Eine gute Wirkung erzielt man mit hohen elektrischen Leistungen. Zur flächigen Behandlung des Polyurethans eignen sich Rotationsdüsen. Für den Kantenbereich, in denen z.T. verstärkt Trennmittel nachgewiesen werden konnte, können auch Runddüsen verwendet werden, ohne das Polyurethan thermisch zu schädigen.

Als wichtigster Parameter für eine gute Haftung stellte sich die Kontakttemperatur zwischen Klebstoff und Polyurethan heraus. Ein Einfluss der Feuchtigkeit auf die Klebqualität bei den reaktiven Klebstoffen konnte bei den Untersuchungen nicht nachgewiesen werden. Das Verfahren konnte erfolgreich übertragen werden. Umweltschädliche lösungsmittelbasierte Haftvermittler können durch eine Vorbehandlung im AD-Plasma substituiert werden.

Für die Ökologische Betrachtung ist nur die Vorbehandlung zu berücksichtigen. Die anderen Hilfsstoffe brauchen zum Vergleich nicht herangezogen zu werden, da die gleichen Trennmittel und ähnliche Klebstoffe verwendet werden können. Durch den Ersatz der lösungsmittelbasierten Haftvermittler mit einer Reinigung und Aktivierung im Plasma kann die Umwelt erheblich entlastet werden. Für eine Möbeloberfläche von 100 m² werden nach dem herkömmlichen Verfahren etwa 10 l chlorierte Kohlenwasserstoffhaltige Haftvermittler verbraucht, die aufwändig entsorgt werden

müssen. Zur Vorbehandlung im Plasma sind für die gleiche Fläche lediglich ca. 5 m³ Druckluft und 6 – 7 kW elektrische Leistung notwendig.

7 Ökologische und ökonomische Bewertung des Verfahrens

Grundsätzliche Ausführungen zur ökologischen und ökonomischen Bewertung zu dem Verfahren sind im Abschlußbericht AZ 22774-1 gemacht worden. Hierbei wurden drei Verfahren verglichen.

1. Bauteil aus leichtem Tropenholz, Klebstoffauftrag, Kaschieren der Dekorfolie
2. Bauteil aus PU-Schaum, Auftrag eines Haftvermittlers, Klebstoffauftrag, Kaschieren der Dekorfolie
3. Bauteil aus PU-Schaum, Plasmabehandlung, Klebstoffauftrag, Kaschieren der Dekorfolie

Allen Verfahren gemeinsam sind der Klebstoffauftrag und die Kaschierung. Vereinfacht wird angenommen, dass die gleichen Folien eingesetzt werden können und sich auch die Klebstoffe im Preis nicht unterscheiden. Die nachfolgenden Bilanzierungen beruhen auf Annahmen und den Projektergebnissen zur Vorbehandlung im Plasma.

Das erste Verfahren genügt den Anforderungen der Kunden nicht mehr. Die heute teilweise geforderten Geometrien für Profileleisten können ohne Oberflächendefekte nicht aus dem Holz gefräst werden. Ein weiteres Problem ist das Gewicht der Bauteile. Profileleisten mit Holz als Trägermaterial sind ungefähr doppelt so schwer (ca. 0,34 g/cm³), wie die geschäumten PU-Profile (ca. 0,16 g/cm³). Der Ersatz von leichten Tropenhölzern durch PU-Schaum kann schon in einem kleinen Wohnwagen eine Gewichtersparnis von bis zu 10 % des Gesamtgewichtes und damit ca. 100 kg bringen. Geht man von einem reduzierten Treibstoffverbrauch von nur 1l/1000 km aus, so würde sich dies bei einer Lebensleistung von 100.000 km auf 100 l Treibstoff je Fahrzeug summieren.

Ein weiterer Aspekt, der gegen das erste Verfahren spricht, ist, dass die benötigte Tropenholzqualität nicht verfügbar ist. Aufgrund seiner Astfreiheit und seines geringen Gewichts kann lediglich das Tropenholz Abachi (*Triplochiton scleroxylon*) eingesetzt werden. Das Holz wird vorwiegend in Zentral- und Westafrika (Ghana, Kamerun, u.a.) gewonnen. Da das Holz relativ schnell wächst, wird es teilweise in Forstplantagen angebaut. Diese Plantagen entstehen zumeist auf großen Kahlschlägen als Sekundärwald. Die weltweite Holznachfrage kann durch diese Plantagen jedoch nicht gedeckt werden, so dass weiterhin Primärwälder abgeholzt werden. Ca. 65% des Holzes aus diesen Regionen stammt aus illegalen oder verdächtigen Quellen⁹. Die Holzart Abachi gilt weltweit als stark übernutzt¹⁰, daher empfiehlt die Weltnaturschutzorganisation IUCN einen verbesserten Schutz¹¹. Es gibt derzeit kein vom Forest Stewardship Council (FSC) zertifiziertes Abachi auf dem Markt¹². Darüber hinaus ist aufgrund der insgesamt sehr begrenzten Abachi-Ressourcen (zertifiziert oder illegal) der Antragsteller gezwungen alternative Materialien wie PU-Schaum zu verwenden.

Beim zweiten und dritten Verfahren wird PU-Schaum als Trägersubstanz genommen. PU ist energetisch neutral. Die Komponenten werden in der chemischen Industrie aus Erdöl als Rohstoff hergestellt. Am Ende des Lebenszyklus des PU-Schaums ist ein Recycling oder eine thermische Verwertung möglich.

Der Unterschied bei den beiden Verfahren ist in der Vorbehandlung vor dem Kaschieren zu sehen. Als Haftvermittler eingesetzte chlorierte Kohlenwasserstoffe werden durch eine Plasmabehandlung ersetzt.

Für das zweite Verfahren ergibt sich unter der Annahme von 20 m² zu behandelnde Oberfläche pro Fahrzeug und einem Verbrauch von 100 ml Haftvermittler pro m², pro Fahrzeug ein Verbrauch von ca. 2 l Haftvermittler (Dichlormethan).

Für die Vorbehandlung im Plasma konnten anhand der Pilotanlage genauere Kenntnisse der Kosten dieser Behandlung erhalten werden. In der Fläche können Rotationsdüsen und in den Randbereichen Runddüsen verwendet werden. Für 20 m² Oberfläche gehen wir aufgrund der Versuchsergebnisse von einem Stromverbrauch der Düsen von 0,3 kW und einem Druckluftverbrauch von 1 m³ aus. Für die Absaugung wird zusätzlich ca. 1 kW benötigt.

Das neue Verfahren mit der Plasmavorbehandlung ist ökologisch vorteilhaft zu bewerten. Der bedenkliche Einsatz lösemittelbasierter Haftvermittler kann vollständig entfallen. Zusätzlich ist durch den Einsatz des leichtgewichtigen PUR-Materials eine Einsparung von ca. 100 l fossiler Energieträger beim Endkunden durch ein reduziertes Gewicht der Fahrzeuge gegeben.

8 Verbreitung der Vorhabensergebnisse

Die Projektergebnisse fließen direkt in die Ausbildung am Klebtechnischen Zentrum des IFAM ein. Dadurch wird gezielt ein Fachpublikum erreicht. Sowohl vom IFAM als auch von Seiten des Herstellers der PU-Bauteile wird den Kunden von den Ergebnissen insbesondere auf Messen berichtet.

Hannover Messe 2007, 16.04. – 20.04.2007

K2007, 24.10. – 30.10.2007

Caravan Salon 2008, 30.08. - 07.09.2008

Parts2clean 2008, 28.10. – 30.10.2008

9 Fazit

Im Projekt konnte gezeigt werden, dass bei der Herstellung von Profilen in der Möbelindustrie die Primerung mit chlorierten Kohlenwasserstoffen durch eine umweltfreundlichere AD-Plasma Vorbehandlung ersetzt werden kann. Durch die flexible Gestaltung der Plasmadüsen ist das Vorbehandeln auch von schwierigen Profilgeometrien möglich. Ein anschließendes Aufkleben der Dekorfolien ist prozesssicher möglich. Die Untersuchungsergebnisse zeigen, dass ohne Plasmavorbehandlung kein prozesssicheres Kleben der Dekorfolien realisiert werden kann. Das Ziel, Profil- und Möbelteile auf Basis von PU-Schäumen ohne Haftvermittler zu kleben ist erreicht worden. Der Einsatz chlorierter Kohlenwasserstoffe ist in diesem Industriebereich nicht mehr notwendig und es wird dadurch die Umwelt nachhaltig entlastet.

10 Literaturverzeichnis

- ¹ Abschlussbericht AZ 22774, Entwicklung eines umwelt- und gesundheitsfreundlichen Verfahrens für die Oberflächenbehandlung von PU-Teilen, 06/2006
- ² Abschlussbericht AZ 22635, Entwicklung von trockenen, permanent trennwirksamen Beschichtungen für metallische Formen zur Herstellung von Kunststoffteilen
- ³ S. Horstmann, A. Riegel, Ummantelungsverfahren besser verstehen, Adhäsion, 2008, Heft 3, S. 28-34
- ⁴ Industrieverband Klebstoffe e.V.: TKH4 - Merkblatt Schmelzklebstoffe, 01/2006
- ⁵ Oberbach, Karl : Saechtling, Kunststoff Taschenbuch, Hanser Verlag, 2001
- ⁶ Uhlig, Konrad : Polyurethan Taschenbuch, Hanser Verlag, 1998
- ⁷ Abschlussbericht Verbundprojekt ProCFK FZ 20W0303L, Plasmaverfahren für permanente Trennschichtn in CFK, 05/2007
- ⁸ <http://www.wissenschaft-online.de/abo/lexikon/bio/41>
- ⁹ <http://www.wwf.ch/de/derwwf/themen/wald/fsc/holzfuehrer/abachi.cfm>
- ¹⁰ http://www.unep-wcmc.org/species/tree_study/africa/1-84.html
- ¹¹ <http://www.greenpeace-magazin.de/spezial/holzfuehrer/holzfuehrer.pdf>
- ¹² <http://www.wwf.ch/de/derwwf/themen/wald/fsc/holzfuehrer/abachi.cfm>

zu Kap. 4.4. Klebstoffe

- [1] **Bühnen** : www.buehnen-gruppe.de, 09/2006
- [2] **DORUS** : www.henkel.de, 01/2008
- [3] **3M** : www.3m.com, 09/2006
- [4] **Griltex** : www.ems-group.com, 03/2007
- [5] **Henkel** : www.henkel.de, 10/2006
- [6] **Jowat** : www.jowat.de, 10/2006
- [7] **Kleiberit** : www.kleiberit.com, 10/2006
- [8] **Sika** : www.sika.de, 09.2006
- [9] **Vestoplast** : www.vestoplast.de, 10/2006
- [10] **WEVO-Chemie** : www.wevo-chemie.de, 01/2008