

## Plasma hält sauber

Plasmen können medizinische Instrumente sterilisieren oder auch die unterschiedlichsten Oberflächen reinigen, wie Fingernägel oder Computerchips.

In vielen Bereichen geht es nicht ohne gründliche Reinigung bzw. Desinfektion: Im Krankenhaus muss medizinisches Gerät steril sein, und in der Industrie sind saubere Oberflächen von Computerchips oder Platinen notwendig, um die Haftung des Schutzlacks zu gewährleisten. Auch der bunte Werbeaufdruck auf Plastiktüten sowie der Nagellack auf Fingernägeln halten nur auf sauberen und fettfreien Oberflächen. Dort nämlich verteilt sich eine aufgetragene Flüssigkeit gleichmäßig und die gute Benetzung sorgt damit für Haftung.<sup>1)</sup> Zu diesem Zweck schaltet die Industrie dem Lackier- bzw. Klebprozess schon seit längerem eine gründliche Reinigung mittels Plasmen vor.

### Mehr als heiße Luft

Plasma gilt als vierter Aggregatzustand: In der gasförmigen Phase führt eine weitere Energiezufuhr zur Ionisation der Atome und Moleküle. Freie Elektronen und positiv geladene Ionen bewegen sich unabhängig voneinander und machen das Plasma zu einem elektrisch leitfähigen Gas. Materie im Plasmazustand findet sich u. a. in der Sonne und im Inneren der Sterne, aber auch in Blitzen oder im Polarlicht. Das charakteristische Leuchten entsteht, wenn die freien Ladungsträger rekombinieren.



Auf mit Plasma gereinigten Fingernägeln (unten) haftet sogar biologischer Nagellack

sichtbar besser als auf unbehandelten Nägeln (oben).

S. Tümmel, HAWK

Bei der Plasmareinigung ermöglichen es eingesetzte Probengase, bestimmte Atome und Moleküle in der Oberfläche anzureichern und diese dadurch zu modifizieren. Darüber hinaus ist eine solche Plasmabehandlung im Gegensatz zu gängigen nasschemischen Reinigungsverfahren umweltverträglicher und spart aufgrund der moderateren Prozesstemperaturen sogar Energie.

In thermischen, vollständig ionisierten Plasmen beträgt die Elektronenenergie häufig einige hundert Elektronenvolt. Die Temperatur des Gases, das durch hochenergetische Elektronenstöße angeregt wird, beträgt dann mehrere Millionen Kelvin. Um aber temperaturempfindliche Oberflächen, wie z. B. Kunststoffe oder Textilien, zu behandeln, setzt die Industrie auf

sog. kalte nicht-thermische Niederdruck- oder atmosphärische Plasmen, die vergleichsweise moderate Temperaturen zwischen 300 und wenigen Tausend Kelvin erreichen. Während sich Niederdruckplasmen bei Drücken unterhalb von 10 mbar erzeugen lassen, entstehen atmosphärische Plasmen bei Normaldruck. Diese kommen daher ohne aufwändige Vakuumkammern aus und können relativ einfach und kostensparend in existierende, industrielle Produktionswege integriert werden.

Eine Möglichkeit, ein atmosphärisches Plasma zu erzeugen, ist die dielektrische Barriere-Entladung, die Werner von Siemens vor genau 150 Jahren als Methode zur Ozonerzeugung entdeckt hat. Bei diesem Nichtgleichgewichtsplasma kann das Gas Raumtemperatur haben, während die Elektronen durch gezielte Anregung im elektrischen Feld Temperaturen von bis zu 50 000 K (entspricht etwa 5 eV) erreichen können. Üblicherweise bildet sich bei Atmosphärendruck ein Funken aus, der das Gas aufheizt. Um dies zu verhindern, werden zwei dielektrische Barrieren (z. B. Glas oder Keramik) zwischen die beiden metallischen Elektroden platziert (Abb. 1). Eine hohe angelegte Wechselspannung beschleunigt im Probengas einzelne freie Elektronen in Richtung Anode.

1) vgl. Physik Journal, Oktober 2006, S. 48.

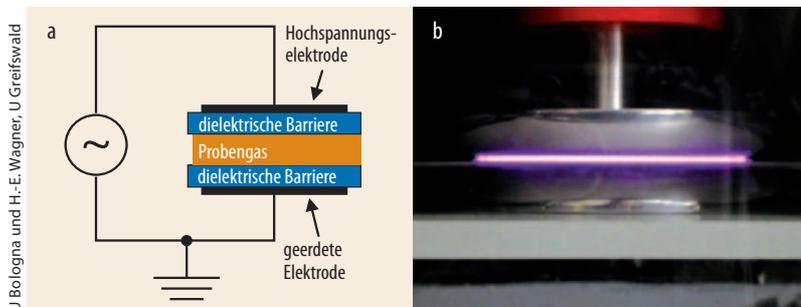


Abb. 1 Für die dielektrische Barriere-Entladung sind vor den Elektroden zwei Dielektrika angebracht (a). Zwischen diesen baut sich ein Gegenfeld auf, wenn das äußere Feld freie Elektronen

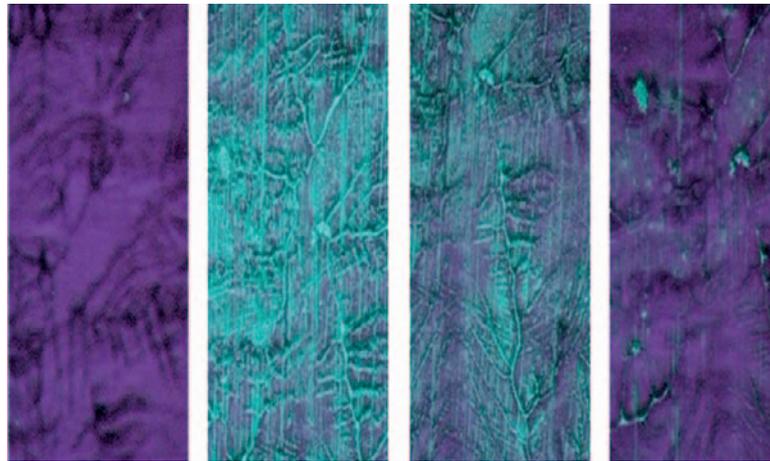
beschleunigt und diese dabei eine Elektronenlawine auslösen. Auch bei der Barriere-Entladung ist das typische Plasmaleuchten zu sehen (b).

Durch Stöße erzeugen diese auf ihrem Weg positive Ionen und weitere freie Elektronen, die schließlich eine Elektronenlawine hervorrufen. Hierbei kommt es zur Ladungstrennung. Während die Elektronen die anodenseitige Barriere negativ aufladen, sorgen die positiven Ionen am kathodenseitigen Dielektrikum für die entgegengesetzte Ladung. Dadurch baut sich ein Gegenfeld auf, welches das elektrische Feld im Entladungsraum verringert. Die Entladung verlischt nach so kurzer Zeit, dass die Elektronen die aufgenommene Energie nicht durch Stöße an die schweren Teilchen (Atome und Moleküle) des Gases abgeben können und sich das Probengas daher nicht nennenswert aufheizt. Stattdessen entstehen im Gasraum einzelne Entladungskanäle mit sehr engem Querschnitt – sog. Mikroentladungen.

In den Mikroentladungen werden die Moleküle des Probengases durch elektronische Anregung, Ionisation und Dissoziation aktiviert und Radikale gebildet. Diese sind entscheidend, um die Oberflächen zu reinigen (Abb. 2) und zu aktivieren. Bei der Verwendung von Sauerstoff als Probengas bauen die im Plasma entstandenen Radikale organische Verunreinigungen wie Fett zu flüchtigen Wasser- und Kohlendioxidmolekülen ab.

#### Haftung dank Plasma

Inzwischen hat sich die Anwendung der Plasmareinigung auch auf schmerzempfindlichen Oberflächen wie Fingernägeln durch-



Fraunhofer IST

**Abb. 2** Die fluoreszenzmikroskopischen Aufnahmen von verzinktem Stahlblech machen den Einfluss der Plasmareinigung besonders deutlich: Von links nach rechts zeigen die Bilder dieselbe Ober-

fläche in verschiedenen Zuständen: sauber, beölt und nach 0,12 Sekunden bzw. 0,48 Sekunden Behandlung mittels dielektrischer Barriere-Entladung in Luft.

gesetzt, da der Lack besonders gut auf sauberen Nägeln haftet. Mithilfe eines handlichen, akkubetriebenen Hochspannungspulsgenerators lässt sich unter Verwendung einer dielektrisch behinderten Elektrode eine homogene Entladung zwischen den beiden Elektroden erzeugen, wobei in diesem Fall der Fingernagel als Gegenelektrode dient. Diese Vorbehandlung dauert an jedem Nagel etwa 20 Sekunden.

Die mittels Plasma behandelten Fingernägel sind viel glatter und sauberer als unbehandelte. Durch das Plasma wird darüber hinaus auf den Nägeln atomarer Sauerstoff eingelagert, der zu einer vermehrten Bildung von polaren CO-Gruppen führt, die wiederum das Andocken polarer Alkoholmoleküle erleichtern. Biologische Nagellacke, die üblicherweise

auf Alkoholbasis hergestellt sind, trocknen daher auf vorbehandelten Nägeln etwa viermal schneller. Ein Abziehtest bestimmt diejenige Lackmenge, die auf dem Klebefilm haften bleibt. Dieser Test verdeutlicht eindrucksvoll, dass auf vorbehandelten Nägeln die Lacke wesentlich haltbarer sind.

So hat die Plasmareinigung viele Bereiche des Alltags erobert – spätestens mit dem handlichen Plasma-gerät zur Fingernagelbehandlung.

\*

Für die Untersuchung der Plasmabehandlung von Fuß- und Fingernägeln wurde Stephanie Tümmel mit dem diesjährigen Georg-Simon-Ohm-Preis geehrt. Ich danke ihr für die wertvollen Informationen zu ihrer Arbeit.

**Katja Bammel**

Dr. Katja Bammel,  
science & more  
redaktionsbüro,  
kb@science-and-  
more.de