

**Klaus Kärcher, Otto Bihler  
Maschinenfabrik:** »Bihler wird  
auf dem Weg zu Industrie 4.0  
an der Spitze marschieren und  
Maßstäbe setzen.« **80**



**Michael Wohlmuth,  
Simufact Engineering:**  
»Der Verknüpfung von  
Produkt- und Fertigungswelt  
gehört die Zukunft.« **86**



# bbr: FUTURE

INDUSTRIE 4.0, LEICHTBAU, SIMULATION

## Vorbehandlung und Beschichtung

**ATMOSPÄRENDRUCKPLASMA** hat  
als Methode zur Oberflächenbehandlung  
eine große Zukunft.

**16 SEITEN**  
AKTUELLES  
ÜBER  
INDUSTRIE 4.0,  
LEICHTBAU,  
PLASMA UND  
SIMULATION

# »» WIR LIEBEN LEICHTBAU ««

**PLASMA** – das ist doch dieses rätselhafte, purpur-lila-farbene Flackern, bekannt aus dem Physikunterricht, technischen Museen und unbeschichteten Gasentladungslampen. Oder aus Schneid- und Schweißlichtbögen, in die man mit ungeschütztem Auge nicht schauen sollte. Plasma kann aber auch ganz harmlos – und dabei sehr nützlich – sein.

**W**er vor 50 Jahren in die Schule ging, lernte, dass Stoffe drei Aggregatzustände einnehmen könnten: fest, flüssig, gasförmig. Obwohl schon im 19. Jahrhundert erkannt, war dagegen »Plasma« als physikalische Bezeichnung noch nicht geläufig – und dieser vierte Aggregatzustand gibt auch heute noch vielen Zeitgenossen Rätsel auf. Wer Metall bearbeitet, weiß immerhin noch, dass man mit Plasma ziemlich brutal schweißen und schneiden kann. Man kann aber auch Oberflächen ganz sanft damit bearbeiten, selbst empfindliche Kunststoffe.

Doch bleiben wir zunächst bei der Definition von Plasma: Während in Gasen die Moleküle zwar ziemlich frei herumschwirren können, aber als solche erhalten bleiben, haben sich im Plasma die Elektronen teilweise oder vollständig aus der Atomhülle gelöst und können sich getrennt von den Ionen der Atomkerne im Raum bewegen. Plasma ist also elektrisch leitfähig. Um Plasma herzustellen, braucht man eine Menge Energie – Energie, die es auch wieder abgeben kann. Nach aktuellem Wissensstand bestehen 99 Prozent der sichtbaren Materie im Weltall aus Plasma.

In der irdischen Technik kann man vier grundsätzlich unterschiedliche Methoden der Plasmatechnik unterscheiden: Corona, Hoch-, Nieder- und Atmosphärendruckplasma.

Die Niederdruckplasma-Technologie erfordert eine Vakuumkammer (10<sup>-3</sup> bis 10<sup>-9</sup> bar), während

die Atmosphärendruckplasma-Behandlung, von der in diesem Beitrag die Rede sein soll, anlagentechnisch unkompliziert und auch einfach an Anwenderwünsche anpassbar ist. Mit Atmosphärendruckplasma kann man Oberflächen (feinst-)reinigen, aktivieren und beschichten.

## Jeder Fünfte in Forschung und Entwicklung

Der Pionier und (laut einschlägigem Lexikon) offizielle Weltmarktführer auf dem Gebiet der Oberflächenbehandlung per Atmosphärendruckplasma ist die Plasmatrete GmbH in Steinhagen bei Bielefeld, gegründet 1995, also vor 20 Jahren. Als man damals die Plasmadüsenteknik »Openair-Plasma« erfand, war man zu dritt. Heute sind es über 170 Mitarbeiter an 13 Standorten weltweit, davon gut 90 in Steinhagen. Die erste Industrieanlage wurde bereits 1995 in der Serienfertigung von Polypropylen-Scheinwerfergehäusen bei Hella installiert. Weitere folgten, unter anderem für den Weltmarktführer Kronos. Vier Jahre später entdeckte man die Möglichkeit, Oberflächen per Plasma auch in der Atmosphäre zu beschichten, was bis dahin nur im Vakuum realisiert war. Bereits 2000 liefen 14 Plasmatrete-Anlagen bei Volkswagen. Weitere prominente Kunden, wie Bosch und TRW, folgten. Heute ist das Verfahren in Industriebereichen rund um die Welt im Einsatz.

Plasmatrete-Geschäftsführer Christian Buske, auf weitere Expansion gebürstet, hat dafür gesorgt,

dass sein Unternehmen seine Marktposition nicht so schnell verliert: »Mehr als jeder fünfte Mitarbeiter in Steinhagen ist mit Forschung und Entwicklung beschäftigt. Zwölf Prozent unseres Jahresumsatzes investieren wir in diesen Sektor.« Der Lohn der intensiven Forschungstätigkeit ist aber nicht nur wirtschaftlicher Natur, sondern auch ideeller: So wurde Plasmatrete für seine Innovationskraft schon mehrfach national und international geehrt, zuletzt dieses Jahr mit dem »Würth Future Champion Award 2015«.

Das Wachstumspotenzial für das zukunftsweisende Verfahren allgemein und Plasmatrete speziell ist aus Buskes Sicht enorm: »Mit Atmosphärendruckplasma lassen sich fast alle Oberflächenprozesse verbessern. Doch obwohl diese Art der Vorbehandlung seit Jahren weltweit im Einsatz ist, ist sie vielen potentiellen Anwendern noch immer unbekannt.«

## Feinstreinigen, aktivieren und beschichten unter Atmosphärendruck

Plasmatrete unterscheidet drei Verfahren: Bei der Feinstreinigung mit Openair-Plasma werden Oberflächen sehr schnell und dabei sanft und sicher von Staub, Fetten, Trennmitteln oder Additiven befreit, während die Plasma-Aktivierung die Oberflächen ortsselektiv modifiziert und die langzeitstabile Haftung von Klebstoffen und Coatings ermöglicht. Durch die Nanobeschichtung »PlasmaPlus« (Plasmapolymerisation) können zudem



**1** Funktionale Schichten aus der Plasmadüse: Plasmaplus ermöglicht einen hohen Korrosionsschutz auf Aluminium.

**2** Die Vorbehandlung (Reinigung und Aktivierung) von Klebeflächen ist ein wesentliches Einsatzgebiet für das Openair-Verfahren.

**3** Patentierte Rotationsdüse zur flächigen Vorbehandlung

**4** Plasma-Aktivierung einer lackierten Aluminiumlamelle

**5** Die Benetzung nach Plasma-Aktivierung (Mitte) ist wesentlich besser als nach einer nasschemischen Behandlung.



funktionalisierte Oberflächeneigenschaften geschaffen werden, die besondere Produktanforderungen erfüllen.

Mit der Openair-Düsenteknik lässt sich sehr effektives und dennoch schonendes (weil potenzialfreies) Plasma unter Normaldruckbedingungen direkt in Fertigungsprozesse integrieren. Die Vorbehandlung mit Atmosphärendruckplasma kann nasschemische oder mechanische Vorbehandlungsverfahren meist komplett ersetzen. Der vielleicht größte Vorteil von atmosphärischem Plasma ist – neben seiner Prozesssicherheit und Reproduzierbarkeit – seine Inlinefähigkeit. Buske: »Unser

Verfahren eignet sich sehr gut für translatorisch bewegte Oberflächen, wie die von Blechen und Profilen. Unsere Anlagen können sehr leicht manuell oder automatisch auf die Profilgeometrie eingestellt werden.«

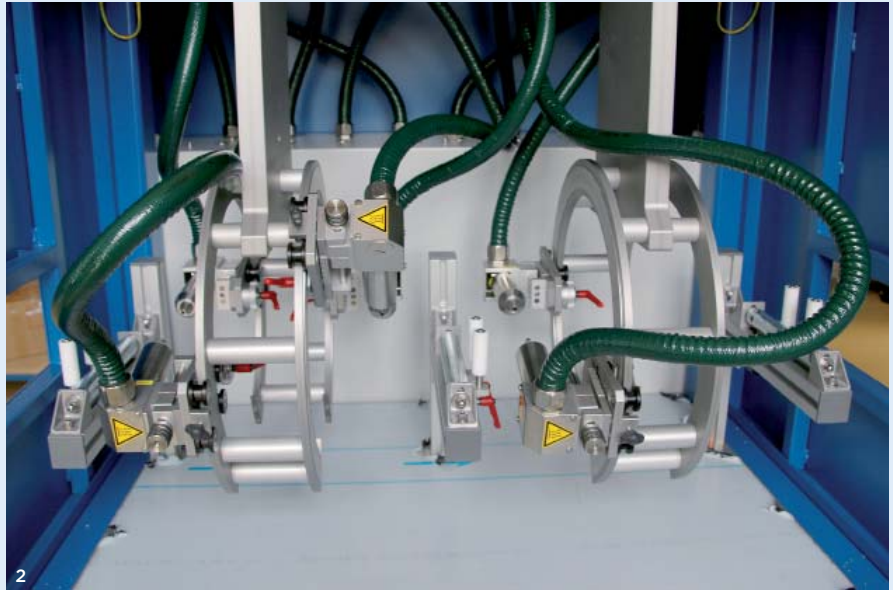
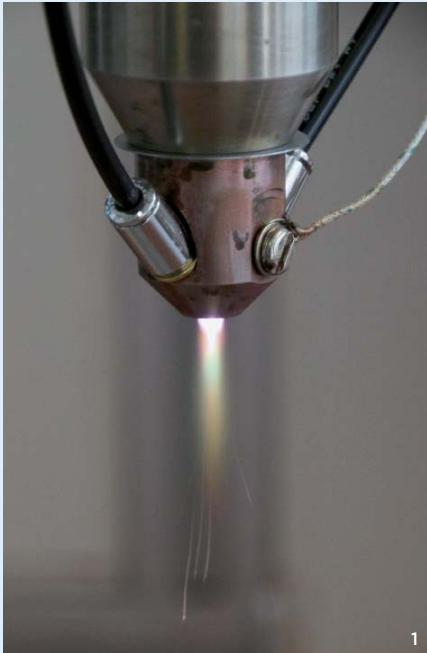
Und sie sind schnell: Im kontinuierlichen Prozess können mit statischen Düsen mehrere Hundert Meter pro Minute gefahren werden, allerdings hinterlässt dann die Düse nur eine wenige Millimeter breite Spur. Mit rotierenden Düsen (patentiert) kommt man auf Bearbeitungsbreiten um 100 mm, muss die Bandgeschwindigkeit dann aber auf 20 bis 30 m/min herunterfahren. Für Leichtbau-

Großpaneele, wie Kunststoff-Metall-Verbundplatten, hat Plasmareat Anlagen entwickelt, in denen versetzt angeordnete und in Serie geschaltete Rotationsdüsen Platten bis zu einer Breite von 3 m inline vorbehandeln.

### Leicht integrierbar und sehr umweltverträglich

Die Plasmareinigung ist zudem sehr umweltfreundlich. Christian Buske nennt die Integration in eine Coil-Coating-Anlage als Beispiel: »Wir konnten in der Schweiz eine über 60 m lange Nassreinigungstraße, die mit sehr problematischen →





1 Rätselhaft: Die zahlreichen Anwendungsmöglichkeiten von Plasma sind heute erst zu erahnen.  
2 Arbeitsraum einer Openair-Plasma-Anlage für Rohre und Profile

Reinigungsmitteln arbeitete und umfangreiche Sicherheits-, Absaug- und Aufbereitungseinrichtungen benötigte, durch ein nur zwei Meter langes Openair-Plasmasystem mit insgesamt 48 Düsen ersetzen. 20 Tonnen Filterkuchen, also Sondermüll, können so pro Jahr eingespart werden.« Noch erfreulicher ist es, dass durch die Plasmabehandlung Chemikalien wie die brandgefährliche und vielleicht krebserregende Chromschwefelsäure ( $H_2SO_4 + CrO_3$ ) komplett vermieden werden können.

Auch gegenüber mechanischen Reinigungsmaßnahmen sieht der Plasmatreater-Chef Vorteile: »Wir hinterlassen weder Schleifspuren noch drückt sich Abrieb, zum Beispiel von Korund, ins Werkstück. Ebenso wenig erzeugen wir Staub.«

Die ›Hohe Kunst‹ der Plasma-Teilereinigung ist für Christian Buske die gleichzeitige Aktivierung der Oberfläche, indem man das Trennmittel aus einem vorangegangenen Prozess durch Plasmabeschuss so verändert, dass es nun als Haftgrund dient. In einigen Fällen funktioniert das bereits.

Und schon haben wir einen eleganten Bogen zum zweiten großen Anwendungsbereich geschlagen, der Oberflächenaktivierung: Durch den Beschuss mit Ionen lassen sich Moleküle umweltfreundlich umorientieren, und zwar dauerhaft. Wer schon einmal versucht hat, Polyolefine (PE, PP) oder ABS zu kleben, weiß, dass sich die glatten Oberflächen dieser Kunststoffe nur nach einer chemischen Vorbehandlung einigermaßen verbinden lassen. Was im Bastelkeller mit Primer-Fläschchen und Pinselchen noch einigermaßen machbar ist, kann im industriellen Maßstab kritisch werden, sowohl aus Kosten- wie aus Umweltgründen. Einfacher ist da

die gezielte Erhöhung der Oberflächenenergie, der Reaktivität, durch Plasma, die zudem noch wirksamer ist. Die hydrophilen Eigenschaften werden markant verbessert: Statt zwischen  $48^\circ$  und  $52^\circ$  durch Nasschemie liegen die Kontaktwinkel bei Aluminiumbändern nach der Plasmabehandlung zwischen  $18^\circ$  und  $28^\circ$ .

### Stärkere, gleichmäßigere, zuverlässigere Haftung

In der Praxis führt das nicht nur zu besserer Haftung, sondern kann sogar ganze Arbeitsgänge einsparen, wie Christian Buske erklärt: »Um eine sichere Haftung zu erhalten, muss die Oberflächenenergie des Festkörpers höher sein als die Oberflächenenergie der Beschichtung. Um Lackierfehler, zum Beispiel Nasen, zu beheben, musste folglich bisher der beschädigte Decklack angeschliffen werden, damit der neu aufzutragende Basislack hielt. Eine fehlerhaft lackierte Autokarosserie musste also ausgeschleust, manuell bearbeitet und anschließend nachlackiert werden. Jetzt kann man die Oberfläche in der Linie per Plasma aktivieren und erneut lackieren.« Nicht nur die Lackierung kann wie üblich durch Roboter erfolgen, sondern auch die Plasmabehandlung. Mehr noch: Inzwischen ist es gelungen, einen Plasmakopf als letztes Werkzeug in ein Bearbeitungszentrum zu integrieren. Die Energieübertragung in der Spindel erfolgt induktiv.

Weiteres Anwendungsbeispiel für die Oberflächenbehandlung durch Plasma gefällig? Bitte sehr: Heizungsrohre werden heute bekanntlich zwecks Wärmedämmung mehrfach beschichtet. Die häufigen Temperaturwechsel in Verbindung mit den

unterschiedlichen Ausdehnungskoeffizienten von Metallen und Schaumstoff (PE) belasten die Klebeflächen enorm. Durch Plasma lassen sich die Metallrohre so präparieren, dass eine gleichmäßige, zuverlässige Verbindung entsteht.

Die Vorbereitung zuverlässiger Metall-Kunststoff-Verbindungen ist auch in der Elektrotechnik wichtig – und ein Problem, wenn die Fügestellen permanent wechselnden Umweltbedingungen ausgesetzt sind: Wasser findet seinen Weg auch durch kleinste Spalten. Spalten, die erst mit der Zeit entstehen, weil die Zug- und Scherspannungen an den Grenzflächen infolge thermischer oder mechanischer Belastung zu groß werden. Als Beispiele nennt Christian Buske LED-Lampen im Freien, sei es in Fahr- und Flugzeugscheinwerfern oder in Straßenlaternen: »Sie haben in diesen Leuchten etliche Metall-Kunststoff-Verbindungen. Eindringendes Wasser führt zu Farbveränderungen in den LEDs, und das lassen die Hersteller keinesfalls zu. Bisher haben daher unzuverlässige Verklebungen zu einer sehr hohen Ausschussrate und entsprechenden Kosten geführt. Durch Plasmavorbehandlung entsteht hier ebenfalls eine ausdauernde, gleichmäßige, zuverlässige Verbindung zwischen Metall und Kunststoff. Die Feinstreinigung und Aktivierung durch Plasma kann also die Qualität elektrischer und elektronischer Baugruppen erheblich steigern.

Das Wort ›zuverlässig‹ fällt sehr häufig im Zusammenhang mit der Plasmabehandlung. Das gilt auch für die Vorbereitung von Metall-Metall-Verbindungen durch Kleben, Lötens oder Schweißen. Und das gilt im Kleinen wie im Großen. Im Kleinen, das sind aus Sicht von Christian Buske vor allem Kon-

takte in der Elektronik, wie die haarfeinen Verbindungen von Leiterbahnen auf Silizium-Chips mit den Leadframes – Verbindungen, die immer noch feiner werden müssen, um die Miniaturisierung der Chips selbst nicht zu konterkarieren. Je dünner die Drähte, desto winziger die Kontaktflächen, desto geringer die übertragbaren Kräfte, desto höher die Ansprüche an die Lötverbindung. Auch hier bringt die Plasmavorbereitung erhebliche Steigerungen. Die Leadframes werden schon als Band gereinigt und aktiviert: kontinuierlich, zuverlässig, gleichmäßig, umweltfreundlich, berührungslos. Der Störfaktor Mensch bleibt »außen vor«.

Auch im größeren Maßstab lassen sich Klebe-, Schweiß- und Lötverbindungen durch Plasma-Aktivierung verbessern, man denke nur an Automobile und noch mehr an Flugzeuge: extreme Temperatur- und Feuchtigkeitsschwankungen, UV-Strahlung, Ozon und vor allem mechanische Wechselbelastungen mit hohen und niedrigen Frequenzen. Blasenfrei, lunkerfrei, wasserfrei: So sollen Löt- und Schweißverbindungen sein. Plasma-Aktivierung macht's möglich.

### **Inline-Beschichtung fast jeder Grundlage**

Ein weites Feld also für das Openair-Verfahren. Ein mindestens ebenso großes Potenzial und eine ungeheure Anwendungsvielfalt dürfte aber der zusammen mit dem IFAM entwickelte Plasmaplus-Technologie, der punktgenauen Beschichtung mit Plasmaunterstützung, beschieden sein. 1999 fand man einen Weg, Zusatzstoffe auch unter Atmosphärendruck in Oberflächen zu verankern. Bis dahin benötigte man dazu Vakuumkammern, und Vakuumkammer bedeutet nicht nur hohe Anschaffungskosten und großen Platzbedarf, sondern auch Unterbrechung des Produktionsprozesses, Stapelbetrieb, begrenzte Werkstückgröße.

Plasmaplus dagegen ermöglicht die kontinuierliche Bearbeitung, zumindest in Längsrichtung »unendlich« langer Bauteile – Leadframe-Streifen, Kabel



## **»Das Wachstumspotential für die Plasmabehandlung ist enorm.«**

Christian Buske, Plasmamatreat-Geschäftsführer

und Drähte zum Beispiel, aber auch Rohre und Profile. »Produkte mit gezielt funktionalisierten Oberflächen herstellen zu können, bedeutet eine völlig neue Dimension der Innovationsfähigkeit, deren Umfang wir heute nur ansatzweise erahnen können.«

Plasmamatreat-Anlagen finden praktisch in jeder Linie Platz. Und sie halten den Betrieb nicht auf: Abscheideraten in der Größenordnung 1 µm/s ermöglichen je nach gewünschter Schichtdicke (im 100-nm-Bereich) Prozessgeschwindigkeiten zwischen 5 und 30 m/min.

Die geringe, geometrisch-konstruktiv vernachlässigbare Schichtdicke (< 1 µm) ist ein weiterer wesentlicher Vorteil der Plasmabeschichtung. So lässt sich eine Oberfläche auch nachträglich elektrisch

isolieren und vor Korrosion, Feuchtigkeit und mechanischem Abrieb schützen, ohne Maßtoleranzen zu gefährden. Wie beispielsweise ein Korrosionsschutz auf Aluminium aufgebracht wird, beschreibt Plasmamatreat-Innovationsleiter Dr. Alexander Knospe: »Wir setzen dem Plasma eine siliziumorganische Verbindung zu, die durch das Plasma fragmentiert wird und auf der Werkstückoberfläche eine glasartige Schicht absetzt.« Die genaue chemische Zusammensetzung des Zusatzes richtet sich nach dem Basismaterial und dem späteren Einsatzzweck. So können beispielsweise hydrophile oder hydrophobe Oberflächen erzeugt werden.

### **Stahl: ein weites Feld**

Fast jedes Material lässt sich so beschichten. Anwendungen auf Stahl sind noch selten, doch Christian Buske sieht natürlich auch am immer noch weitaus wichtigsten Werkstoff etliche Möglichkeiten und verrät auch gleich zwei: »Man kann zum Beispiel mit Plasmaplus Elektroleche isolieren oder mit Openair-Plasma Tailored Blanks so vorbereiten, dass sie geklebt statt geschweißt werden können.« Und er fährt grinsend fort: »Wir lieben Leichtbau.« Unter anderem, weil man durch Plasma die Verbindung unterschiedlicher, bedarfsge-rechter Werkstoffe verbessern kann: sicherer, zuverlässiger, kostengünstiger, einfacher, umweltfreundlicher. Man könnte aber auch an Verschleißschutz in und an Umformwerkzeugen denken.

Nicht nur in der Stahlbearbeitung steht die Plasmabehandlung noch am Anfang; viele Möglichkeiten wird man erst in den nächsten Jahren entdecken. Zum einen forscht Plasmamatreat selbst nach neuen Anwendungen, zum anderen erwartet man aus Industrie und Wissenschaft Impulse. Buske hofft, dass sich die Plasmabehandlung als Industriestandard etablieren kann und bald so populär wird wie Drehen, Bohren und Fräsen.

**Hans-Georg Schätzl**  
[www.plasmamatreat.de](http://www.plasmamatreat.de)