

Polypropylen (PP) besser kleben

A. Bender, S. Fricke, Technische Hochschule Lübeck

Der Grenzflächenbereich Kunststoff-Klebstoff ist entscheidend für die Klebverbindung.

Was bedeutet eine Atmosphärenplasmabehandlung von Polypropylenoberflächen und reichen die derzeitigen Erklärungsmodelle zur Beschreibung und zum Verständnis der Adhäsionsmechanismen aus?

Abbildung 1:
PP - Zugprüfstab wird mit dem KinPen plasmabehandelt



Kunststoffteile werden häufig verklebt. Die Schwachstelle ist meist die Berührungsstelle Kunststoff – Klebstoff, also die Grenzfläche. Einige Kunststoffe wie z.B. Polyethylen (PE) und Polypropylen (PP) lassen sich schlecht verkleben. Haftvermittler können die Verklebung verbessern. Einige sind aber gesundheitlich bedenklich. Eine Alternative kann der Einsatz von Atmosphärendruckplasmen zur Grenzflächenaktivierung sein. Oft reicht dabei schon eine einmalige gezielte und strahlüberlappende Atmosphärenplasmabehandlung der Fügeiteiloberflächen aus, um eine erhebliche Verbesserung der Klebbarkeit zu erreichen. Eine Plasmabehandlung kann eine Oberflächenaufräuhung, ein Oberflächenaufschmelzen und eine Oberflächenfunktionalisierung bewirken. Alle drei Oberflächeneigenschaften haben einen mehr oder weniger starken Einfluss auf die Klebbarkeit. Hinzu kommt, dass durch eine Atmosphärenplasmabehandlung auch eine Oberflächenreinigung (z.B. sogenannte kalte Verbrennung dünner Fettschichtreste) und ein Wegblasen leicht löslicher Oberflächenbelegungen erfolgt, was zu besseren Klebverbindungen führt. [1]

Die Höhe der Oberflächenenergie ist gerade bei Kunststoffoberflächen von großer Bedeutung. Besonders Polyethylen und Polypropylen besitzen eine kleine Oberflächenenergie, was deutlich wird, wenn man einen Wassertropfen auf der Oberfläche betrachtet. Dieser verläuft nicht, sondern zieht sich zusammen und perlt leicht ab. Wasser ist dabei polar und die Kunststoffoberflächen sind wenig polar bzw. unpolar. Polypropylen und Polyethylen lassen sich also schlecht mit Wasser aber auch mit Klebstoffen benetzen und somit auch schlecht verkleben, bedrucken oder lackieren. Dieser Wassertropfentest ist eine ganz einfache Methode, um eine erste Aussage zur Oberflächenenergie (zur Polarität) vor und nach einer Oberflächenbehandlung zu bekommen.

Um erfolgreich Kleben zu können, gilt es, die Oberflächenenergie der Kunststoffoberflächen so zu erhöhen, so dass diese nach Möglichkeit die Werte vom Klebstoff erreicht. Eine Atmosphärenplasmabehandlung gestattet dieses. Die Gesamtoberflächenenergie des Substrates kann mit Testtinten bestimmt werden, was aber oftmals nicht ausreichend ist. Geeigneter aber aufwendiger ist die Bestimmung des dispersen Anteils (van der Waales Wechselwirkungen) und des polaren Anteils (z.B. Wechselwirkungen durch polare Wasserstoffbrücken), die in Summe die Gesamtenergie der Oberfläche darstellen. Es hat sich gezeigt, dass eine Verklebung zweier Verbundpartner mit gleicher Gesamtenergie nicht bzw.

schlecht möglich ist, wenn sie sich in ihren dispersen und polaren Anteilen unterscheiden. Eine gute Verklebung ist zu erwarten, wenn die dispersen und polaren Anteile von Kunststoff und Klebstoff annähernd gleich sind.

Materialien und Methoden

Um die Güte einer Verklebung in Hinblick auf eine Vorbehandlung mit Plasma zu untersuchen, wurden zwei unterschiedliche Arten von Proben hergestellt. Es wurden Zugprüfstäbe mittels Spritzgießen und Proben aus extrudiertem Plattenmaterial gefertigt, die dann in Anlehnung an die Norm [2] behandelt und verklebt wurden. Diese Zugscherproben wurden dann auf ihre Zugscherfestigkeit hin untersucht. Im Gegensatz zu den aus dem Plattenmaterial gefertigten Proben besitzen die Spritzgussproben eine sogenannte Spritzhaut, die durch den schnelleren Abkühlprozess am Rand beim Übergang zum Werkzeug entsteht und die als amorpher als das Volumenmaterial angesehen werden kann. Diese veränderte Oberflächeneigenschaft kann die Adhäsionsfähigkeit beeinflussen. [1]

Die Bestimmungen der Oberflächenenergien der Substrate mit ihren dispersen und polaren Anteilen wurde mit dem Gerät **FM 40 Easy Drop** der Firma Krüss GmbH vorgenommen. Dazu werden je 5 Tropfen Diiodmethan und deionisiertes Wasser auf die Kunststoffoberflächen aufgetragen, die Tropfenform vermessen, die Kontaktwinkel (Randwinkel an der Kontaktstelle) bestimmt, Mittelwerte gebildet und mittels Modellrechnungen (Owens, Wendt, Rabel und Kaelble (OWRK) [3]) zusätzlich der disperse und polare Anteil der Gesamtoberflächenenergie bestimmt. Der maximale Fehler ist kleiner $0,5 \text{ mJ/m}^2$. [1]

Zur Vorbehandlung der Proben kamen zwei Atmosphärenplasmageräte zum Einsatz, die beide zu den sogenannten kalten Plasmen zählen und den Plasmastrahl (sogenannten Afterglow) mittels erhöhtem Gasdruck aus der Düse herausblasen.

Der **PlasmaBeam** [4] (Generatorfrequenz 29 kHz) der Firma Diener electronic GmbH und Co KG hat eine Leistung von 300 Watt, verwendet als Prozessgas Luft, der Strahl ist ca. 20 mm lang und 3,5 mm breit und die Temperatur im Plasmastrahl beträgt ca. 200°C . Die Messung der Temperatur der Substrate erfolgte mit einer Wärmebildkamera vom Typ Fli7 der Firma FLIR Systems GmbH (Abstand Probe-Düse 10 mm und stationäre Dauerbestrahlung) und zeigte nach 1 Sekunde bereits einen Wert von 100°C , der nach 15 Sekunden 180°C erreichte. [1]

Um Kunststoffoberflächen erfolgreich zu aktivieren und thermisch möglichst nicht zu schädigen ist eine dynamische zeilenweise Plasmabehandlung notwendig. Bei dem gewählten Abstand von 10 mm, einer Verfahrgeschwindigkeit von 40 mm/s und einem Zeilenabstand von 4 mm traten Probentemperaturen bis zu 60°C auf. Bei gleichem Zeilenabstand und höherer Verfahrgeschwindigkeit oder größerem Probenabstand (bis zu 20 mm) wurden immer noch Probentemperaturen bis zu 50°C erreicht. Generell gilt, dass zu schnelles Behandeln oder zu große Abstände keine erfolgreiche Aktivierung mehr bewirken. Der Plasmastrahl muss die Probe sichtbar berühren. [1]

Der **KinPen 11** [5] (Generatorfrequenz 1 MHz) der Firma Neoplas tools GmbH hat eine Leistung von 10 Watt, als Prozessgas wird Argon verwendet, der Strahl ist ca. 15 mm lang und 1,5 mm breit und die Temperatur im Plasmastrahl beträgt weniger als 40°C . Die Messung der Substrattemperatur mit der gleichen Wärmebildkamera vom Typ Fli7 (Abstand Probe zur Düse 10 mm und stationäre Dauerbestrahlung von wenigen Minuten) zeigte einen Wert von maximal

30 °C. Bei dynamischer zeilenweiser Plasmabehandlung wurde ein Wert von 25 °C nicht überschritten. [1]

Beim KinPen kann auch Luft als Prozessgas verwendet werden. Da es keine Unterschiede bei den Kontaktwinkeln und den Zugscherfestigkeiten gab, wurde im Weiteren nur mit Argon gearbeitet. Es ist somit davon auszugehen, dass die den Plasmastrahl umgebende Luft zur Aktivierung ausreichend ist und weniger Stickoxide gebildet werden.

Beim Plasmabeam konnte für PP eine Oberflächenaufschmelzung, was zu einer glasig spiegelnden Oberfläche führte, beobachtet werden, was beim KinPen nicht der Fall war.

Die Oberflächenrauheitsmessungen mittels Chromatischen Weißlichtsensors (**MicroProf Multisensor**) der Firma FRT GmbH (angegebene Messgenauigkeit 10 nm) [6] zeigten bei den Proben, die mit dem Plasmabeam behandelt wurden, eine Zunahme der maximalen Rauheit (maximale Rautiefe R_{max}). Die größeren mikroskaligen Rauheitspeaks wurden größer und die kleineren Peaks auch an den Flanken der größeren Peaks nahmen ab bzw. verschwanden ganz, was zu kleineren Mittenrauheiten R_a und kleineren Rautiefen R_z führte. Diese Beobachtungen wurden auch bei PE in [1] gemacht. Eine Abnahme dieser kleineren Rauheiten erklärt auch den glasigen spiegelnden Schein der Oberflächen durch die Verringerung der diffusen Reflexion.

Als Klebstoff wurde ein lösungsmittelfreier **Zweikomponenten-Klebstoff auf Epoxidharzbasis** der Firma UHU GmbH („UHU Plus Endfest 300“) verwendet. [7] Im ausgehärteten Zustand wurde die Oberflächenenergie mit 45 mJ/m^2 (dispenser Anteil 33 mJ/m^2 und polarer Anteil 12 mJ/m^2) bestimmt. [1]

Zusätzlich wurde ein **Einkomponenten-Klebstoff auf Cyanacrylatbasis** der Firma Henkel AG & Co KGaA, der mit einem Haftvermittler (Primer) angeboten wird, (**Pattex** Sekundenkleber Plastix Flüssig) verwendet. [8] Im ausgehärteten Zustand (ohne Primeranwendung) wurde die Oberflächenenergie mit 33 mJ/m^2 (dispenser Anteil 33 mJ/m^2 und polarer Anteil 0 mJ/m^2) bestimmt. [1]

Im Weiteren wurden die Oberflächenenergien der Proben vor und gleich nach der Plasma-behandlung bestimmt, die behandelten und unbehandelten Proben verklebt (mindestens 5 Proben, Klebrebreite 25 mm, Überlappungslänge 12,5 mm und Klebehöhe 0,2 mm) und dann mit der Zugprüfmaschine (Zwick/Roell Z020) die Zugscherfestigkeiten bestimmt und die Mittelwerte gebildet. Der maximale Fehler bei den ermittelten Zugscherfestigkeiten ist kleiner $0,1 \text{ MPa}$.

Die Proben wurden vor dem Verkleben mit einem Alkohol getränkten Tuch abgewischt, dann mit Alkohol gespült und anschließend trocknen gelassen. Hierbei sollten vor allem fetthaltige Verschmutzungen entfernt werden. Dieses simple Vorgehen ist im privaten Gebrauch aber auch oft im industriellen Umgang mit Verklebungen üblich. Der jeweilige Klebstoff wurde bei Raumtemperatur aufgetragen und bei dieser Temperatur 24 Stunden ausgehärtet. [1]

Untersuchungen zur Oberflächenenergie und zur Zugscherfestigkeit

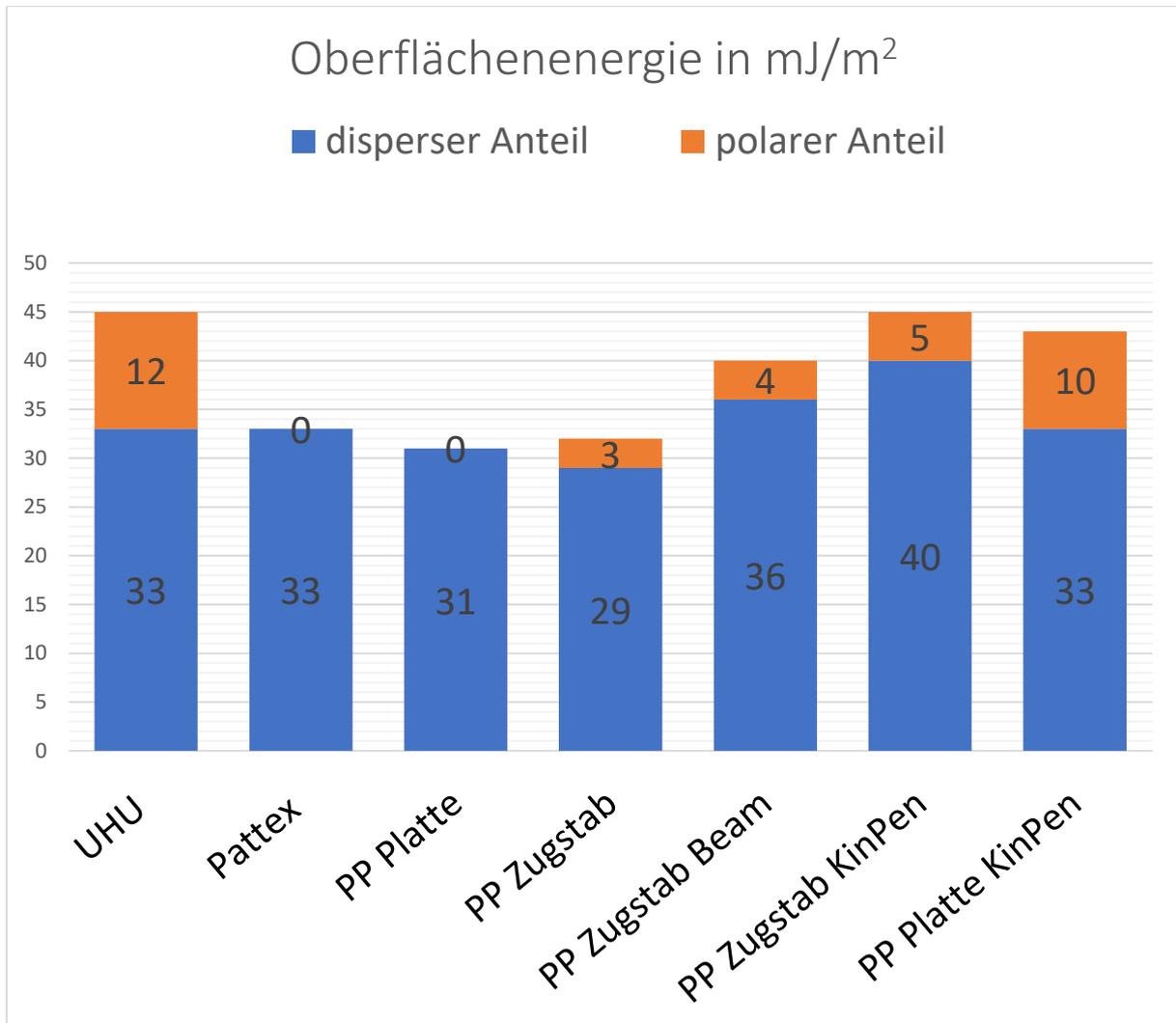


Abb 2: Oberflächenenergien der PP-Proben vor und nach der Plasmabehandlung sowie von ausgehärtetem UHU und Pattex

In der Abbildung 2 wird deutlich, dass die dispersen Oberflächenenergieanteile von PP und beiden Klebstoffen sich nur gering unterscheiden. Der Zugprüfstab, der aufgrund seiner Spitzhaut als etwas amorpher an der Oberfläche im Vergleich zur Plattenoberfläche angesehen werden kann, weist einen polaren Anteil im Gegensatz zur Platte auf. Der Klebstoff UHU hat einen polaren Anteil, der sich nur bei den PP-Proben (Platte), die mit dem KinPen behandelt wurden, in der gleichen Größenordnung befindet. Auch die dispersen Anteile weisen hier die gleiche Größenordnung auf, weswegen mit dieser Kombination die größten Festigkeitswerte im Klebversuch erwartet werden.

Bei den anderen PP-Proben haben sich kurz nach der Plasmabehandlung der polare Anteil nur geringfügig und der disperse Anteil erheblich erhöht. Interessant ist, dass der PlasmaBeam nicht zu den höchsten Oberflächenenergiewerten führt. Weiterhin scheint eine Plasmabehandlung von PP zu einem geringeren polaren Anteil der Oberflächenenergie zu

führen als beim PE. [1] Es ist davon auszugehen, dass weniger Sauerstoff in die Oberflächenstruktur eingebaut wird und weniger funktionelle Gruppen, wie z.B. OH-Gruppen, entstehen. Polypropylen hat viele CH₃-Gruppen (Methylgruppen), die als sehr stabil anzusehen sind und bei denen Funktionalisierungen im C-H-Bindungsbereich seltener stattfinden. [9] Vermutlich werden durch die Plasmabehandlung auch ganze CH₃-Gruppen von der Polymerkette entfernt, die als Radikale dazu beitragen, dass sich der disperse Oberflächenenergieanteil erhöht. Eine oberflächennahe Entfernung von CH₃-Gruppen würde die Ketten etwas beweglicher machen, was zu Umorientierungen und durch die entstandenen offenen Bindungen zu Quervernetzungen führen kann. Die CH₃-Gruppen können auch durch Reaktionen mit Sauerstoff und Wasser zu leichtflüchtigen Reaktionsprodukten führen. [11] Die Rolle der CH₃-Gruppen verbunden mit besonderen Oberflächeneigenschaften werden später in dieser Arbeit genauer diskutiert.

Zugscherfestigkeitswerte in MPa

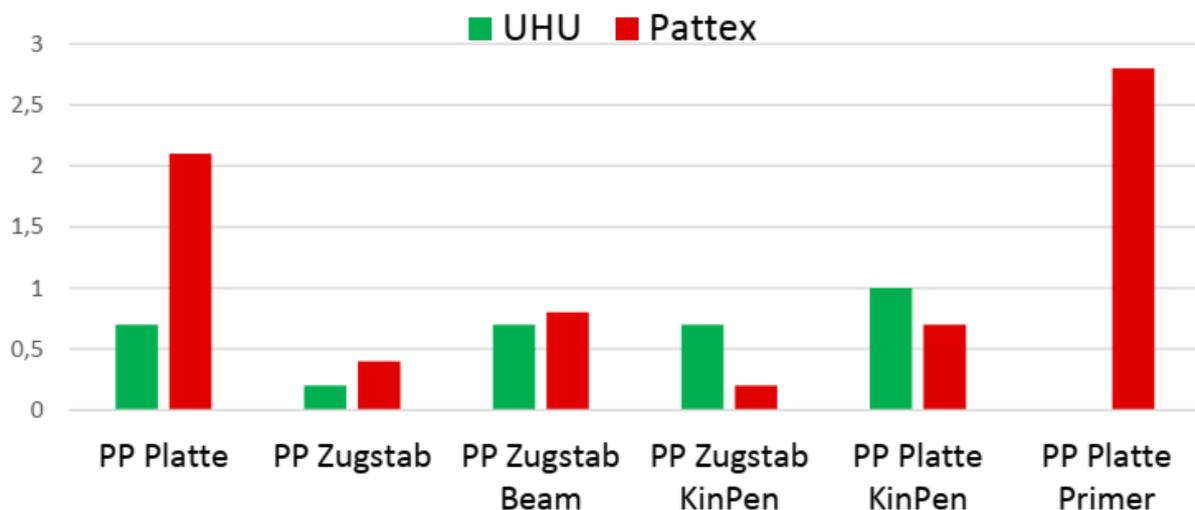


Abb 3: Zugscherfestigkeitswerte der verklebten PP-Proben vor und nach der Plasmabehandlung sowie die Verklebung von PP-Proben mit Pattex und Primeranwendung

Zusätzlich wurden Zugscherfestigkeitswerte von PP (Plattenmaterial), die mit Pattex verklebt und vorher mit dem angebotenen Primer behandelt wurden, ermittelt. Diese wurden in die Diagramme aufgenommen und dienen zum Vergleich.

Beim Primerauftrag mit der vorgeschriebenen Einwirkzeit konnte beobachtet werden, dass sich beim PP die Oberfläche leicht eintrübte. Die Zugscherfestigkeit lag beim PP bei 2,8 MPa, wie auch beim Polyethylen PE [1] beobachtet.

Wie in der Abbildung 3 zu sehen, werden die größten Zugscherfestigkeitswerte für PP mit Pattex und der Primervorbereitung erreicht. Eine Erklärung dafür wäre, dass durch ein Anlösen der Oberfläche mit Lösemitteln (hier Primer bei Pattex) weitere Andockstellen für den Klebstoff entstehen. Selbst die reine Verklebung der PP-Platten mit Pattex ohne Primervorbereitung führte zu höheren Zugscherfestigkeitswerten im Vergleich zu einer Plasmabehandlung der PP-Platten. Eine Erklärung wäre, dass hierbei die Oberflächenenergien von Substrat und Klebstoff dicht beieinander liegen und beide polaren Oberflächenenergieanteile annähernd null sind. Die Platte lässt sich besser verkleben als der Zugprüfstab. Eine Erklärung kann zurzeit nicht gegeben werden. Es wird vermutet, dass der unterschiedliche

Herstellungsprozess und dessen Einfluss auf die Oberflächenstruktur von Platte und Zugprüfstab eine wesentliche Rolle spielt.

Ergebnisdiskussion

Eine Plasmabehandlung verbessert die Klebbarkeit von den Zugprüfstäben mit dem Klebstoff UHU, wobei mit der KinPen-Behandlung vom Plattenmaterial die größten Werte für die Zugscherfestigkeit erzielt werden. Eine Erklärung dafür wäre, dass hier die KinPen-Behandlung zu polaren und dispersen Oberflächenenergieanteilen führt, die mit dem Klebstoff UHU nahezu übereinstimmen. Der Klebstoff UHU ist polar, so dass die durch die Plasmabehandlung erreichte Funktionalisierung der Polymeroberfläche eine bessere Klebbarkeit bewirkt.

Wenn der Klebstoff wie Pattex unpolar ist, dann kann eine Funktionalisierung sogar ungeeignet für das Kleben sein und verschlechtert die Verklebungen, was besonders deutlich bei den Zugprüfstäben und der KinPen-Behandlung wird. Hier liegen der polare und vor allem aber der disperse Oberflächenenergieanteil von Pattex und den Zugprüfstäben weit voneinander entfernt.

Der PlasmaBeam bewirkt bei den Zugprüfstäben bei Pattex jedoch die höchste Festigkeit der Klebung. Hier ist der polare Oberflächenenergieanteil nicht ganz so hoch und die dispersen Oberflächenanteile von Pattex und den behandelten PP-Zugprüfstäben liegen nahe beieinander. Beim PlasmaBeam erfolgt ein Oberflächenaufschmelzen und eine damit verbundene Oberflächenveränderung. Diese kann klebefördernd sein und sogar eine ungeeignete Funktionalisierung oder die Bildung von leichtflüchtigen Reaktionsprodukten der CH_3 -Gruppen etwas kompensieren, da sich ein Verhaken des Klebstoffes an den ausgebildeten speziellen Spitzen [10] ergeben kann. Das erklärt, warum mit dem PlasmaBeam keine wesentliche Erhöhung der Oberflächenenergie erreicht wurde aber dennoch eine höhere Zugscherfestigkeit mit Pattex gegenüber der KinPen-Behandlung gegeben war.

Der Einfluss der Plasmabehandlung auf die Zugscherfestigkeiten mit eindeutiger Korrelation zu den Kontaktwinkelmessungen wie dieses beim Polyethylen PE [1] festgestellt wurde, kann beim Polypropylen PP nicht einfach übertragen werden. Plasmabehandlungen von PP müssen nicht immer zu höheren Polaritäten an der Oberfläche führen und hohe Polaritäten müssen nicht zwangsläufig zu geringeren Klebfestigkeiten mit unpolaren Klebstoffen führen. Polypropylen bietet ein paar Besonderheiten, die im Folgenden betrachtet und diskutiert werden sollen.

Eine Zusammenstellung von Arbeiten, Ergebnissen und Modellen zur Verwitterung durch Umwelteinflüsse bevorzugt durch UV-Strahlung von der Sonne kommend, erhöhte Temperaturen und der Anwesenheit von Sauerstoff und Wasser von verschiedenen Polymeren gibt Wypych. [11] Atmosphärendruckplasma verfügt über UV-Strahlung, Luftsauerstoff und zusätzlich energiereiche Ionen und Elektronen und kann die Oberflächentemperaturen erhöhen, so dass von Wypych beschriebene Mechanismen für die Erklärung der hier gewonnenen Ergebnisse für Polypropylen in Betracht kommen. Polypropylen verwittert an der Oberfläche stärker als Polyethylen und viele andere Polymere. [11] Die langen Ketten werden im Polypropylen eher nicht so häufig aufgebrochen aber die reichlich vorhandenen CH_3 -Gruppen werden eher abgespalten. Eine oberflächennahe Entfernung von CH_3 -Gruppen würde die Ketten etwas beweglicher machen, was zu Umorientierungen und durch die entstandenen offenen Bindungen zu Quervernetzungen

führen kann. Ein Andocken von Wasserstoff, Sauerstoff und OH-Gruppen erfolgt ebenfalls. Ein Andocken von Wasserstoff führt aber zu keiner Funktionalisierung sondern zu einer hydrophoben Oberfläche, wie diese beim Polyethylen PE vorliegt. Die reaktionsfreudigen ansonsten aber recht stabilen CH_3 -Gruppen (Radikale) reagieren aber eher mit den im Plasma aktivierten Bestandteilen der Luft (Sauerstoff, OH-Gruppen und auch Wasserstoff) und bilden leichtflüchtige Verbindungen wie z.B. Alkohole, Carbonsäuren und Ketone, die auf der Oberfläche nicht chemisch gebunden vorliegen und durch die Druckluft des Plasmajets sogar weggeblasen werden können. Es ist davon auszugehen, dass Sauerstoff und gebildete funktionelle Gruppen nicht in der Anzahl wie beim Polyethylen in die Oberflächenstruktur vom Polypropylen chemisch eingebaut werden und keine umfangreiche Funktionalisierung der Oberfläche erfolgt. Bei einer Kontaktwinkelmessung beim Polypropylen, bei der auch deionisiertes Wasser verwendet wird, würden die noch verbleibenden flüchtigen Verbindungen, die wegen des vorhandenen gebundenen Sauerstoffs hydrophil sind, weggewaschen werden. Gerade deswegen sind alleinige Ergebnisse von Kontaktwinkelmessungen bei Polypropylen PP schwieriger zu erklären. [11] Kontaktwinkelmessungen beim Polypropylen als alleiniger Indikator für eine Hydrophilisierung und Verbesserung der Klebbarkeit sind daher kritisch zu sehen. So kann man davon ausgehen, dass eine Atmosphärendruckplasmabehandlung von Polypropylen nicht zwangsläufig zu einer starken Funktionalisierung der Oberfläche führen muss. Das erklärt auch die starken Unterschiede und zum Teil auch widersprüchlichen Ergebnissen in der Oberflächenenergie und den Zugscherfestigkeiten, die mit den beiden hier verwendeten Plasmaquellen beobachtet werden. Beim PlasmaBeam werden aufgrund der höheren Leistung höhere Plasmadosen und Oberflächentemperaturen erreicht, so dass eher mehr flüchtige Reaktionsprodukte auf Basis der CH_3 -Gruppen zu erwarten sind als eine Funktionalisierung der Oberfläche. Der polare Anteil bei der Oberflächenenergie fällt auch geringer aus. Der disperse Anteil steigt, was auf die reaktionsfreudigen aber auch recht stabilen CH_3 -Gruppen zurückgeführt werden kann. Ein Teil dieser CH_3 -Gruppen reagiert nicht sofort mit den Luftbestandteilen oder PP-Kettensegmenten und verweilt im PP-Oberflächenbereich. Da es trotzdem zu einer Verbesserung der Klebbarkeit kommt, kann durch die Oberflächenrauheitsveränderungen durch ein leichtes Aufschmelzen bei der Behandlung mit dem PlasmaBeam erklärt werden. [10]

Beim KinPen und der Platte scheint durch die geringe Plasmadosis eine viel stärkere Funktionalisierung der Oberfläche erreicht worden zu sein, was auch im größeren polaren Anteil der Oberflächenenergie deutlich wird. Die Zugscherfestigkeitswerte sind hier auch beim Klebstoff UHU am größten. Beim Zugprüfstab, der durch die Ausbildung einer amorpheren Spritzhaut und einer vermutlich ungeordneteren CH_3 -Gruppen-Verteilung charakterisiert ist, steigen der polare Anteil nur leicht und der disperse Anteil der Oberflächenenergie stärker an. Vermutlich reichen die durch das Plasma eingetragenen Energien zur CH_3 -Gruppen-Abspaltung und steigenden Funktionalisierung aber weniger zur Bildung leichtflüchtiger Reaktionsprodukte. Ein Aufschmelzen der Oberfläche für ein besseres Verhaken findet auch nicht statt. [10] Die Verklebung mit UHU zeigt höhere Festigkeitswerte, aber die Verklebung mit Pattex erreicht die niedrigsten Festigkeitswerte.

Generell kann festgestellt werden, dass alle Plasmabehandlungen der Proben und dem Verkleben mit UHU eine Verbesserung der Zugscherfestigkeiten bewirkten. Es tritt eine ausreichende Oberflächenfunktionalisierung und beim PlasmaBeam zusätzlich eine Oberflächenrauheitsveränderung auf. Die entstandenen leichtflüchtigen Reaktionsprodukte auf der Oberfläche scheinen die untersuchten Verklebungen nicht stark negativ zu

beeinflussen. Diese Reaktionsprodukte sind bei Polypropylen und den hier verwendeten Klebstoffen als wenig hilfreich einzustufen. Bei anderen Polymeren und Klebstoffen können diese gegebenenfalls als Reaktionspartner für den Klebstoff interessant sein und Verklebungen verbessern.

Eine Plasmabehandlung der PP-Platte brachte für die Verklebung mit Pattex keine signifikante Verbesserung. Beim Zugprüfstab und der Behandlung mit dem KinPen trat sogar eine Senkung der Zugscherfestigkeitswerte auf. Hier könnten durch die Reaktionsprodukte und freien CH_3 -Gruppen (dispenser Anteil hoch) keine ausreichend festen Andockstellen für Pattex entstanden sein.

Die Messung der Oberflächenenergien der beteiligten Klebpartner ist eine gute Methode zur ersten Einschätzung der Klebbarkeit. Sogenannte Testtinten sind hilfreich und liefern einen ersten Eindruck aber entscheidend ist, dass die bestimmte Gesamtoberflächenenergie in den dispersen und polaren Anteil unterschieden werden kann. Stimmen der disperse und polare Anteil von Polymer und Klebstoff überein, dann kann von einer optimalen Klebung ausgegangen werden. Diese Aussage trifft für Polyethylen [1] aber auch für viele andere Polymere zu. Es gibt aber auch Unregelmäßigkeiten bei Polymeren wie Polypropylen, wie es in dieser Arbeit deutlich wird. So ist es ratsam, vor dem finalen Verkleben der Bauteile Oberflächenenergiemessungen und ggf. Zugscherversuche an Proben durchzuführen, denn im Extremfall könnte sogar eine unabgestimmte Probe-Klebstoffpaarung mit einer zusätzlichen Plasmabehandlung eine Verschlechterung der Klebung bewirken.

Die Oberflächenenergiebestimmung kann als eine hinreichende Prüfung angesehen werden, die aber nicht zwangsläufig zu den daraus gefolgerten besseren Verklebungen führen muss. Die Bestimmung ist aber für die Klebtechnik ein sehr guter Indikator.

Die Grenzfläche, die in der Regel nur einige Atomlagen ausmacht, ist für eine optimale Haftung und Verklebung maßgeblich.

Quellen:

[1] A. Bender, S. Fricke; L. Dethlefsen, Polyethylen besser kleben, Kunststoff 4/2021, Seite 48 - 51, Carl Hanser Verlag

[2] Klebstoffe – Bestimmung der Zugscherfestigkeit von Überlappungsklebung: Deutsche Fassung DIN EN 1465:2009

[3] D. K. Owens, R. C. Wendt, Estimation of the Surface Free Energy of Polymers, J Appl Polym Sci 13, 1741 (1969)

[4] Geräteunterlagen der Firma Diener

[5] Geräteunterlagen der Firma NeoPlas

[6] Geräteunterlagen der Firma FRT

[7] UHU Technisches Merkblatt, UHU Plus Endfest 300

[8] Pattex Technisches Merkblatt, Pattex Sekundenkleber Plastix Flüssig

- [9] R. Oeschger, B. Su, I.Yu, Ch. Ehinger, E. Sam He, J. Hartwig, Diverse functionalization of strong alkyl C-H-bonds by undirected borylation, Science, Vol. 368, Issue 6492, 15. May 2020
- [10] A. Bender, S. Fricke, Die richtige Rauheit für das Kleben von Polymeren Kunststoffe 09/2021, Seite 78 – 79, Carl Hanser Verlag
- [11] G. Wypych, Handbook of material weathering, Sixth Edition, ChemTec Publishing, 2018

Die Autoren

Dr. Arne Bender ist Professor an der TH Lübeck im Fachbereich Maschinenbau und Wirtschaft und seit Jahren auf dem Gebiet der Oberflächentechnik tätig.

Dipl.-Ing (FH) Sabine Fricke (M.Sc) ist wissenschaftliche Mitarbeiterin

<https://www.th-luebeck.de/hochschule/fachbereich-maschinenbau-und-wirtschaft/labore/oberflaechentechnik/forschung/>

Prof. Dr. rer. nat. Arne Bender
Technische Hochschule Lübeck, Fachbereich MW
Mönkhofer Weg 239, 23562 Lübeck - Germany
Tel.: +49 451-300-5544, Fax: +49 451-300-5037
E-Mail: arne.bender@th-luebeck.de, www.th-luebeck.de

