

Inline Plasmabehandlung von Kunststoffen

J. Schüßler*

Seit 1995 steht für das heute weltweit operierende Unternehmen Plasmatrete die Entwicklung von atmosphärischen Plasmaverfahren im Mittelpunkt seiner Aktivitäten. Die Openair Technologie ist international mit Patenten vertreten und findet Anwendung in nahezu allen Bereichen der industriellen Fertigung. Ohne jeglichen Einsatz von Chemikalien werden umweltschonende, innovative und kostengünstige Oberflächenbehandlungen realisiert: Materialien wie Kunststoff, Metall, Glas oder Textilien werden mit Openair-Plasma effizient und effektiv inline gereinigt, aktiviert oder beschichtet. Brillante Optik bei Lackierungen, optimale Haftung bei Kunststoffverklebungen oder hoher Korrosionsschutz bei der Vorbehandlung von Metallen sind beispielhafte Ergebnisse.

Since 1995 Plasmatrete, which today is a globally operating company, has focused its activities on the development of atmospheric-pressure plasma processes. Openair technology is protected internationally by patents and is employed in almost all fields of industrial production. Without any use of chemicals environmentally friendly, innovative and low-cost surface treatments have been implemented. Materials such as plastics, metals, glass or ceramics are efficiently and effectively cleaned, activated or coated inline by means of Openair plasma. A brilliant visual appearance after painting, optimum adhesion in plastic joints and high anticorrosive protection in the pre-treatment of metals are just some examples of the results achievable.

1. Einleitung

Als eine Schlüsseltechnologie der Zukunft für die Reinigung und Aktivierung von Materialoberflächen dient das atmosphärische Plasma. Der inline Prozess erfüllt nicht nur die wachsenden Ansprüche an die Verklebung und Lackierung von Kunststoffbauteilen, die Vorbehandlungstechnik ist zudem wirtschaftlicher und umweltfreundlicher als viele andere Verfahren. Ob Handygehäuse oder Lichtschalter, Kotflügel oder Display – die Industrie muss sich den ständig

wachsenden Anforderungen an Qualität, Design und Umweltschutz stellen und betreibt mit immer höherem Aufwand die Verbesserung ihrer Klebe- und Lackierungsprozesse. Entscheidend ist bei allem die bestmögliche Vorreinigung und Aktivierung der zu behandelnden Oberflächen. Die Vorbehandlungsverfahren reichen vom Ionisieren oder Beflammen über nasschemische Verfahren, Powerwash und Primeranwendung bis hin zur mechanischen Reinigung mit Straußenfedern. Trotz des betriebenen Aufwands liegt der von Staubpartikeln verursachte Ausschuss in der Produktion oft deutlich über 10 %. Die statische Aufladung der Oberflächen, der geringfügige, aber unakzeptable Rest von Feinstäuben in tiefer angeordneten Bereichen oder die Belastung der Umwelt bilden bei den genannten Verfahren die häufigsten Probleme.

2. Nachhaltige Lösung

Für eine sichere und langzeitstabile Haftung von Verklebungen und das makello-

se Erscheinungsbild von Lackierungen auf Kunststoffen ist eine gute Vorbehandlung zwingend erforderlich. Die von Plasmatrete, Steinhagen, bereits 1995 entwickelte und patentierte Plasmatechnologie Openair eliminiert die o. g. Probleme vollständig und ersetzt umweltbedenkliche und kosten- aufwendige Reinigungsprozesse. Sie eignet sich gleichermaßen zur Feinstreinigung von Oberflächen wie zur Verbesserung der Adhäsion. Die auf einem Düsenprinzip basierenden Systeme arbeiten bei Atmosphärendruck und erzeugen mit Hilfe eines in der Düse gezündeten Lichtbogens und des Arbeitsgases Luft ein Plasma, das potentialfrei auf das zu behandelnde Produkt strömt. Es besitzt ausreichend angeregte Teilchen, um gezielte Effekte auf der Oberfläche einzuleiten

3. Plasma – der 4. Aggregatzustand

Plasma ist Materie auf hohem instabilen Energieniveau. Der Energieeintrag erfolgt über die Aggregatzustände fest, flüssig oder gasförmig. Wird mittels elektrischer Entladung zusätzlich Energie in die gasförmige Materie eingeleitet, entstehen elektronisch angeregte Zustände. Dabei können Elektronen die Schale von Atomen verlassen und es kommt zu Bindungsbrüchen. Dies führt zur Bildung von freien Elektronen, Ionen und Molekülfragmenten – es entsteht eben das Plasma. Dieser Zustand war jedoch unter Normaldruck aufgrund seiner Instabilität bisher kaum zu verwenden.

Abb. 1: Für ein makelloses Erscheinungsbild werden hochwertige Handygehäuse vor dem Lackieren mit Plasma vorbehandelt. Die rotierende Openair-Düse erreicht Wirkbreiten bis 130 mm. (Foto: Plasmatrete)



* Joachim Schüßler,
Key Account Manager
mail@plasmatrete.de
Plasmatrete GmbH, Steinhagen

Vortrag, DKG Fachtagung 2008,
17. – 18. Juni 2008, Fulda,
Deutsche Kautschuk-Gesellschaft e.V., Frankfurt
Mit freundlicher Genehmigung von Plasmatrete

Erst das von Plasmatrete entwickelte Verfahren machte die Anwendung unter Atmosphärendruck industriell nutzbar: Durch die Entwicklung und den Einsatz spezieller Düsen gelang es, den bis dahin industriell kaum verwendeten Aggregatzustand erstmals in Produktionsprozessen und zudem auch inline in Fertigungslinien einzusetzen.

4. Elektrisch neutraler Plasmastrahl

Die Technik ist umweltfreundlich: Die Düsen werden einzig mit Luft, ggf. auch mit einem gewünschtem Prozessgas sowie mit Hochspannung betrieben. Als besonderes Merkmal ist der austretende Plasmastrahl elektrisch neutral, wodurch sich die Anwendbarkeit stark erweitert und vereinfacht. Seine Intensität ist so hoch, dass beim Einsatz feststehender Einzeldüsen Bearbeitungsgeschwindigkeiten von mehreren 100 m/min erreicht werden können. Ein einzelner Plasmastrahl kann, abhängig von der Leistung der Plasmadüse, bis zu 50 mm lang sein und eine Behandlungsbreite von 25 mm erzielen. Die Plasmaquelle wird je nach erforderlicher Behandlungsleistung im Abstand von 10–40 mm mit einer Geschwindigkeit von 6–600 m/min relativ zur Oberfläche des Behandlungsmaterials bewegt.

Durch den Einsatz von rotativen Plasmadüsen, kann sogar eine Wirkbreite bis 130 mm pro Düse, bei Behandlungsgeschwindigkeiten bis 40 m/min, erreicht werden. Zur Vorbehandlung größerer Flächen stehen neben den Einzeldüsen auch ganze Rotationssysteme zur Verfügung. Sie beinhalten je nach Anwendung mehrere Plasmaerzeuger, die mit sehr hoher Drehzahl rotieren. Je nach Durchmesser und Anordnung der Plasmadüsen können in einem Durchlauf bis zu 2000 mm breite Flächen behandelt werden. Die typischen Erwärmungen der Kunststoffoberflächen während der Behandlung betragen hier $\Delta T < 20^\circ\text{C}$.

Kunststoffoberflächen sind chemisch oft unreaktiv, da ihre langen Polymerketten eine geringe Oberflächenspannung aufweisen und keine oder nur wenige funktionelle Gruppen besitzen. Dadurch lassen sie sich nur schlecht verkleben. Die Ionen und freien Elektronen im

Plasmastrahl fügen Stickstoff und Sauerstoff in die Polymeroberfläche ein. Es bilden sich funktionelle Gruppen wie $-\text{OH}$ und $-\text{NH}$.

Das Verfahren bewirkt auf der Materialoberfläche die folgenden Effekte:

- **Aktivierung:** Es aktiviert die Oberfläche durch gezielte Oxidationsprozesse und erhöht die Oberflächenspannung um ein Vielfaches. Werte bis zu 72 mN/m sind damit auf vielen Kunststoffen möglich.
- **Entladung:** Im technischen Sinne bezeichnet man einen Plasmazustand als elektrisch leitfähiges Gas. Trifft der potenzialfreie Plasmastrahl auf die Oberfläche auf, können die elektrischen Ladungsträger des statisch aufgeladenen Werkstücks gegen Erde abfließen. Damit erfolgt die statische Entladung der Oberfläche.
- **Reinigung:** Das mit nahezu Schallgeschwindigkeit auf die Oberfläche strömende Plasma bewirkt die mikrofeine Reinigung von Metallen, Kunststoffen, Keramik und Glas
- **Beschichtung:** Durch den Zusatz eines Precursors können selektive Nanobeschichtungen inline erfolgen. Eine individuelle Modellierung der Oberflächen gemäß den Anforderungen der späteren Produkteigenschaften wird damit ermöglicht.

„Insgesamt findet eine Aktivierung der Oberfläche statt, die sich sehr positiv auf eine Haftung auswirkt“, erklärt Plasmatrete geschäftsführender Gesellschafter Dipl.-Ing. Christian Buske. „Durch den Prozess der Entladung von Oberflächen bietet unser Plasmasystem Reinigungseffekte, die konventionelle Systeme bei weitem übertreffen.“ Der Anwender macht sich hier die hohe elektrostatische Entladungswirkung eines freien Plasmastrahls zu Nutze. Dieser Effekt wird zusätzlich positiv durch die sehr hohe Ausströmungsgeschwindigkeit des

Plasmas beeinflusst, wodurch auch lose anhaftende Partikel effektiv von der Oberfläche entfernt werden. Der wirtschaftliche Aspekt: Die verwendeten Düsensysteme können vom Anwender immer „inline“, also direkt in die neue oder auch bereits bestehende Fertigungslinie, integriert werden.

5. Umweltfreundliche Haftungsverbesserung

Die präzise Vorbehandlung und mikrofeine Reinigung von Klebeflächen mittels Atmosphärendruckplasma erlaubt sowohl den Einsatz moderner lösemittelfreier UV-Klebstoffe als auch den wasserbasierter Systeme. Christian Buske: „So lassen sich beispielsweise Polycarbonatfenster mit lösemittelfreien UV-Klebstoffen in die Gehäusehalbschalen von Handys einkleben.“ Der entscheidende Vorteil der Technik besteht darin, dass bisher inkompatible Substrate zur Haftung gebracht werden können, so dass wässrige oder vielfach auch UV basierende Klebstoffe auf sehr klebstoffunfreundlichen Oberflächen, wie unpolarem Kunststoff, haften. Eine zusätzliche Vorbehandlung durch chemische Primer oder dem Bürsten und Abwaschen

Abb. 2: Openair-Feindüsen bewirken die mikrofeine Reinigung, hohe Aktivierung und selektive Nanobeschichtung auch bei kleinsten Oberflächengeometrien (Foto: Plasmatrete)

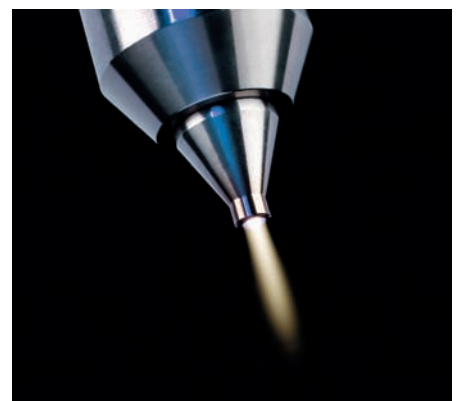
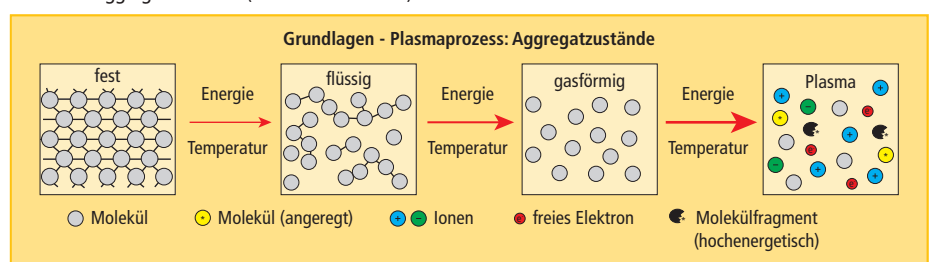


Abb. 3: Aggregatzustände (Grafik: Plasmatrete)



von Oberflächen kann komplett entfallen. Dadurch werden in der Produktion Emissionen von VOC (leichtflüchtigen Kohlenwasserstoffen) von vornherein vermieden. Die Behandlung erfolgt überaus gleichmäßig und kann durch eine Prozesskontrolle kontrolliert werden.

6. Anwendungen

6.1 Plasma im Spritzgussprozess

Zieltechnologien für die hier beschriebene Plasmabehandlung sind das 2K-Spritzgießverfahren sowie auch vor- und nachgeschaltete Prozesse wie das Lackieren, Verkleben, Bedrucken und Beschichten von Oberflächen. Das Verfahren ermöglicht kostengünstige Konstruktionskomponenten in Hart/Weich-Verbunden. Zur Schaffung fester Verbindungen zwischen normalerweise nicht kombinierbaren Kunststoffen kann mit einer Plasmavorbereitung beispielsweise teures ABS/PC durch die kostengünstigere Konstruktionskomponente Polypropylen (PP) in Hart/Weich-Verbunden mit TPU (Thermoplastische Polyurethane) ersetzt werden.

Ebenso besitzt das Verfahren ein enormes Potential zur Feinreinigung und Verbesserung der Adhäsion auch in der Mehrkomponententechnik bei Kunststoff/Kunststoff- bzw. Kunststoff/Metall-Verbunden. Es wird sowohl bei Thermoplast/Thermoplast als auch Duromeranwendungen eingesetzt (Thermoplast /LSR, TP/Gummi).

Durch die Vorbehandlung mittels atmosphärischem Plasma wird nicht nur die Verbindung von inkompatiblen Materialien ermöglicht, auch werden die Prozesssicherheit optimiert sowie hohe Ansprüche an die Qualitätsanforderung erfüllt. Das erzielbare Haftungs-niveau wird erhöht, der Einfluss von haftungsrelevanten Verarbeitungsparametern ist geringer und die Verbindung von Standardwerkstoffen wird verbessert.

6.2 Vorbehandlung vor dem strukturellen Verkleben von Kunststoff-Karosseriebaugruppen

Im Karosseriebau werden aus Gründen der Gewichtseinsparung einzelne Baugruppen heute nicht mehr aus Stahl- oder Aluminiumblechen, sondern aus Hochleistungskunststoffen gefertigt. Dabei werden innerhalb des Montageprozesses einer Baugruppe, wie z. B. der eines Innenkotflügels, im Rahmen eines automatischen Fügeprozesses einzelne Teile miteinander verklebt. Ob sich ein Kunststoff gut verkleben lässt, hängt im wesentlichen von seiner Oberflächenspannung ab, die größer sein sollte, als die des Klebstoffes. Häufig ist dies jedoch nicht der Fall, so dass eine geeignete Oberflächenvorbereitung erforderlich wird. Die sichere Haftung eines 2-Komponenten-Polyurethanklebstoffes auf SMC bzw. PPO (z. B. Noryl) wird durch die Vorbehandlung mit Plasma erreicht, das die Oberfläche bis

zur Nachweisbarkeitsgrenze reinigt und zusätzlich aktiviert.

Herkömmliche Vorbereitungsverfahren auf SMC – wie das Anschleifen oder Reinigen mit Aceton, werden durch die Plasmabehandlung nicht nur ersetzt, die Verklebegergebnisse werden auch übertroffen. Die Hochleistungsthermo- und Duroplastbauteile erfüllen nach der Montage alle Anforderungen im Hinblick auf Leichtbau, passive Sicherheit, mechanische Eigenschaften und eine „Class A – Oberfläche“. Die Openair-Technologie kann hier sowohl für die Verklebung als auch für die Lackierung dieser Baugruppen als Vorbehandlungsverfahren eingesetzt werden, wie es z. B. in Fahrzeugen wie BMW und Rolls Royce der Fall ist.

6.3 Verklebung von Elastomeren

Für den „Golf IV“ entwickelte Volkswagen eine geklebte Türzusatzdichtung zur Vermeidung von Windgeräuschen. Diese selbstklebende Dichtung aus einem Thermoplastischen Elastomer (TPE), welches als unpolares Material eine sehr geringe Oberflächenenergie aufweist, sollte an den Enden zusätzlich mit Klebepunkten aus einem MS-Klebstoff fixiert werden. Zur Verbesserung der Klebstoffhaftung muss das Elastomer vorbehandelt werden. Die konventionelle Methode ist der manuelle Auftrag von Primer, ein Verfahren, das bei Volkswagen heute so gut wie nicht mehr eingesetzt wird. Gesucht wurde ein lösungsmittelfreies System. Nach dem Vergleich verschiedener Corona- und Plasmaanlagen, wobei besonderer Wert auf ein großes Prozessfenster gelegt wurde, entschied sich VW für die inline Technik von Plasmareat.

Michael Steege, ehemaliger Fachreferent für Kleb- und Dichtstoffe in der Verfahrenstechnik der Volkswagen AG, erläutert die Gründe: „Werden diese Dichtungen direkt vor dem Klebstoffauftrag mit Openair Plasma vorbehandelt, ersetzt dieses Verfahren mehrere Arbeitsschritte. Durch die hochwirksame Vorbehandlung entfällt nicht nur die sonst erforderliche Vorreinigung der Klebeflächen, sondern auch das Auftragen von lösungsmittelhaltigem Primer kurz vor der Klebung. Die positive Folge für Volkswagen: Keine Verfallszeit des Primers ist zu beachten, keine Lösungsmittellemissionen und

Abb. 4: Abriebsichere Bedruckungen werden vor allem in der Lebensmittelindustrie gefordert. Das Plasma sorgt für optimale Haftungseigenschaften. (Foto: Plasmareat)

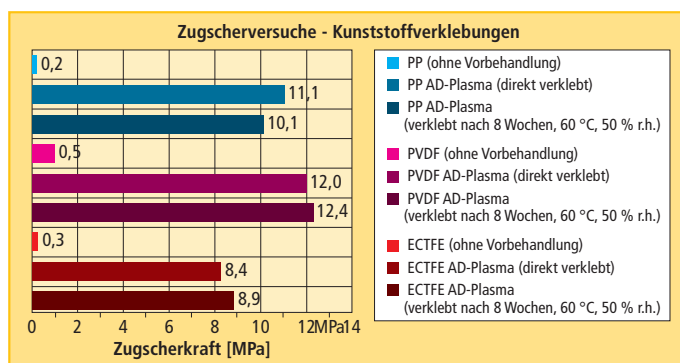


Abb. 5: Zugschwerkräfte - Kunststoffverklebungen (Grafik: Plasmareat)

keine logistischen Zwänge bei der Belieferung. Zudem hat das Plasmatreating Verfahren den großen Vorteil der Reproduzierbarkeit, wenn die Anlagenparameter genau überwacht werden."

6.4 Plasma vor dem Lackieren

Je mehr sich die Techniken angleichen, desto häufiger zählt bei der Kaufentscheidung des Endkunden nur noch das Aussehen. Design-Elemente und makellose Oberflächen bilden immer öfter die einzigen Unterscheidungsmerkmale. Schalter mit gelaserten Symbolen, hochglänzende Zierleisten und Abdeckungen, kratzfest lackierte Displayfenster und funkelnde Blenden, Lüftergitter oder Handschuhfachgriffe – auch die Kunststoffteile in den Innenräumen von Autos werden heute mit den aufwendigsten Lackierungen versehen.

Die Openair-Technologie kann hier sowohl für die Verklebung als auch für die Lackierung dieser Baugruppen als Vorbehandlungsverfahren eingesetzt werden, wie es beispielsweise in Fahrzeugen wie BMW und Rolls Royce der Fall ist.

Ein anderes Beispiel: Die Lackierung von Handygehäusen verlangt heute höchste Ansprüche an die Oberfläche: Das Lackbild muss absolut fehlerfrei sein und darf auf keinen Fall von Verunreinigungen in seinem Gesamtbild beeinflusst werden. Schon ein vor dem Lackieren kaum sichtbares Staubkörnchen auf der Oberfläche des Gehäuses führt nach dem Lackieren zu einer unansehnlichen Unebenheit, die der Kunde im Allgemeinen nicht akzeptiert. Elektrostatistische Effekte sind hier als Hauptursache für die Anhaftung von Staub zu nennen. Namhafte Zulieferer der Handyindustrie in China, Südkorea und Finnland haben längst reagiert: Hier gelang es Plasmatreating, mit großem Erfolg Anlagen zur Reinigung von Handygehäusen zu installieren, die eine äußerst effiziente Reinigung im Inline Verfahren ermöglichen. Unmittelbar vor der Lackierung reinigen mehrere rotierende Plasmaerzeuger mit hohem Wirkungsgrad die Kunststoffoberflächen. Der Ausschuss konnte so bei den Anwendern von 12 % auf unter 5 % reduziert werden.

6.5 Verzicht auf Haftgrundierung im Fahrzeugbau

Seit drei Jahren profitiert von dieser Technik auch ein großer amerikanischer Fahrzeughersteller bei der Vorbehandlung von Kunststoffoberflächen. Die starke Nachfrage nach dessen Fahrzeugen verbunden mit höchsten Ansprüchen an eine Mehrschicht-Lackierung sorgte für Engpässe in den Einbrennöfen.

Ein Fahrzeugteil hat gewöhnlich viele Stationen während des Lackierprozesses zu durchlaufen. Ein typisches Kunststoffbauteil erhält eine Haftgrundierung, eine bis zu acht Lackschichten und schließlich den Klarlack. Einbrennöfen haben jedoch begrenzte Kapazitäten. Die meisten Hersteller besitzen nur eine Lackierlinie und einen Brennofen pro Werk. Deshalb durchläuft hier ein Werkstück denselben Ofen vier- bis neunmal. Jede Möglichkeit, die Durchlaufkapazitäten ohne hohen Kapitaleinsatz, wie für die Anschaffung eines zusätzlichen Brennofens, zu steigern, führt zu signifikanten Kosteneinsparungen. Bereits die Verminderung um nur einen Durchlauf im Lackierungsprozess eliminiert die Kosten für den Primer, die damit verbundenen Arbeiterkosten und reduziert die Fixkosten des Brennofens.

Bei bestimmten Fahrzeugen ist es jedoch nicht möglich, bei einer Verringerung der dekorativen Decklackschichten dieselbe Oberflächenoptik beizubehalten. Mit Hilfe der

hier beschriebenen atmosphärischen Plasmapbehandlung gelingt jedoch auch in diesem Fall der vollständige Verzicht auf die Haftgrundierung. Dies resultiert in einer 25%igen Senkung der Brennofendurchläufe und damit gleichzeitig in einer bedeutenden Erhöhung der Ofenkapazität.

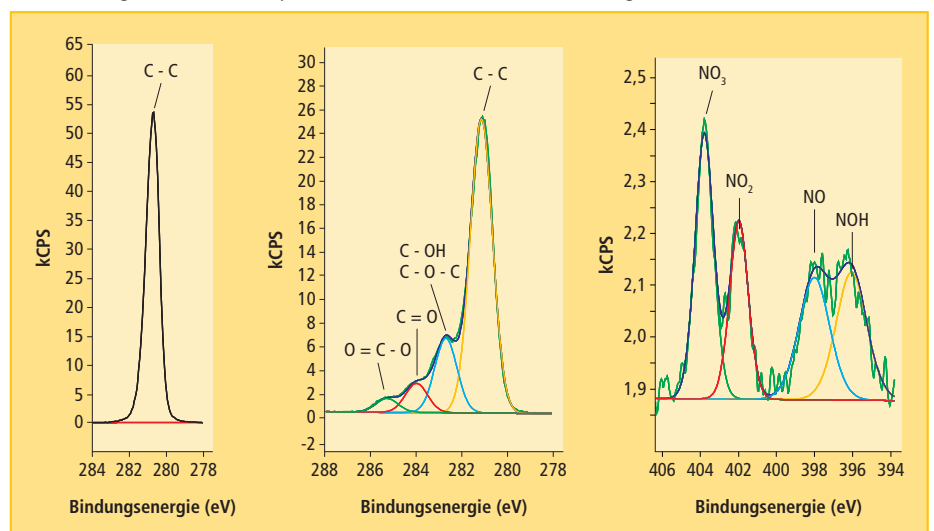
Abb. 6: Medizin-Mehrkomponententechnik: Das plasmapbehandelte Metallinsert wird anschließend im Spritzgussprozess mit Kunststoff umspritzt. (Foto: Gira)



Abb. 7: Brillante Oberflächen werden im Automobilbau durch eine Vorbehandlung mit atmosphärischem Plasma vor dem Lackieren erreicht. (Foto: Plasmatreating)



Abb. 8: XPS-Analyse (Röntgen-Photoelektronenspektroskopie) eines unbehandelten und eines mit Openair-Plasma behandelten Polypropylens (Grafik: Fraunhofer IFAM)
Diagramm 1: PP: unbehandelt (Oberflächenenergie: 27 mN/m)
Diagramm 2 u. 3: PP: Openair Plasma behandelt (Oberflächenenergie: bis zu 72 mN/m)



Andere vom Hersteller erwogene Vorbehandlungsprozesse wie das Corona- oder Beflammungsverfahren schieden aufgrund der Leitfähigkeit der Bauteile, der Möglichkeit einer thermischen Beschädigung und aus Sicherheitsgründen aus. Bei der Verwendung des Atmosphärendruckplasmas sind diese Risiken komplett ausgeschlossen.

6.6 Metallisierung von Kunststoffen

Die Technologie ist für die Metallisierung von Kunststoffen gleich in zweierlei Hinsicht interessant. Zum einen wird die Haftung der gesputterten Metallschichten durch die gleichmäßige Konditionierung der Ober-

fläche signifikant verbessert, da anhaftende organische Reststoffe sowie Partikel vollständig entfernt werden. Andererseits ist es aber auch möglich, eine bereits aufgedampfte Schicht mittels eines stark fokussierten Plasmastrahls und geringerer Behandlungsgeschwindigkeiten selektiv zu entfernen. Die durch die Reinigung erzielbare Qualitätsverbesserung geht häufig einher mit einer Senkung der Fehlproduktionen von über 10 %.

7. Zusammenfassung

Die beschriebenen Einsatzfälle verdeutlichen, dass der Vielfalt der heute bereits in

praktisch sämtlichen Industriesparten angewandten Vorbehandlungsmethode kaum Grenzen gesetzt sind. Das Openair-System ist uneingeschränkt inline fähig und robotertauglich. Zu den entscheidenden Vorteilen zählen vor allem die Zuverlässigkeit und Qualität dieses Verfahrens im Produktionsprozess. Somit kann den bekanntermaßen in dieser Hinsicht hohen Anforderungskriterien entsprochen werden. Daneben lässt sich die einfache Integration in die Prozessabläufe ebenso erfüllen wie die höhere Wirtschaftlichkeit im Vergleich zu herkömmlichen Methoden – und dies bei hervorragender Umweltverträglichkeit.