

WOMAG

Kompetenz in Werkstoff und funktioneller Oberfläche

Digitalisierung und Vernetzung von Labor, Produktion, Lager u.v.m. – Galvanik 4.1



ASAP - Analyzing System for Automated Processes
Prozessnahe Analytik | intelligente, modulare Software
Verknüpfung von bestehenden und neuen Modulen | komfortable Steuerung

BAG

SMART ANALYTICS

BAG Analytics GmbH

Am Surbach 5
D-35625 Hüttenberg

Tel.: +49 6441 7806400
+49 6106 876773

info@bag-analytics.de
bag-analytics.de



erfahren Sie
mehr auf unserer
Website



Control 9. bis 12. Mai
Stuttgart
Wir sind dabei!
Halle 7
Stand 7309-11

WERKSTOFFE

Nanoindentation – mehr als nur
Härteprüfung

OBERFLÄCHEN

MBN 10544 – welche Verände-
rungen treten ab 2024 in Kraft?

WERKSTOFFE

Kreislaufwirtschaft Brennstoffzelle:
Ein Leben ist nicht genug

OBERFLÄCHEN

Substitution von chrom(VI)basier-
ten, funktionalen Prozessen

OBERFLÄCHEN

Oberflächenreinigung mit Plasma-
und CO₂-Schneestrahilverfahren

SPECIAL

Fertigung von Leiterplatten
durch FDM-Druck und selektive
Kunststoffmetallisierung

APRIL 2023

Branchen-News täglich: womag-online.de



INNOVATIONEN SICHERN DIE ZUKUNFT. LÖSUNGEN DIE GEGENWART.

renner-pumpen.de

RENNER
PUMPEN UND FILTER

PV-1210

climate change tests

DIN EN ISO 9227

VDA 621-415

SAE J2334

VDA 621-415

SAE J2334

ASTM B-117

salt spray tests

MADE**IN****GERMANY**

D17 2028/C ECC 1

PV-1210

Umweltsimulation

MO158**STD 1027, 14**

D17 2028/C ECC 1

ASTM B-117

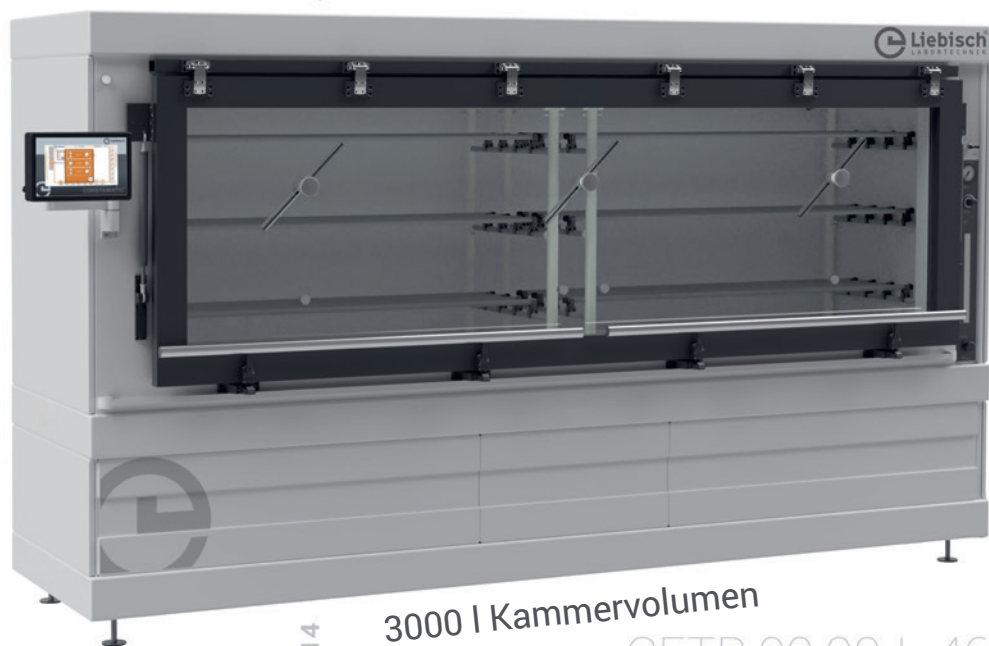
VCS 1027, 1449

CETP 00.00-L-467

humidity storage

STD 423-0014**KKT**

VDA 621-415



constant climate tests

environmental simulation

Normal Klima**3000 l Kammervolumen**

CETP 00.00-L-467

Konstantklimatests

Kesternichttests

Salznebelprüfung

Feuchtelagerung

Klimawechseltests

STD 423-0014

KORROSIONSPRÜFGERÄTE

Nasschemische Qualitätsprüfung

Je nach Prüfverfahren können die Betriebssysteme Salznebel [S], Kondenswasser [K], Belüftung [B], Warmluft [W] und Schadgas [G] sowie geregelte relative Luftfeuchte [F] in über 70 Varianten einzeln oder kombiniert (Wechseltestprüfungen). Optional sind Prüfklima bis -20°C (niedrigere Temperaturen auf Anfrage) und Beregnungsphasen z. B. Volvo STD 423-0014, Ford CETP 00.00 L 467 möglich. Die Geräte sind intuitiv bedienbar, wahlweise als praktische manuelle bzw. komfortable automatische Lösung mit Touchscreen.

Neu: patentierte Düsenhaltung für Ihre Liebisch® Präzisionszweistoffdüse!

Gebr. Liebisch GmbH & Co. KG



Eisenstraße 34
33649 Bielefeld | Germany



Tel: +49 521 94647 -0
Fax: +49 521 94647 -90



sales@liebisch.com
www.liebisch.de



MODELL -AUSZUG

Werkstoffprüfung mit neuem Horizont



Fachleute, die sich mit Werkstoff- und Oberflächentechnik beschäftigen, haben mehr oder weniger häufig mit Materialkenngrößen wie Härte, Zugfestigkeit oder ähnlichen Parametern zu tun. In sehr vielen Fällen wird hierbei auf Werte aus Tabellenwerken oder Datenbanken zurückgegriffen. Dabei sind sich die Experten und Expertinnen stets bewusst, dass die Werte mehr oder weniger stark von den gelisteten abweichen können. Trotzdem wird diese Abweichung in der Regel akzeptiert, da das Messen der grundlegenden Materialkenngrößen mit einem entsprechenden höheren Aufwand verbunden ist.

Prof. Dr. Schorr zeigt in seinen Ausführungen zum Verfahren der Nanoindentation (Seite 4 ff in dieser Ausgabe), dass heute sehr fähige Messgeräte zur Verfügung stehen, die mit überschaubarem Aufwand und einem Messvorgang wichtige Kenngrößen quasi im Vorbeigehen liefern. Wie er an Beispielen zeigt, liefern die Geräte nicht nur mehrere Kennwerte, sondern sind auch in der Lage, diese aus Materialbereichen mit wenigen Mikrometern Abstand präzise zu bestimmen. Damit lassen sich sehr genau die Härteverläufe in Oberflächen erfassen, wie sie unter anderem bei der Suche nach neuen Verfahren zur Erzeugung von korrosions- und verschleißbeständigen Oberflächen und zum Beispiel im Zusammenhang mit der Erfüllung der REACh-Vorschriften gefordert sind (Beitrag Seite 33 ff). Für hochbelastete Oberflächen ist nicht nur deren Härte relevant, sondern auch die Festigkeit beziehungsweise Elastizität. Sie kann zum Beispiel Hinweise darauf liefern, ob eine harte Oberfläche zur Rissbildung neigt – also ein wichtiger Hinweis auf deren Gebrauchseigenschaften.

Weitere interessante Verfahren aus dem Bereich der Messtechnik finden interessierte Fachleute sicher auch auf der im Mai stattfindenden Fachmesse Control in Stuttgart. Wir werden auch in diesem Bereich für unsere Leser die Augen offenhalten und über Neuheiten aus dem Bereich der Mess- und Prüftechnik für den Einsatz bei Werkstoffen und Oberflächen berichten.

WOMAG – VOLLSTÄNDIG ONLINE LESEN

WOMAG ist auf der Homepage des Verlages als pdf-Ausgabe und als html-Text zur Nutzung auf allen Geräteplattformen lesbar. Einzelbeiträge sind mit den angegebenen QR-Codes direkt erreichbar.



Sager + Mack®

Leading the way in pumps and filters

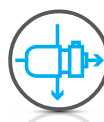
STRONG | CLEAN | DURABLE |
SMART

LEISTUNG PUR!

MADE
IN
GERMANY



Energieeffiziente Pumpen von
Sager + Mack - Kraft und
Ausdauer bei geringem
Energieverbrauch!



PUMPEN
PUMPS | 泵



FILTER
FILTERS | 过滤器



FILTERMEDIE
FILTERMEDIA | 过滤耗材



DAS PLUS
THE PLUS | 服务



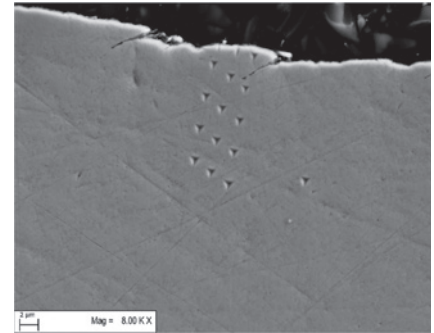
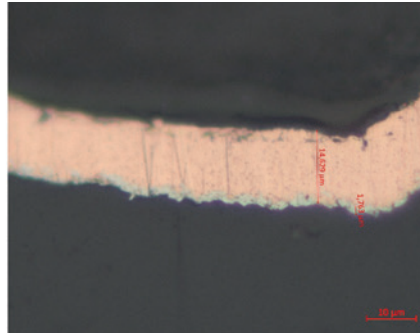
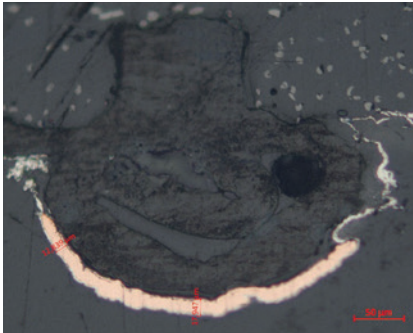
Sager + Mack GmbH & Co. KG

Max-Eyth-Str. 17

74532 Ilshofen-Eckartshausen

info@sager-mack.com | +49 7904 9715-0

INHALT

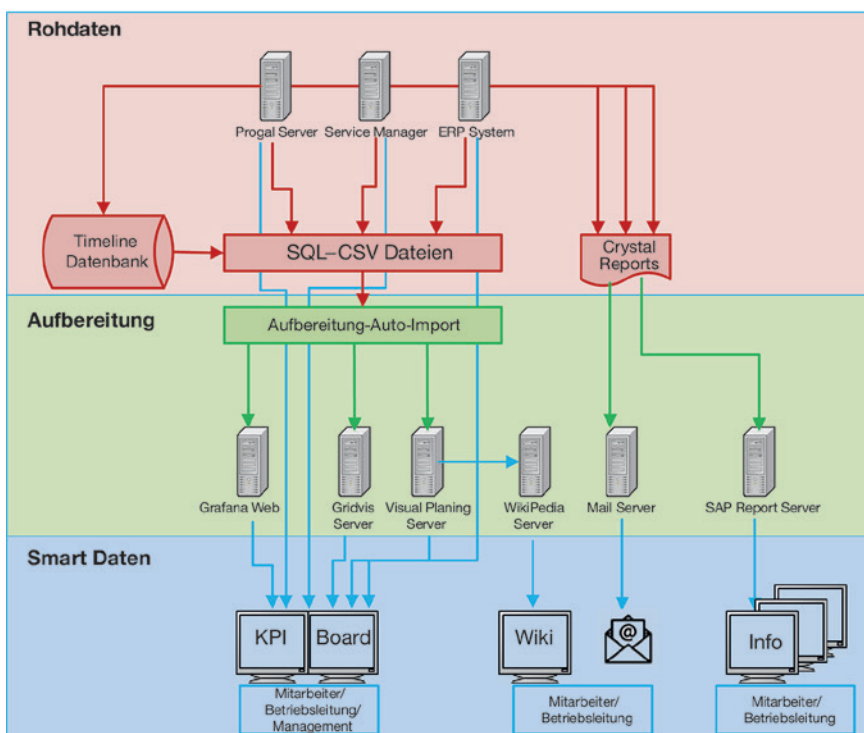


9

Leiterplattenfertigung mittels FDM-Druck und Kunststoffmetallisierung

4

Nanoindentation



25

Datenerfassung und Datenaufbereitung in der Oberflächenfertigung



33

Arbeiten zur Substitution

WERKSTOFFE

- 4 Nanoindentation – mehr als nur Härteprüfung
- 8 Faserverbundmaterialien zerstörungsfrei untersuchen
- 9 Innovative Fertigung von Leiterplatten durch FDM-Druck und selektive Kunststoffmetallisierung
- 12 Schwingungsunterstützte Zerspanung für weniger Verschleiß und kürzere Bearbeitungszeiten
- 14 Kreislaufwirtschaft Brennstoffzelle: Ein Leben ist nicht genug
- 16 Kostengünstig und ressourcenschonend zu grünem Wasserstoff
- 18 Eine neue, bessere Technik für Röntgenlaserpulse

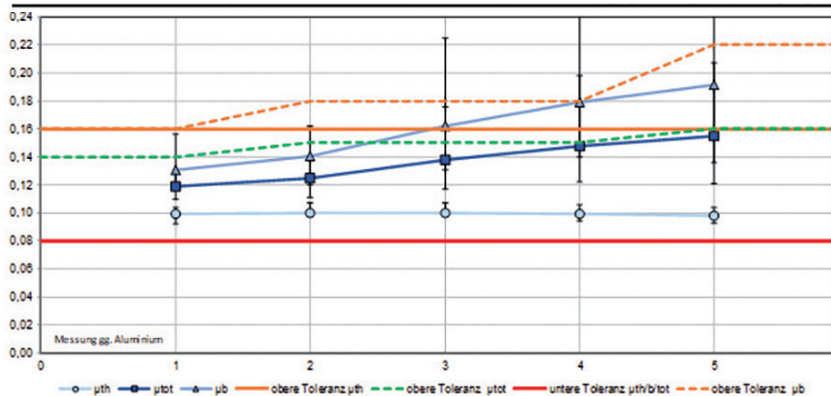
MEDIZINTECHNIK

- 19 Teilautonome Fertigungszelle für orthopädische Implantate

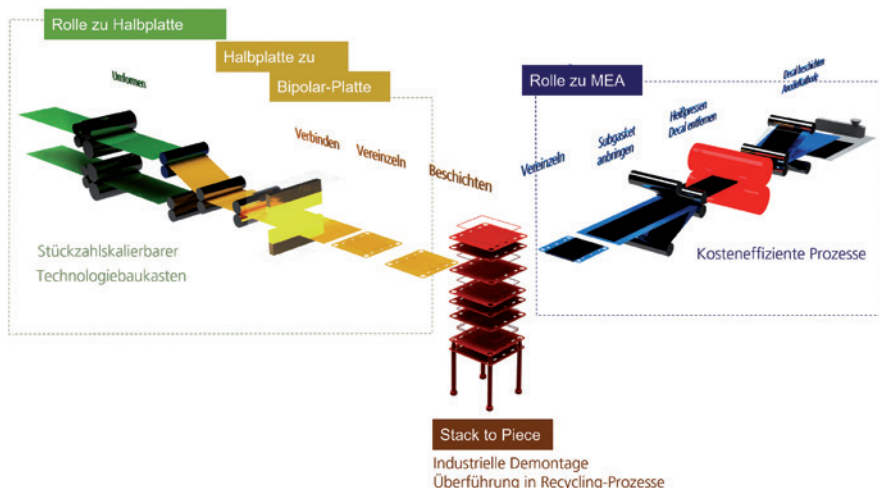
OBERFLÄCHEN

- 20 SCHOOLPLATE II – Transferprojekte zur Berufsbildung auf der Zielgeraden
- 22 Oberflächenreinigung mit Plasma- und CO₂-Schneestrahilverfahren – Gut benetzend ist nicht immer sauber!
- 25 Vorausschauende Wartung, technische Infrastruktur und Schnittstellen zu betrieblichen Systemen und zur Mitarbeiterführung – Anwendung in der Praxis
- 28 MBN 10544 – welche Veränderungen treten ab 2024 in Kraft?

Zinni® AL 450 + Pass 1 + Sealer 350 WL8



28 Beschichtungsvarianten für die Automobilindustrie – MBN 10544



14 Verfahrensentwicklung zur Kreislaufwirtschaft bei Brennstoffzellen

OBERFLÄCHEN

- 33 Substitution von chrom(VI)basierten, funktionalen Beschichtungsprozessen – Gemeinsame Entwicklung von Strategien und Lösungen
- 37 7. UKP-Workshop wird internationaler und fasst Zukunftsmärkte ins Auge

VERBÄNDE

- 38 DGO e.V. – ZVO e.V.

UNTERNEHMENSINFORMATIONEN

- 40 SurTec International

Zum Titelbild: Die Digitalisierung in der galvanotechnischen Fertigung wird durch umfangreiche Messtechnik und optimierte Datenverarbeitung vorangebracht, wie zum Beispiel auch im Beitrag auf Seite 25 ff aufgezeigt wird.

WOMag – Kompetenz in Werkstoff und funktioneller Oberfläche – Internationales Fachmagazin in deutscher und (auszugsweise) englischer Sprache
www.womag-online.de
ISSN: 2195-5891 (Print), 2195-5905 (Online)

Erscheinungsweise

10 x jährlich, wie in den Mediadaten 2023 angegeben

Herausgeber und Verlag

WOTech – Charlotte Schade –
Herbert Käszmann – GbR
Am Talbach 2
79761 Waldshut-Tiengen
Telefon: 07741/8354198
www.wotech-technical-media.de

Verlagsleitung

Charlotte Schade
Mobil 0151/29109886
schade@wotech-technical-media.de
Herbert Käszmann
Mobil 0151/29109892
kaeszmann@wotech-technical-media.de

Redaktion/Anzeigen/Vertrieb/Abo

siehe Verlagsleitung

Bezugspreise

Jahresabonnement für WOMag-Online:
149,- €, inkl. MwSt.

Die Mindestbezugszeit eines Abonnements beträgt ein Jahr. Danach gilt eine Kündigungsfrist von zwei Monaten zum Ende des Bezugszeitraums.

Es gilt die Anzeigenpreisliste Nr. 12 vom 25. Oktober 2022

Inhalt

WOMag berichtet über:

- Werkstoffe, Oberflächen
- Verbände / Institutionen
- Unternehmen, Ausbildungseinrichtungen
- Veranstaltungen, Normen, Patente

Leserkreis:

WOMag ist die Fachzeitschrift für Fachleute aus dem Bereich der Produktherstellung für die Prozesskette – von Design und Konstruktion bis zur abschließenden Oberflächenbehandlung des fertigen Produkts. Im Vordergrund steht die Betrachtung der Werkstoffe und deren Bearbeitung mit Blickrichtung auf die Oberfläche der Produkte aus den Werkstoffen Metall, Kunststoff und Keramik.

WOMag-Beirat

WOMag wird von einem Kreis aus etwa 20 Fachleuten der Werkstoffbe- und -verarbeitung sowie der Oberflächentechnik beraten und unterstützt.

Bankverbindung

BW-Bank, IBAN: DE71 6005 0101 0002 3442 38
BIC: SOLADEST600; (Konto 2344238, BLZ 60050101)
Das Magazin und alle in ihm enthaltenen einzelnen Beiträge und Abbildungen sind urheberrechtlich geschützt. Bei Zusendung an den Verlag wird das Einverständnis zum Abdruck vorausgesetzt. Nachdruck nur mit Genehmigung des Verlags und ausführlicher Quellenangabe gestattet. Gezeichnete Artikel decken sich nicht unbedingt mit der Meinung der Redaktion. Für unverlangt eingesandte Manuskripte haftet der Verlag nicht.

Gerichtsstand und Erfüllungsort

Gerichtsstand und Erfüllungsort ist Waldshut-Tiengen

Herstellung

WOTech GbR

Grafische Gestaltung (Grundlayout)

Wasserberg GmbH

Druck

Holzer Druck + Medien GmbH & Co. KG
Fridolin-Holzer-Straße 22+24, 88171 Weiler
© WOTech GbR, 2016

Nanoindentation – mehr als nur Härteprüfung

Von Prof. Dr. Dietmar Schorr, Karlsruhe

Die Nanoindentation oder Nanoindentierung dient zur Bestimmung der Härte und anderer Werkstoffeigenschaften durch Eindringprüfung mit sehr kleinen Prüfkraften. Diese Art der Werkstoffprüfung zählt aufgrund der kleinen Kräfte und der geringen Eindringtiefen des Prüfkörpers zu den quasi-zerstörungsfreien Prüfverfahren. Mit dieser Art der Werkstoffprüfung am realen Bauteil lassen sich unterschiedliche Kennwerte ermitteln, für welche die klassische Werkstoffprüfung auf verschiedene und aufwendigere Methoden zurückgreift. Daraus ergeben sich einerseits deutliche Vereinfachungen bei der Durchführung sowie kürzere Messdauern; andererseits liefern die Verfahren aber auch Kennwerte, die näher an den tatsächlichen Eigenschaften der Bauteile liegen.

1 Instrumentierte Eindringprüfung

Bei der Nanoindentation werden die Werkstoffkennwerte aus der während der Prüfung aufgezeichneten Kraft-Weg-Kurve ermittelt. Sie wird daher als instrumentierte Eindringprüfung bezeichnet. Je nach Höhe der Prüfkraft wird von Nano- oder Mikroindentation gesprochen. *Abbildung 1* zeigt einen beispielhaften Verlauf mit Be- und Entlastung des Prüfkörpers.

Mit der instrumentierten Eindringprüfung können die Härte, der Elastizitätsmodul und das elastisch-plastische Verhalten des Werkstoffs bestimmt werden. Als Prüfkörper wird in der Regel eine dreiseitige (Berkovich-)Diamantpyramide mit einer definierten Kraft in das zu prüfende Bauteil eingedrückt. Durch die im Gegensatz zum Vickers-Prüfkörper einseitige Spitze des Prüfkörpers können sehr kleine Werkstoffbereiche mit sehr geringen Prüfkraften und Eindringtiefen geprüft werden.

2 Härteprüfung

Die instrumentierte Eindringprüfung geht über die konventionelle Härteprüfung hinaus, da mit ihr nur einfache Kenngrößen, wie zum Beispiel die Vickershärte, bestimmt werden können. Außerdem ist die so genannte Makrohärteprüfung für die Bestimmung der Härte von Beschichtungen und spröden Werkstoffen ungeeignet. Insbesondere bei dünnen

Schichten, wie sie bei Sensoren und Gläsern vorkommen, stößt die konventionelle Härteprüfung an ihre Grenzen.

Die häufigsten Anwendungen der Nanoindentation sind Härteprüfungen von:

- Beschichtungen
- kleinen Teilen
- weichen Materialien
- Lacken
- Loten

Die instrumentierte Eindringprüfung bietet dabei folgende Vorteile

- Härteprüfung von dünnen Beschichtungen ohne Beeinflussung durch das Substrat
- Härteprüfung von spröden Materialien
- Härteprüfung von sehr kleinen Werkstoffbereichen
- hohe Genauigkeit durch kontinuierliche Messung von Kraft und Eindringtiefe
- unabhängig von den optischen Eigenschaften der Oberfläche
- Erfassung von elastischen und plastischen Materialeigenschaften
- Bestimmung mehrerer Werkstoffkennwerte

2.1 Härteprüfung Beschichtungen

Wird die Härte von Beschichtungen von der Oberfläche her bestimmt, sind sehr geringe

Eindringtiefen und damit geringe Prüfkraft erforderlich. Denn die Eindringtiefe des Prüfkörpers h muss deutlich kleiner als die Schichtdicke d sein, um einen Substrateinfluss zu vermeiden (*Abb. 2*). Dabei wird unterschieden zwischen:

- harter Beschichtung auf weichem Substrat nach ISO 14577-1: Eindringtiefe $h < 1/10$ der Schichtdicke d (Bückle-Regel)
- weicher Beschichtung auf hartem Substrat: Eindringtiefe $h < 1/3$ der Schichtdicke d

Die in den Normen angegebenen maximalen Eindringtiefen sind nur grobe Richtwerte für die maximale Eindringtiefe. Die optimale Eindringtiefe muss durch Messungen ermittelt werden, indem durch einen ansteigenden Prüfkraftverlauf die Tiefe bestimmt wird, bei der die Schichthärte nahezu unabhängig von der Eindringtiefe ist. Neben der maximalen Eindringtiefe gibt es als ein weiteres Kriterium die minimale Eindringtiefe. Diese muss deutlich größer als die Rauheit sein. Nach ISO 14577-4 soll die Eindringtiefe mindestens das 20-fache der arithmetischen Rauheit R_a beziehungsweise das zwei- bis dreifache der mittleren Rautiefe R_z betragen.

Die Nanoindentation wird aber nicht nur für die Bestimmung der Härte von Beschichtun-

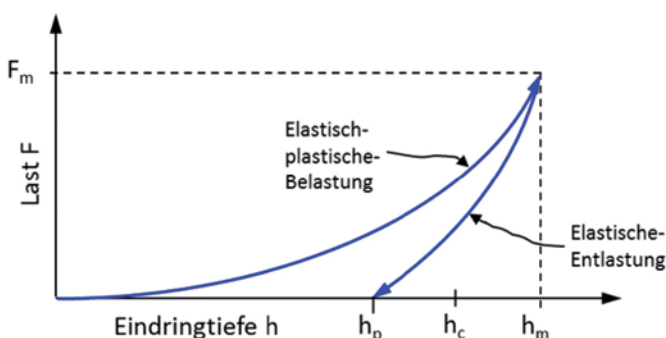


Abb. 1: Kraft-Weg-Verlauf der instrumentierten Eindringprüfung

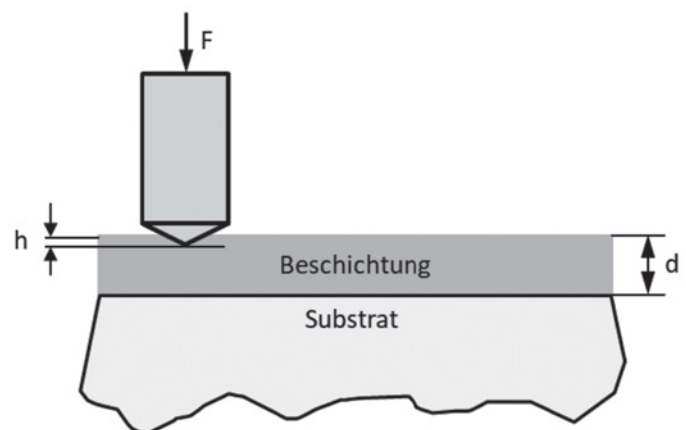


Abb. 2: Härteprüfung an Beschichtungen

gen und an der Oberfläche eingesetzt, sondern auch für:

- Härteprüfung von Gefügebestandteilen
- Härteverlaufsmessung
- Tiefenverlauf von Härte und E-Modul
- Härtemapping

2.2 Härteverlaufsmessung

Die Härteverlaufsmessung oder Härteverlaufsprüfung dient zur Bestimmung des Härte-Tiefen-Verlaufs am Bauteilrand. Dieses Verfahren wird am häufigsten zur Bestimmung der Einhärtetiefe von randschichtgehärteten Bauteilen eingesetzt. Die Härteverlaufsmessung dient somit der Bestimmung von

- Härte-Tiefen-Verlauf im Querschliff,
- Einhärtetiefe (Eht, Rht, Nht) und
- Härteverteilung in Schweißnähten.

Die Härteverlaufsmessung erfolgt durch eine Reihe von Härteeindrücken vom Rand zur Mitte des Probekörpers (Abb. 3), an denen mit kleinen Prüfkraften die Härten bestimmt werden. Je nach Größenordnung der Prüfkraften erfolgt dies durch Mikroindentation (Mikrohärteprüfung) oder Nanoindentation. Aus dem so ermittelten Härteverlauf wird der Abstand von der Oberfläche zur Grenzhärte (GH) berechnet. Ähnlich wird bei der Bestimmung der Härteverteilung an Schweißnähten

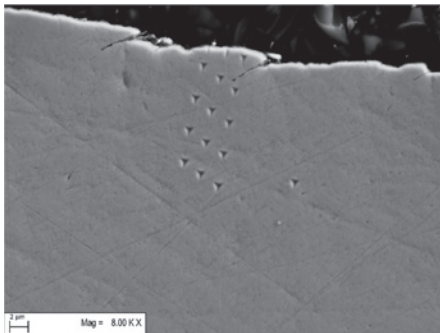


Abb. 3: Härteeindrücke durch Härteverlaufsmessung am Bauteilrand

verfahren. Lichtbogenschweißverbindungen werden nach der Norm ISO 9015, Laser- und Elektronenstrahlschweißverbindungen nach ISO 22826 geprüft.

2.3 Tiefen-Verlauf von Härte und E-Modul

In zahlreichen tribologischen Fällen ist die Kenntnis des Tiefenverlaufs der Härte und des Elastizitätsmoduls an der Bauteilkante von großer Bedeutung. Diese beeinflussen das Verschleiß- und Ermüdungsverhalten. Der Tiefenverlauf kann im polierten Querschliff genau bestimmt werden. Das Verfahren ist jedoch aufwändig und nicht zerstörungsfrei. Daher bietet die Nanoindentation eine weitere Möglichkeit, einen ansteigenden Belastungsverlauf der Prüfkraft mit überlagerter Sinusschwingung von der Oberfläche aus zu realisieren (Abb. 4). Dabei ist die Amplitude $F_A \ll F_m$ die mittlere Prüfkraft. Durch Messen der Amplituden der Prüfkraft $F(t) = F_A \cdot \sin(\omega t)$, des Eindringtiefsignals $h(t) = h_0 \cdot \sin(\omega t + \phi)$ und der Phasenverschiebung ϕ zwischen beiden kann die Steifigkeit $S = F_A/h_0 \cdot \cos\phi$ zu jedem Zeitpunkt bestimmt werden. Dadurch lassen sich die Elastizität und die Härte in Abhängigkeit der Eindringtiefe ermitteln. In Abbildung 5 ist anhand dieses Verlaufs eine Überhöhung unmittelbar an der Oberfläche zu erkennen, gefolgt von einem Abfall in die Tiefe. Die Art der Tiefenverläufe bestimmt letztlich den Reibungskoeffizienten und das Verschleißverhalten.

2.4 Härtemapping

Mit der sogenannten Härtekartierung (Härtemapping) wird die flächenhafte Verteilung von Werkstoffeigenschaften (Härte, E-Modul etc.) bestimmt. Dabei werden die Prüfpunkte matrixartig über die zu untersuchende Fläche

che verteilt. So kann zum Beispiel, wie in Abbildung 6 und 7 dargestellt, die Verteilung der einzelnen Phasen im Gefüge anhand der Härte ermittelt werden.

3 Materialkennwerte durch Nanoindentierung

Mit der Nanoindentation können nicht nur die Härte, sondern einige weitere Materialkennwerte zur Charakterisierung der Werkstoffeigenschaften bestimmt werden:

- Elastizitätsmodul
- Verlustmodul
- Speichermodul

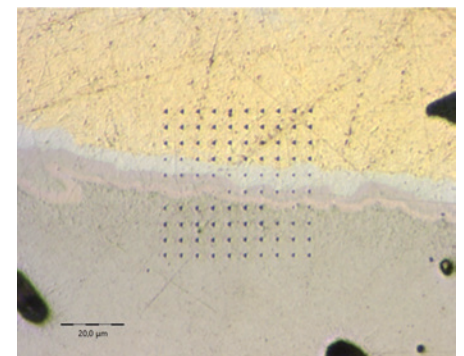


Abb. 6: Lage Prüfpunkte beim Härtemapping

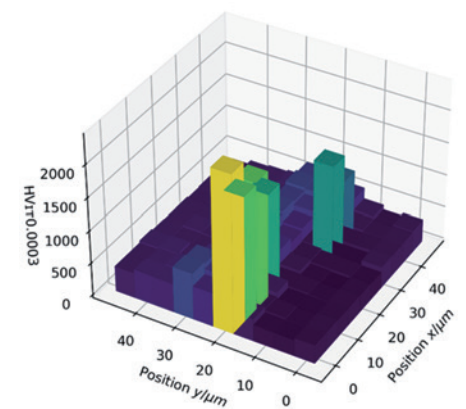


Abb. 7: Härteverteilung über der Fläche

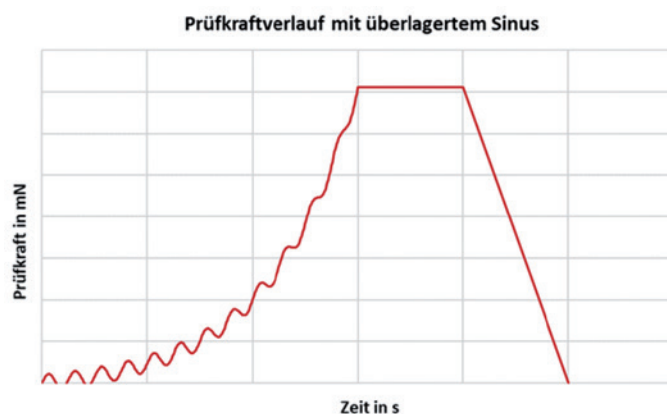


Abb. 4: Prüfkraft mit überlagertem Sinus

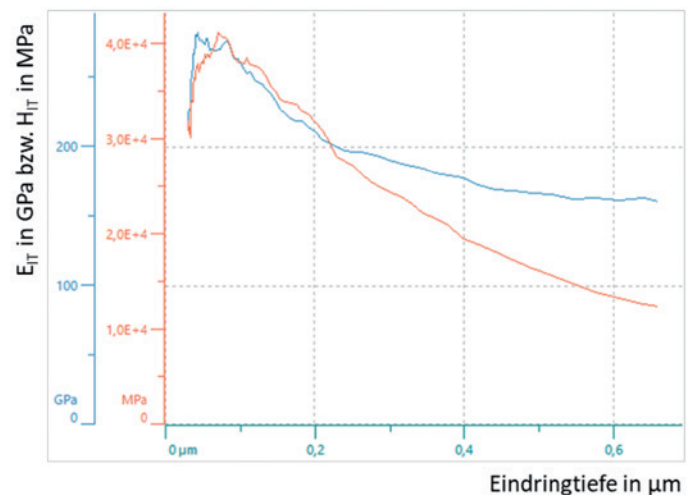


Abb. 5: Härte und Elastizitätsmodul

WERKSTOFFE

- Verlustfaktor
- Verformungsarbeiten
- Streckgrenze
- Eindringkriechen
- Eindringrelaxation

Die Nanoindentation hat dabei den Vorteil, dass die Kennwerte nahezu zerstörungsfrei am realen Bauteil ermittelt werden können und keine Proben mit meist abweichenden Eigenschaften hergestellt werden müssen.

3.1 Elastizitätsmodul

Der Elastizitätsmodul wird bei der instrumentierten Eindringprüfung als Eindringmodul E_{IT} bezeichnet und ist eigentlich der Druck-Elastizitätsmodul. Er spielt eine wichtige Rolle für die Höhe der Kontaktspannungen eines tribologischen Kontakts und somit für die Berechnung von Schädigungen.

3.2 Verlustmodul und Speichermodul

Die Dynamisch-Mechanische Analyse (DMA) dient dazu, viskoelastische Materialkennwerte zu ermitteln, beispielsweise den Verlustmodul E'' und den Speichermodul E' von Werkstoffen. Dazu wird auf den ins Material eindringenden Prüfkörper die Prüfkraft $F(t)$ sinusförmig mit der Amplitude F_A und der Erregerkreisfrequenz Ω aufgebracht. Durch irreversible Vorgänge im Werkstoff, die sogenannte Werkstoffdämpfung, reagiert das System mit einer Phasenverschiebung, das heißt, die Dehnung ist gegenüber der Spannung um den Verlustwinkel ϕ verschoben (Abb. 8). Die beiden Module lassen sich wie folgt charakterisieren:

- Das Verlustmodul E'' beschreibt den viskosen (irreversiblen) Anteil eines Materials. Dieser viskose Anteil entspricht dem Verlustanteil der Energie, der durch innere Reibung in Wärme umgewandelt wird.
- Das Speichermodul E' beschreibt den elastischen (reversiblen) Anteil der Energie, der nach Ausüben einer Kraft in der Probe gespeichert wird und nach Entlastung wieder gewonnen werden kann.

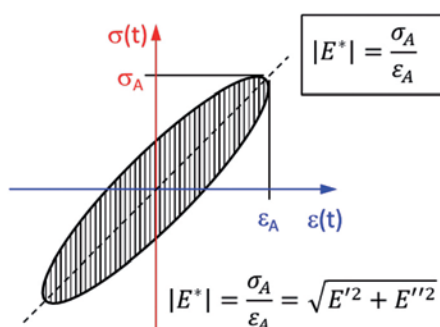


Abb. 9: Hysteresekurve Werkstoff

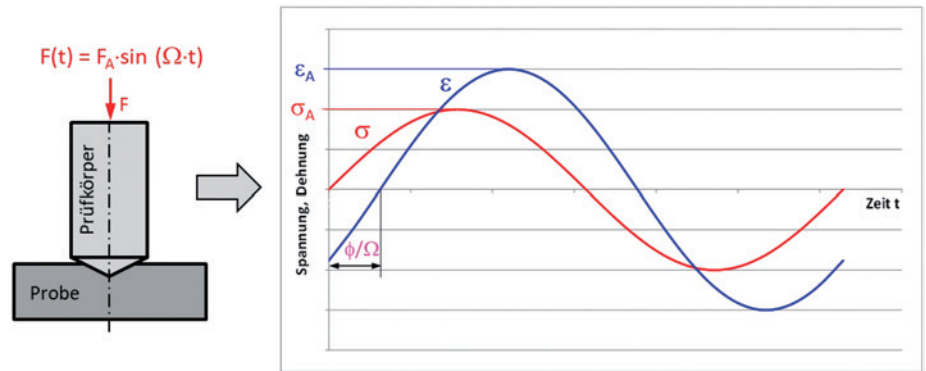


Abb. 8: Spannungs- und Dehnungsverlauf bei sinusförmiger Anregung eines Prüfkörpers

Durch Übereinanderlegen von Spannungs- und Dehnungskurve ergibt sich eine Hysteresekurve gemäß Abbildung 9. Die Fläche gibt die Dämpfungsarbeit wieder. Werden die Amplituden von Spannung und Dehnung ins Verhältnis gesetzt, so erhält man den komplexen Elastizitätsmodul. Dieser kann als eine Art Steifigkeitskonstante des Werkstoffs angesehen werden.

3.3 Werkstoffdämpfung und Verlustfaktor

Das Verhältnis von Verlust- zu Speichermodul ist der Verlustfaktor $\eta_v = \tan \phi = E''/E'$. Dieser charakterisiert die Werkstoffdämpfung quantitativ, die in erster Näherung der Verformungsgeschwindigkeit proportional ist. Wird ein schwingungsfähiges System angeregt, so klingt die Schwingung durch die Dämpfung unter Dissipation der Energie ab. Dieses Abklingen ist beispielhaft in Abbildung 10 anhand eines abnehmenden Schwing-

wegs dargestellt. Das Dämpfungsverhalten und damit das Abklingen eines angeregten schwingungsfähigen Systems wird durch die schwingungstechnischen Größen logarithmisches Dekrement Λ , Dämpfungsgrad D und Dämpfungskapazität ψ des Werkstoffs beschrieben. Diese sind wiederum mit dem Verlustfaktor η_v verknüpft (Abb. 12), so dass letztlich die Werkstoffdämpfung aus einer instrumentierten Eindringprüfung am realen Bauteil bestimmt werden kann.

3.4 Stick-Slip-Effekt

Der Verlustfaktor dient bei Gleit-Reibpaarungen zur Charakterisierung der Neigung eines Werkstoffs zur Ausbildung von Stick-Slip-Schwingungen (Abb. 11). Je höher der Verlustfaktor und damit die Dämpfung, desto geringer ist die Neigung zu Stick-Slip-Schwingungen. Eine Erhöhung der Eigenfrequenz (kleinere Masse, steifere Feder) wirkt sich ebenso positiv aus wie eine geringere Differenz zwischen Haft- und Gleitreibung.

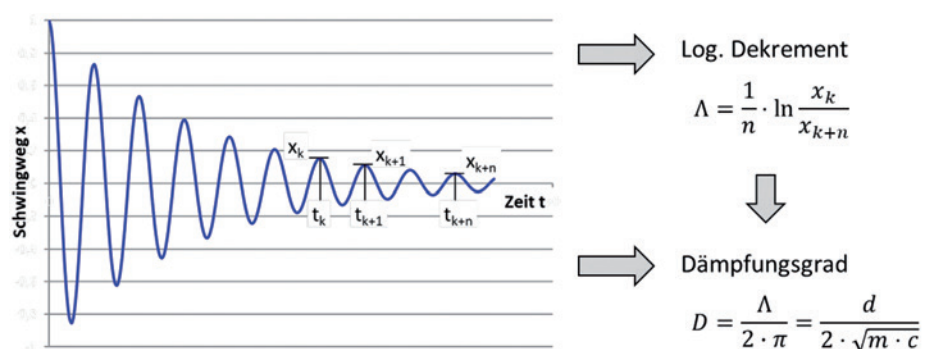


Abb. 10: Ausschwingverhalten eines Schwingensystems

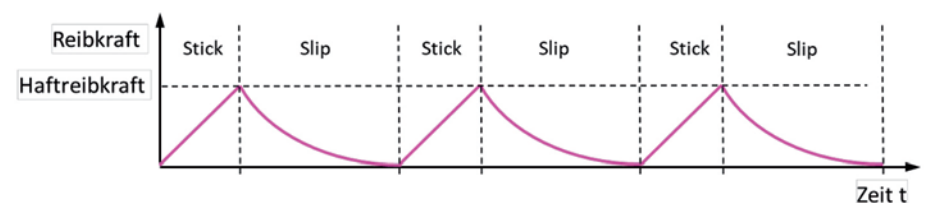


Abb. 11: Stick-Slip-Verhalten eines Tribosystems

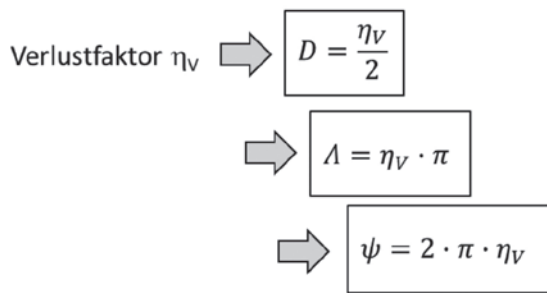


Abb. 12: Zusammenhang Schwingungskennwerte und Verlustfaktor

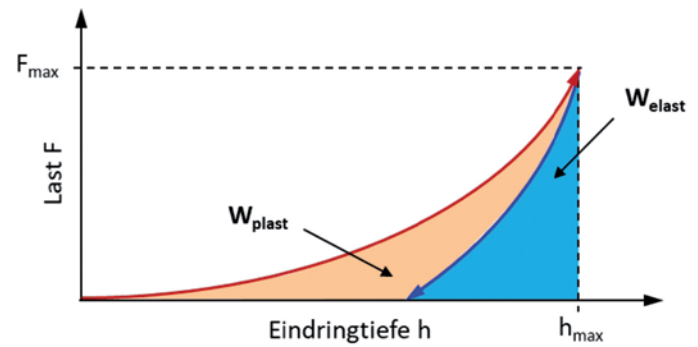


Abb. 13: Belastungs- und Entlastungskurve mit Verformungsarbeiten

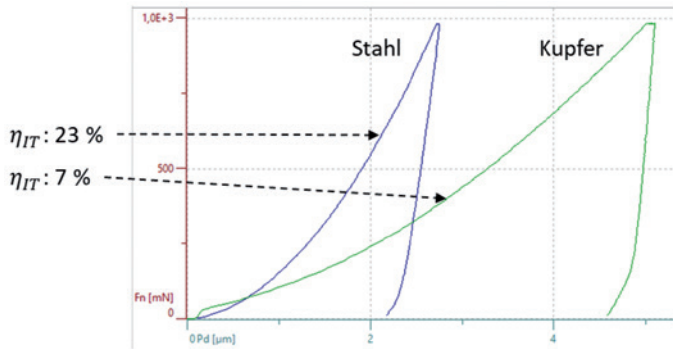


Abb. 14: Prozentualer elastischer Anteil der Verformungsarbeit η_{IT} von Stahl und Kupfer

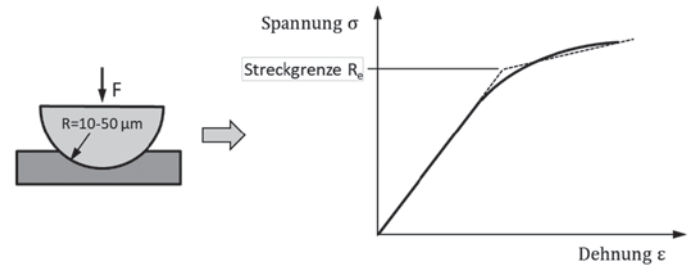


Abb. 15: Ermittlung der Streckgrenze durch Nanoindentation

3.5 Verformungsarbeiten

Um festzustellen, inwieweit sich ein Werkstoff duktil oder spröde verhält, ist nicht unbedingt ein Kerbschlagbiegeversuch erforderlich. Auch hier liefert die instrumentierte Eindringprüfung in Form der Nanoindentation Informationen am realen Bauteil, ohne dass dafür Proben mit abweichenden Eigenschaften hergestellt werden müssen. Dazu werden die Kraft-Weg-Verläufe während der Be- und Entlastung des Eindringkörpers ausgewertet (Abb. 13).

Die während des Eindringversuchs aufgebraachte Arbeit W_{total} setzt sich aus einem elastischen Anteil W_{elast} und einem plastischen Anteil W_{plast} zusammen, das heißt: $W_{\text{total}} = W_{\text{elast}} + W_{\text{plast}}$. Der elastische Anteil ist reversibel und entspricht der potentiellen Energie, die der Fläche unter der Entlastungskurve entspricht. Der irreversible plastische Anteil ist die Fläche zwischen der Be- und Entlastungskurve und stellt somit ein Hystereseverhalten dar. Dieser führt zu einer plastischen Verformung des Werkstoffs

und hinterlässt einen bleibenden Eindruck im Bauteil. Die klassischen Härteprüfverfahren der Makrohärteprüfung wie Vickers, Rockwell, Brinell und Knoop erfassen nur diesen Teil der Werkstoffeigenschaften. Der prozentuale elastische Anteil der Verformungsarbeit an der gesamten Eindringarbeit wird durch den Parameter $\eta_{IT} = W_{\text{elast}}/W_{\text{total}} \cdot 100\%$ beschrieben.

Je größer η_{IT} , desto duktiler ist das Werkstoffverhalten und je kleiner η_{IT} ist, desto spröder. Dies ist in Abbildung 14 anhand von zwei Kraft-Weg-Kurven von Stahl und Kupfer vergleichend veranschaulicht.

3.6 Streckgrenze

Mit Hilfe der Nanoindentation ist auch eine quasi zerstörungsfreie Bestimmung der Streckgrenze am realen Bauteil möglich. Diese unterscheidet sich oft erheblich von den Angaben in Datenblättern, die bestenfalls Mittelwerte für einen Werkstoff darstellen. Zudem besteht auch hier das Problem, im Zugversuch Probenkörper mit vom Real-

bauteil abweichenden Eigenschaften prüfen zu müssen. Ein weiteres Anwendungsgebiet dieser Methode ist die Bestimmung der Streckgrenze von Beschichtungen. Zur Bestimmung des Zusammenhangs zwischen Spannung und Dehnung wird ein kugelförmiger Prüfkörper verwendet. Die Prüfkraft wird mit einem überlagerten Sinus ansteigend aufgebracht und aus der so ermittelten Spannungs-Dehnungs-Kurve die Streckgrenze berechnet (Abb. 15).

4 Methode mit vielseitigem Nutzen

Die Nanoindentation ist eine instrumentierte Eindringprüfung mit sehr geringen Kräften und Eindringtiefen des Prüfkörpers. Sie ermöglicht es, neben der Härte eine Reihe weiterer Werkstoffkennwerte am realen Bauteil quasi zerstörungsfrei zu bestimmen. Dies wiederum führt zu qualitativ hochwertigeren Kennwerten, als dies bei speziell hergestellten Probekörpern mit vom realen Bauteil abweichenden Eigenschaften möglich ist.

➔ www.steinbeis-analysezentrum.com

Werden Sie **Abonnent** und nutzen Sie die Inhalte der Plattform in vollem Umfang!

Fachbeiträge in digitaler Form mit allen Möglichkeiten der modernen Medien!

1 Monat kostenfrei zum Kennenlernen!

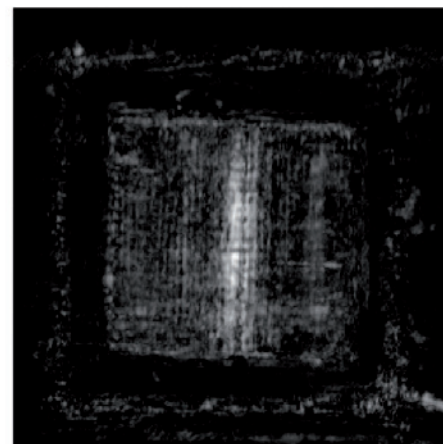
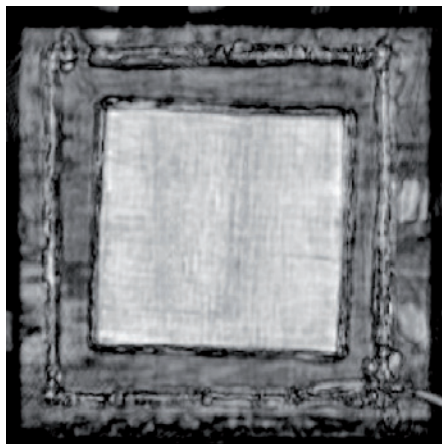
Kommen Sie auf unsere Webseite: **www.womag-online.de**

Umfassend und immer auf dem neuesten Stand!

Faserverbundmaterialien zerstörungsfrei untersuchen

Defekte in Faserverbundmaterialien schon während des Produktionsprozesses entdecken, gelingt künftig mit Hilfe eines neuartigen Radarverfahrens, das die Kontrolle des Fertigungsprozesses von Faserverbundwerkstoffen zerstörungsfrei und automatisch ermöglicht. Bislang erfolgte das Monitoring manuell per Sichtprüfung. Das Fraunhofer-Institut für Hochfrequenzphysik und Radartechnik FHR hat das innovative Verfahren zusammen mit den Konsortialpartnern Ruhr-Universität Bochum, Fachhochschule Aachen und der Aeroconcept GmbH im Projekt *FiberRadar* entwickelt.

Bei der Herstellung von glasfaserverstärkten Strukturbauteilen, wie sie etwa in Rotorblättern vorkommen, wird die Faserstruktur mit einer Harzmatrix fixiert. Unregelmäßigkeiten in der Ausrichtung und/oder im Verlauf der Faserverstärkung verändern die Struktureigenschaften und reduzieren somit die Qualität des entstandenen Verbundwerkstoffs. Wie Dr. André Froehly, Projektleiter vom Fraunhofer FHR in Wachtberg, erklärt, werden bei der Produktion von Rotorblättern Glasfaserlagen übereinander in einer Schale ausgelegt. Erfolgreich dies nicht akkurat, könne es zu verschiedenen Defekten wie Wellenbildungen beziehungsweise Ondulation kommen. Aber auch die Richtung der Faser könne sich verdrehen und somit die mechanischen Eigenschaften des Bauteils beeinflussen. Bislang war eine Untersuchung des Faserverlaufs und der Faserschichtung vor dem Einbringen der Harzmatrix nicht zuverlässig möglich, sodass Fehlstellen erst im Nachgang etwa durch Ultraschalluntersuchung gefunden werden konnten. Dies machte eine kontrollierte Prozesskette unmöglich und führte zu kostenintensiver Nacharbeit oder sogar zum Verschrotten von Bauteilen.



Radarbilder eines Faserlagenpakets mit nicht erkennbarer Ondulation unter der Oberfläche, zu sehen in Kopolarisation (links) und Kreuzpolarisation (© Fraunhofer FHR/André Froehly)

Im Projekt *FiberRadar* haben die Forschenden nun ein Verfahren entwickelt, mit dem sich erstmalig auch die Ausrichtung der unteren Glasfaserschichten überprüfen lässt – zerstörungsfrei und automatisiert. Möglich macht es ein Millimeterwellen-Scansystem, bestehend aus einem Roboter, einem vollpolarimetrischen Radar mit Bildgebungssoftware. Dieses nutzt auch die Polarisation der elektromagnetischen Wellen, das heißt, es kann mögliche Defekte auch durch Änderung der Polarisationsrichtung erkennen (Polarisation kennzeichnet in der Antennentechnik die Richtung der elektrischen Feldkomponente einer elektromagnetischen Welle).

Der Roboter scannt das Bauteil, das Radar übernimmt die Messungen, die anschließend zu einem 3D-Bild zusammengesetzt werden. Während übliche Radare nur über einen Kanal verfügen und somit eine Polarisation zum Senden als auch zum Empfangen nutzen, schickt das neue Radar Signale in zwei Polarisierungen aus – auch empfangen wird in zwei Polarisierungen. Damit lassen sich nicht nur Faserstrukturen hochauflösend darstellen, sondern auch Defekte in tieferen Schichten einfach offenlegen. Zusätzlich verbessert die Brechungskompensation die Bildqualität: Sie rechnet Effekte heraus, die durch die Brechung vor allem in tieferen Schichten problematisch sein können. Da sich mit dem Radar die einzelnen Schichten abbilden lassen, wer-

den auch Abweichungen in der Faserorientierung entdeckt und das gesamte Volumen des Materials zerstörungsfrei überprüft.

Im Projekt *FiberRadar* wurden die integrierte Radartechnologie der Ruhr-Universität, die Algorithmenexpertise des Fraunhofer FHR und die Robotikkompetenz der FH Aachen genutzt, um ein Messsystem zu realisieren, das die Fertigung von Faserverbundwerkstoffen und die Kontrolle der gefertigten Bauteile in bis dato unerreichbarer Präzision ermöglicht. Durch die Erfahrung der Aeroconcept GmbH kann die Technologie damit direkt in den Fertigungs- und Monitoringprozess im Bereich der Windradblattherstellung integriert und eine Schlüsseltechnologie für qualitativ hochwertige Verbundwerkstoffe etabliert werden. *Wir planen, in Folgeprojekten das System in Richtung Produktreife weiterzuentwickeln, um es im Produktionsprozess einzusetzen. Neben der Geschwindigkeit wird auch die Tiefenauflösung verbessert, um in kürzerer Zeit noch mehr mögliche Defekte zu erkennen*, so Froehly. Das Projekt wurde aus den Mitteln des Europäischen Fonds für regionale Entwicklung (EFRE) gefördert.

Kontakt:

Jens Fiege, Fraunhofer-Institut für Hochfrequenzphysik und Radartechnik FHR,

E-Mail: jens.fiege@fhr.fraunhofer.de

➔ www.fhr.fraunhofer.de



Form einer Rotorblattspitze mit ausgelegtem Faserlagenpaket bei Aeroconcept GmbH (© Fraunhofer FHR/André Froehly)

Innovative Fertigung von Leiterplatten durch FDM-Druck und selektive Kunststoffmetallisierung

Von A. Endrikat¹, L. Eggert¹, A. Di Maglie², K. Attenberger³, T. Neumann², M. Quoß², D. Bouhrouch¹ und A. Bund¹



Zum online-Artikel

Mit Hilfe von additiven Fertigungsverfahren lassen sich Kunststoffe mit unterschiedlichen Eigenschaften zu einem Produkt kombinieren. Dies erlaubt es, die Grundeinheiten von elektrischen Leiterplatten mittels Drucktechnik herzustellen, wobei der Aufwand weitgehend unabhängig von der hergestellten Stückzahl ist. Durch Drucken mit metallisierbaren Kunststoffen gelingt es, Leiterbahnen mit akzeptabler Leitfähigkeit auf elektrisch isolierendem Trägermaterial zu erzeugen. Die bisherigen Entwicklungen sind auf die Verwendung von Kunststoff mit einer maximalen Temperaturbelastung bis etwa 100 °C beschränkt. Um die bestehenden Verfahren der Leiterplattentechnik nutzen zu können, muss diese Temperaturobergrenze deutlich erhöht werden.

1 Motivation

Um schnell auf kundenindividuelle Wünsche und neue Marktanforderungen reagieren zu können, sind Flexibilität, Effektivität und Digitalisierung wichtige Faktoren bei der Produktentwicklung. Häufig werden zunächst Prototypen benötigt, die eine Engstelle im Entwicklungsprozess darstellen, da hierfür aufwändig Modelle und Werkzeugformen gefertigt werden müssen.

Die Technologie der additiven Fertigung, speziell das Verfahren *Fused Deposition Modeling* (FDM) bietet die Möglichkeit, Prototypen oder auch kundenindividuelle Produkte durch den schichtweisen Aufbau eines Objekts flexibel und effizient zu gestalten. Durch die kontinuierliche Verbesserung der Technologie handelt es sich inzwischen nicht nur um Verfahren für die Erstellung von Prototypen, sondern auch um ein wirtschaftlich effizientes Fertigungsverfahren für kleine und mittelgroße Serien eines Produkts. Insbesondere für die Elektronikindustrie erlaubt dieses Verfahren, geometrisch anspruchsvolle Schaltungsträger in kürzester Zeit zu fertigen.

Üblicherweise werden Leiterplatten aus mehreren Lagen, meist aus faserverstärkten Kunststoffen (Glasfaser-Epoxidharz-Gemisch) hergestellt. Die einzelnen Lagen werden von oben und unten mit Kupferfolie kaschiert, die in einem aufwändigen und zeitintensiven Ätzprozess strukturiert wird. Dabei wird die Kupferfolie zunächst mit einem fotoresistiven Lack überzogen, anschließend belichtet, entwickelt und geätzt. Im Anschluss werden die strukturierten Lagen verpresst und durch-

kontaktiert [1]. Für eine funktionsfähige Leiterplatte muss der Schaltungsträger noch mit den elektronischen Komponenten, meist durch einen Lötprozess, bestückt werden.

Alternative Verfahren zur Herstellung von Schaltungsträgern basieren auf der sogenannten *MID-Technik* (*Molded Interconnected Devices*). Dabei werden die Leiterbahnen auf den spritzgegossenen Kunststoffbauteilen entweder über Zweikomponentenspritzguss oder Laserstrukturierung selektiv realisiert [2]. Aufgrund der hohen Investitionskosten des Extruders und des Hochpräzisionslasers ist die Herstellung solcher Schaltungsträger bislang noch teuer.

2 Idee auf Basis von FDM

Für eine innovative und zugleich wirtschaftliche Fertigung von Leiterplatten ist eine hohe Flexibilität an Geometrien und Materialien bei möglichst niedrigen Kosten gefordert. Ähnlich wie beim Zweikomponentenspritzguss ist auch bei diesem Ansatz mehr als nur ein Material notwendig, um später eine Selektivität der Leiterbahnen zu gewährleisten. Das ad-

ditive Fertigungsverfahren des FDM erfüllt all diese Anforderungen. Es ermöglicht ein hohes Maß an Gestaltungsfreiheit, den gleichzeitigen Druck mehrerer Kunststoffe und bietet ein breites Portfolio am Markt verfügbarer Filamente [3].

Die Idee eines Entwicklungsprojekts, aus dem sich die hier dargelegten Resultate ergeben haben, besteht darin, dass ein Kunststoff im Druckprozess die Substratplatte darstellen soll, während der andere Kunststoff die Leiterbahnstrukturen abbildet. Einige der erhältlichen Filamente sind besonders für die Leiterbahnstrukturen geeignet, da sie elektrisch leitfähig sind. Allerdings ist ihr spezifischer elektrischer Widerstand etwa 1000-fach größer als von Kupfer und damit nicht mit Metallen vergleichbar. Für Anwendungen mit niedrigen Strömen können die leitfähigen Kunststoffe verwendet werden, wohingegen höhere Ströme eine anschließende chemische Metallisierung mit Kupfer und Zinn (für den Oxidationsschutz) erfordern. Um die Selektivität der Metallisierung nur an den Leiterbahnstrukturen zu gewährleisten, darf



SERFILCO®
Pumpen & Filter
chemiebeständig · robust · langlebig

Der starke Partner für Industrie & Anlagenbau!

- Vertikale Pumpen (dichtungslos u. trockenlaufsicher)
Leistungen: von 4 m³/h bis zu 75m³/h
- Horizontale Pumpen Leistungen: von 0,5m³/h bis zu 120m³/h
- Filtersysteme (Intank- / Außentankmontage)
- Badbewegung ohne Luft
- Badheizer (elektr.)/Wärmetauscher

¹ TU Ilmenau, Fachgebiet Elektrochemie und Galvanotechnik, Gustav-Kirchhoff-Straße 6, D-98693 Ilmenau

² 4D Concepts GmbH, Frankfurter Straße 74, D-64521 Gross-Gerau

³ Gigger Elektronik GmbH, Industriestraße 8, D-94357 Konzell

WERKSTOFFE

der Substratkunststoff im gleichen Prozess nicht beschichtet werden. Nach dem FDM-Druck und der selektiven Metallisierung der Leiterbahnstrukturen erfolgt der SMD-Bestückungsprozess (*Surface-mounted device*). Üblicherweise kommen hierfür Lötverfahren zum Einsatz. Bedingt dadurch, dass es sich bei den FDM-druckbaren Kunststoffen um Thermoplaste handelt, ist die Temperatur zum Bestücken durch deren viskoelastisches Verhalten limitiert. Oberhalb ihrer Erweichungstemperatur (TG) ändern sich die mechanischen Eigenschaften der Thermoplaste deutlich. Abhängig vom Lot benötigen Lötverfahren in der Regel Temperaturen über der Erweichungstemperatur (> TG) üblicher Thermoplaste. Da die Erweichungstemperatur nicht überschritten werden darf, ist das Löten zur Bestückung ungeeignet. Eine vielversprechende Alternative hierzu bietet die Klebetechnologie mit Leitlebern. Diese werden bei Raumtemperatur verarbeitet und benötigen zur Aushärtung maximal 150 °C [4].

3 Umsetzung und Ergebnisse

Die Umsetzung des Vorhabens wird im Rahmen des Förderprogramms *Zentrales Innovationsprogramm Mittelstand* durch die AiF Projekt GmbH unter den Kennzeichen ZF4017304, ZF4853801 und ZF4087116 gefördert. Das interdisziplinäre Konsortium besteht aus drei Partnern, wobei das Unternehmen 4D Concepts GmbH für den FDM-Druck, die Gigler Elektronik GmbH für den Aufbau und die Bestückung der Schaltungsträger und die Forschungseinrichtung Technische Universität Ilmenau für die Metallisierung mit Kupfer und Zinn verantwortlich sind.

Die Auswahl der am Markt verfügbaren Filamente für den FDM-Druck ist groß [3]. Im Rahmen des Projekts wurden insgesamt 13 unterschiedliche Filamente beschafft, darunter zwei elektrisch leitfähige Filamente (Nr. 12 und Nr. 13). Aus Gründen der Geheimhaltung kann auf die Spezifikation der Filamente nicht im Detail eingegangen werden, aber alle hier untersuchten Filamente sind kommerziell er-

hältlich und wurden zunächst hinsichtlich ihrer Metallisierungseigenschaften untersucht, um geeignete Filamente für das Substrat und die Leiterbahn zu identifizieren. Für die Diskussion der Ergebnisse erfolgt die Zuordnung der verschiedenen Filamente durch entsprechende Nummerierung (Abb. 1). Obwohl der konventionelle Prozess der Kunststoffmetallisierung (Plating on Plastics) auf

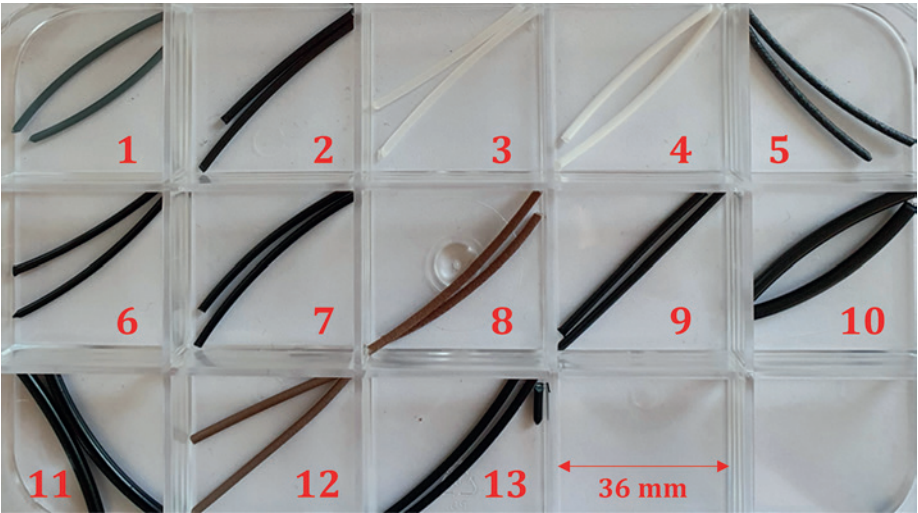


Abb. 1: FDM-Filamente in ihrem Ausgangszustand vor der Metallisierung

Tab. 1: Prozessablauf der verwendeten konventionellen Kunststoffmetallisierung mit kolloidaler und ionogener Aktivierung

Mit kolloidaler Aktivierung			Mit ionogener Aktivierung		
Schritt	Temperatur	Dauer	Schritt	Temperatur	Dauer
Beize in Chromschwefelsäure	65 °C	15 min	Beize in Chromschwefelsäure	65 °C	15 min
Intensives Spülen	20 °C	3 x 0,5 min	Intensives Spülen	20 °C	3 x 0,5 min
10%ige HCl	20 °C	2 min	Sensibilisierung (SnCl ₂ -HCl)	20 °C	3 min
Einstufenaktivierung (SnCl ₂ -PdCl ₂ -HCl)	20 °C	4 min	Spülen (destilliertes Wasser)	20 °C	2 x 0,5 min
Spülen (destilliertes Wasser)	20 °C	2 x 0,5 min	Ionogene Aktivierung (PdCl ₂ -HCl)	20 °C	3 min
Beschleuniger (40%ige HBF ₄)	20 °C	3,5 min	Spülen (destilliertes Wasser)	20 °C	2 x 0,5 min
Spülen (destilliertes Wasser)	20 °C	2 x 0,5 min	Chem. Kupfer (ENPLATE CU 872)	43-47 °C	15-120 min
Chem. Kupfer (ENPLATE CU 872)	43-47 °C	15-120 min			

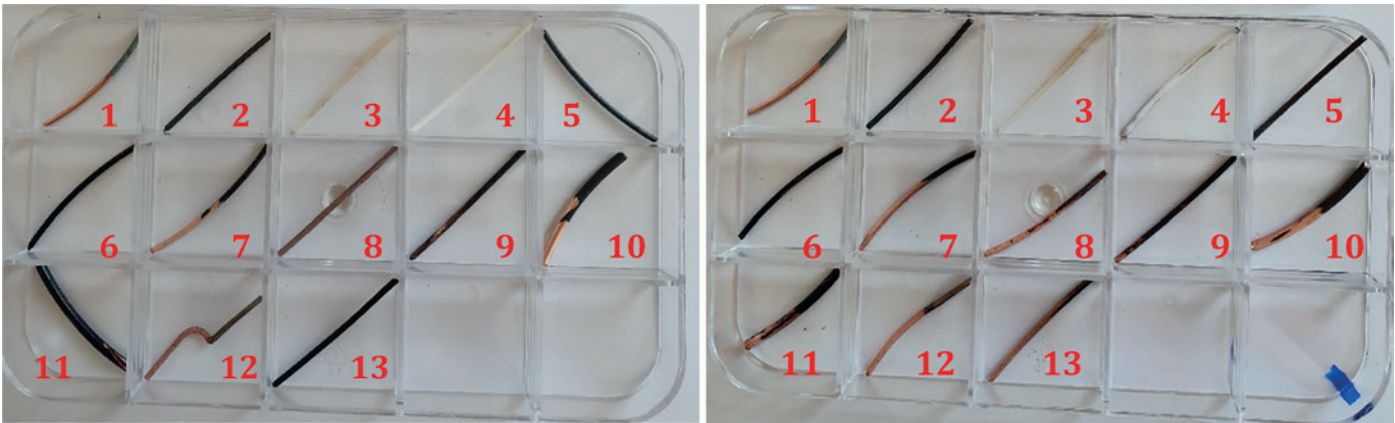
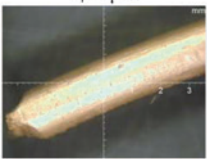
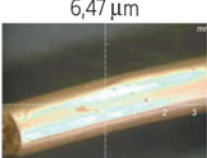
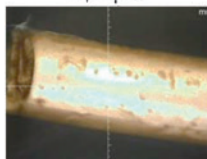
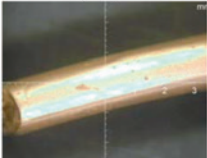
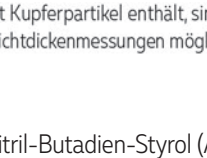
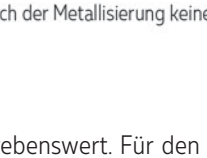


Abb. 2: 15-minütige Kupfermetallisierung (Details in Tabelle 1) der 13 FDM-Filamente bei 45 °C mit kolloidaler (l.) und ionogener Aktivierung (r.)

Tab. 2: Mit Röntgenfluoreszenzanalyse (RFA) bestimmte mittlere Schichtdicken nach der Kupfermetallisierung bei 45 °C mit ionogener Aktivierung

	nach 15 min	nach 120 min		nach 15 min	nach 120 min
Nr. 1	1,57 µm	6,39 µm	Nr. 10	1,08 µm	6,52 µm
					
Nr. 7	1,28 µm	6,47 µm	Nr. 12	*	*
					
Nr. 8	*	*	Nr. 13	0,84 µm	3,94 µm
					

* Da das FDM-Filament Kupferpartikel enthält, sind bei diesem Filament nach der Metallisierung keine aussagekräftigen Schichtdickenmessungen möglich

Bauteile aus Acrylnitril-Butadien-Styrol (ABS) ausgerichtet ist, wird dieser bewährte Prozessablauf auch für die Metallisierung der FDM-Filamente gewählt. Die FDM-Filamente werden dabei in Chromschwefelsäure gebeizt, anschließend erfolgen die Aktivierung der Oberfläche mit Palladiumkeimen (kolloidal oder ionogen) und schließlich die reduktive Metallisierung mit dem chemischen Kupferelektrolyten ENPLATE CU 872 des Unternehmens MacDermid Enthone (Tab. 1).

Die ersten Metallisierungsversuche erfolgten sowohl mit der kolloidalen als auch der ionogenen Aktivierung. Die Ergebnisse der beiden Verfahren nach 15-minütiger Kupfermetallisierung bei 45 °C sind unterschiedlich (Abb. 2). Da die Prozessroute der kolloidalen Aktivierung länger dauert und die Metallisierung unter gleichen Bedingungen nur schlecht reproduzierbar war, wird im weiteren Projektverlauf die ionogene Aktivierung genutzt.

Mit der ionogenen Aktivierung konnten die Filamente Nr. 1, 7, 8, 10, 12 und 13 ganzflächig mit Kupfer metallisiert werden. Demnach sind diese FDM-Filamente für die Leiterbahnstrukturen geeignet, während die Filamente Nr. 2, 3, 4, 5, 6, 9 und 11 als Substratmaterial in Frage kommen. Je nach Dauer der chemischen Metallisierung und der Art des Filaments wurden unterschiedliche Dicken der Kupferschicht erzielt (Tab. 2).

Um eine ausreichende Stromtragfähigkeit zu erreichen, ist eine Zielschichtdicke von etwa

10 µm erstrebenswert. Für den Metallisierungsprozess ist eine hohe Abscheiderate von Vorteil, sodass die Prozesszeit minimiert und die Produktionseffizienz maximiert wird. Um die Auswahl der Filamente für Leiterbahn und Substrat weiter einzugrenzen, wurden Metallisierungsversuche im Hinblick auf eine möglichst hohe Abscheiderate durchgeführt. Die Parameter hierfür sind die Konzentration des ENPLATE CU 872-Kupferelektrolyten sowie dessen Temperatur (Tab. 3).

Sowohl die Erhöhung der Temperatur als auch die Erhöhung der Konzentration führen zu einer höheren Abscheiderate, sodass bei gleicher Abscheidedauer etwa 1 µm bis 4 µm mehr Kupfer abgeschieden werden (Abb. 3). Versuchsreihen mit einer noch höheren Temperatur und Konzentration sind nicht zielführend, da es zur Fremdmetallisierung an der Behälterwand (Becherglas) kommt.

Lesen Sie weiter unter womag-online.de

Unter WOMag-online.de steht der gesamte Beitrag für alle Nutzer zur Ansicht zur Verfügung. Im Weiteren werden die Ergebnisse der durchgeführten Versuche detailliert diskutiert.

Der Gesamtumfang des Beitrags beträgt etwa 4,5 Seiten mit 5 Abbildungen, 4 Tabellen und 4 Literaturhinweisen.

Das unabhängige Galvaniklabor

Oberflächen

Schichtdicken, Mikroskopik, Rauigkeitsmessungen

Flüssigkeiten

Badanalyse, Hullzelle

Funktion

Lötprüfung, Passivierungstest
Alterung, Whisker



www.galvanikservice.de



MET AT LAB
Hull-Bleche & Zubehör

Der Shop Rund um die Hull-Zelle

Top-Qualität

Extrem plan für optimale Testergebnisse, minimale Toleranzen für optimale Anpassung

Top-Service

Umfassende Galvanik-Erfahrung und Knowhow

Funktion

Spezialisierte Produktpalette, sichere Abrechnung, zuverlässige Lieferung, persönlicher Kontakt



www.met-at-lab.com



Schwingungsunterstützte Zerspanung für weniger Verschleiß und kürzere Bearbeitungszeiten

Wer sich im produzierenden Gewerbe erfolgreich behaupten möchte, muss seine Teilefertigung kontinuierlich optimieren. Viele der üblichen Optimierungsmaßnahmen sind in der industriellen Serienfertigung jedoch so weit ausgeschöpft, dass keine spürbaren Verbesserungen mehr erzielbar sind. Dies gilt gerade für Zerspanungsprozesse, die oft einen erheblichen Teil der Wertschöpfung ausmachen. Das Gründerteam VibroCut am Fraunhofer IWU in Chemnitz zeigt: Durch innovative Schwingungsunterstützung lassen sich in diesen Prozessen Bearbeitungskräfte, Werkzeugverschleiß, Gratbildung und Spanbruchprobleme reduzieren. Dank Schwingungsunterstützung ist eine deutliche Produktivitätssteigerung realisierbar, auch Stillstandszeiten von Maschinen und Anlagen werden erheblich verringert. Bei der Zerspanung von schwer spanbaren Werkstoffen ist die Schwingungsunterstützung sogar Grundvoraussetzung für eine industrielle Machbarkeit.

Das Team am Fraunhofer-Institut für Werkzeugmaschinen und Umformtechnik IWU am Dipl.-Ing. Oliver Georgi nutzt gezielt erzeugte Schwingungen im Bereich bis 100 Hz oder im Ultraschallbereich über 16 kHz, um bei Zerspanungsprozessen bestehende Verfahrensgrenzen zu verschieben. In zahlreichen Industrieprojekten konnte es das technische Potential der schwingungsunterstützten Zerspanung nachweisen und signifikante Kostenvorteile bei dessen Einsatz in der mechanischen Teilefertigung aufzeigen. Besonders in der Großserienfertigung sind die Skaleneffekte groß.

Schwingungsunterstützung im Ultraschallbereich beim Bohren und Tiefbohren

Hochfrequente Schwingungen im Ultraschallbereich (ab 16 kHz) erhöhen beim Bohren und Tiefbohren die Produktivität und Prozesssicherheit. Die Ultraschallschwingungen führen in bestimmten Materialien, wie Kupfer- oder Aluminiumlegierungen, zu werkstofftechnischen Effekten, wodurch die Zerspanungskräfte deutlich sinken. In der Folge kann die Produktivität durch eine Erhöhung der Schnittwerte gesteigert werden. Ein Beispiel: Bei einem Maschinenstundensatz von 130 Euro, einer jährlichen Planbelegungszeit von 6000 Stunden sowie einem Haupt-

zeitanteil des Bohrens von 35 Prozent, führt eine 40-prozentige Erhöhung von Drehzahl oder Vorschub zu einer Produktivitätssteigerung von zehn Prozent oder Einsparungen in Höhe von 78 000 Euro. Werden diese Schnittparameter um 100 Prozent erhöht, können sogar 136 000 Euro Betriebskosten eingespart werden.

In anderen Anwendungsfällen steht die positive Auswirkung in Bezug auf die Gratbildung im Vordergrund. Durch die Reduzierung der Vorschubkraft wird diese so weit vermindert, dass Bearbeitungsaufwände zum Entgraten reduziert werden und in manchen Fällen sogar vollständig entfallen können. Beim Tiefbohren sorgt die Ultraschallunterstützung für einen verbesserten Spanabtransport und mehr Prozesssicherheit. Durch die genannten werkstofftechnischen Effekte wird der für die Qualität bestimmende Mittenverlauf verringert. Die Ultraschallschwingung modifiziert zusätzlich Reibungskontakte in der Zerspanungszone und damit den Werkzeugverschleiß: Die Werkzeugstandzeit steigt signifikant. In bestimmten Anwendungen, etwa bei der Zerspanung von schwer spanbaren Materialien wie Nickelbasislegierungen, ermöglicht erst die Ultraschallunterstützung eine ausreichende Prozessfähigkeit, akzeptable Werkzeugstandzeiten und damit eine wirtschaftliche Fertigung.



Das künftige VibroCut-Team (v. l. n. r.): Carlo Rüger, Oliver Georgi, Viola Lehmann und Martin Schwarze (© Fraunhofer IWU)

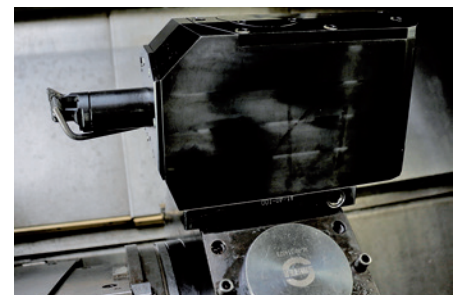
Spänenestern, welche den Spänefluss stören. Derartige Spänenester müssen manuell beseitigt werden, was nur bei Maschinenstillstand möglich ist. Wird der Spanbruch nicht beherrscht, ist in einigen Fällen sogar der Fertigungsprozess nicht automatisierbar. Durch die Schwingungsunterstützung mit bis zu 100 Hz und 0,6 mm Schwingweite entstehen prozesssicher kurze und definiert gebrochene Späne. Wo Drehmaschinen bisher selbst in der Serienfertigung mehrere Minuten pro Stunde gestoppt werden mussten, verursacht der Spanbruch nun keine Produktionsunterbrechungen mehr. Die Schwingungsunterstützung bei der Zerspanung wird mit innovativen und flexiblen Systemen realisiert, welche als Werkzeughalter am Revolver der Drehmaschinen eingewechselt werden



Mit Schwingungsunterstützung erzeugte kurze Späne (Bildvordergrund) im Vergleich zu langen Spänen (konventioneller Drehprozess mit identischen Parametern) (© Fraunhofer IWU)

Schwingungsunterstützung im niederfrequenten Bereich beim Drehen

Bei Zerspanungsprozessen mit kontinuierlichem Schneideneingriff, wie dem Drehen, ist der Spanbruch eine große Herausforderung. In der Serienfertigung führen Störgrößen wie Werkzeugverschleiß oder Chargenschwankungen dazu, dass oft kein prozesssicherer Spanbruch eingestellt werden kann. Lange Späne und Wirrspäne können die Werkstücke beschädigen und führen zur Bildung von



Innovatives System für das schwingungsunterstützte Drehen (© Fraunhofer IWU)

können. Folgendes Beispiel beim Innendrehen unterstreicht das Einsparpotential durch die verbesserte Maschinenverfügbarkeit: Bei einem Maschinenstundensatz von 85 Euro und einer jährlichen Planbelegungszeit von 6000 Stunden führt ein spanbruchbedingter Nutzungsausfall von durchschnittlich sechs Minuten pro Stunde zu einem jährlichen Nutzungsverlust von zehn Prozent und Stillstandskosten in Höhe von 51 000 Euro. Diese Kosten sind durch den Einsatz der neuartigen Technologie vermeidbar.

Anwendung in der Radlagerfertigung

Insbesondere in der Automobilindustrie kann die schwingungsunterstützte Zerspanung einen Beitrag leisten, um die Effizienz bei der Fertigung von zahlreichen Teilefamilien zu verbessern. Der Automobil- und Industriezulieferer Schaeffler setzt das schwingungsunterstützte Drehen erfolgreich beim Innendrehen in der Radlagerfertigung ein, um die Produktivität weiter zu steigern. Auch die Ultraschallunterstützung realisierte das Unternehmen gemeinsam mit dem Fraunhofer IWU für die Kernbohrungen der Gewinde in den Radlagern.

VibroCut: Ausgründung aus dem Fraunhofer IWU

Das Gründungsvorhaben VibroCut ist die Antwort des Forscherteams um Oliver Georgi auf das große Interesse vieler Industriepartner an innovativen Lösungen für mehr Effizienz in der Zerspanung. VibroCut wird zukünftig Schwingssysteme vertreiben, die als Funktionserweiterung für bestehende Werkzeugmaschinen nachgerüstet werden können. Darüber hinaus wird das Unternehmen Dienstleistungen wie kundenspezifische Technologieentwicklung, Maschinenintegration und Schulungen anbieten, seine Kunden also mit Komplettlösungen für die schwingungsunterstützte Zerspanung unterstützen. Der Markteinstieg erfolgt für die Verfahren des Bohrens und Drehens. Das Unternehmen wird sich jedoch nicht auf einzelne Marktnischen beschränken, sondern künftig weitere Anwendungen in unterschiedlichen Zerspanungsprozessen abdecken. Großes Marktpotenzial sieht VibroCut in der Automobil- und Zuliefererindustrie, im Maschinenbau oder in der Luft- und Raumfahrttechnik. Das Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz fördert VibroCut im Rahmen von

EXIST, einem Programm zur Unterstützung herausragender forschungsbasierter Gründungsvorhaben. Die Unternehmensgründung ist für Mitte 2023 vorgesehen.

Das Gründerteam

Das VibroCut-Gründerteam besteht aus den drei Wissenschaftlern Dipl.-Ing. Carlo Rüger (Applikationsingenieur für zerspanungstechnische Prozesse), Dipl.-Ing. Oliver Georgi (Geschäftsführung, Technischer Vertrieb) und M.Sc. Martin Schwarze (Entwicklung) sowie der Betriebswirtin M.A. Viola Lehmann (Kaufmännische Leitung, Finanzen, Verwaltung, Marketing). Die Wissenschaftler haben das Forschungsfeld der schwingungsunterstützten Zerspanung am Fraunhofer IWU seit 2015 maßgeblich vorangetrieben. Entstanden sind dabei patentierte, nachrüstbare und hochflexible Schwingssysteme, welche ihre einzigartige Leistungsfähigkeit und Robustheit auch bei Hochleistungszerspanungsprozessen unter Beweis gestellt haben: beste Voraussetzungen für einen nachhaltigen Markterfolg.

➔ www.iwu.fraunhofer.de



**WIR ANALYSIEREN
IHRE OBERFLÄCHEN UND
PRÜFEN IHRE MATERIALIEN.**



Jetzt anfragen:
www.steinbeis-analysezentrum.com

ECOCLEAN
technology that inspires

 **Unser Fokus:
Lupenrein**

**EFFIZIENTE
REINIGUNGS- UND
ENTGRATANLAGEN
FÜR VERSCHIEDENSTE
INDUSTRIELLE
BAUTEILE UND
KOMPONENTEN.**



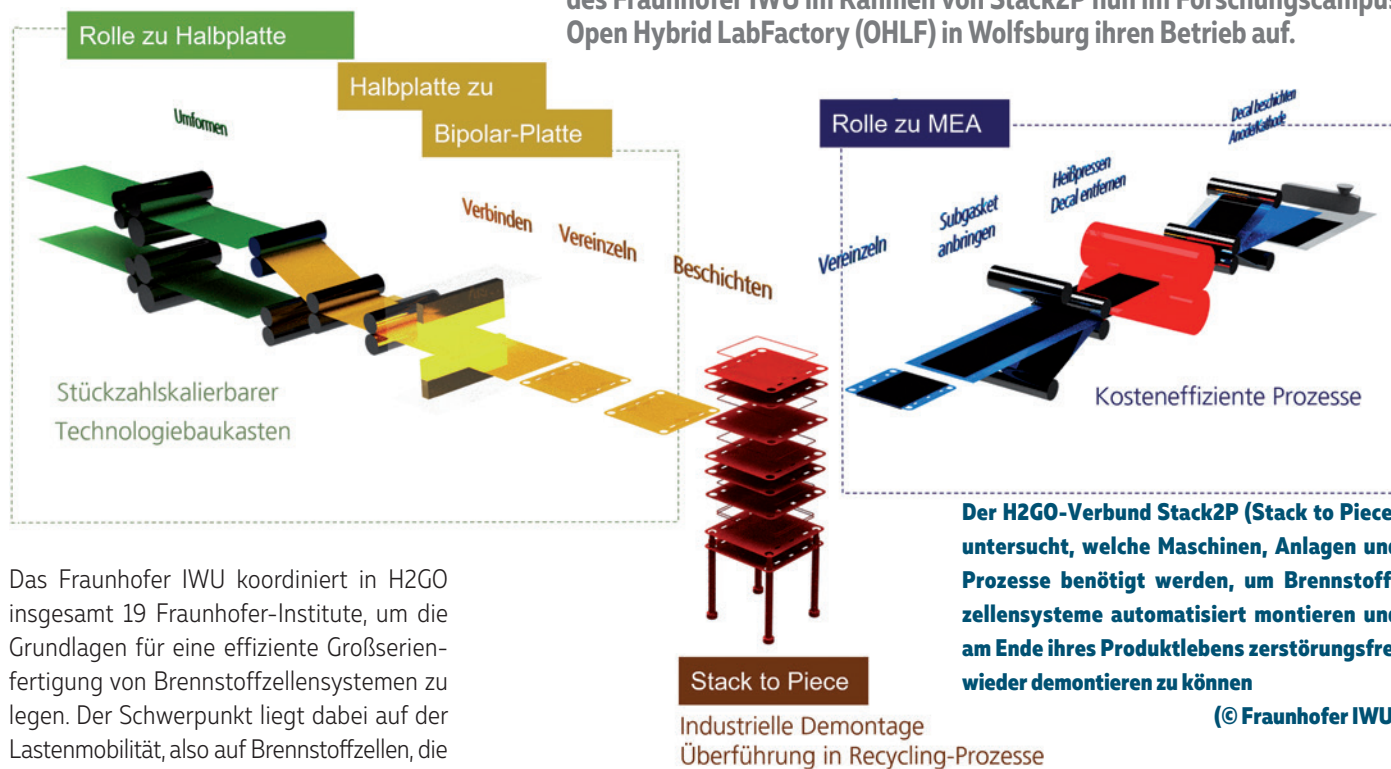
www.ecoclean-group.net



SBS ECOCLEAN GROUP
ECOCLEAN UCM MHITRAA

Kreislaufwirtschaft Brennstoffzelle: Ein Leben ist nicht genug

Wie müssen Stapel aus Brennstoffzellen (Stacks) in Fahrzeugen beschaffen sein, damit die eingesetzten Materialien am Ende des Produktlebens in automatisierten Prozessen demontiert, wiederverwertet oder am besten sogar wiederverwendet werden können? Dieser Frage gehen vier Fraunhofer-Institute im Verbund *Stack to Piece (Stack2P)* des *Nationalen Aktionsplans Brennstoffzellen-Produktion (H2GO)* nach. Das Ziel: bereits vor Beginn der industriellen Großserienproduktion von Stacks deren Produktdesign so zu beeinflussen, dass eine zerstörungsfreie Demontage erleichtert wird. Denn intelligentes Produktdesign und effiziente Demontageprozesse sind entscheidende Voraussetzungen, damit es möglichst viele Bauteile aus ausgedienten Stacks in ein zweites Produktleben schaffen. Die weltweit erste Forschungsanlage für die vollautomatisierte Zerlegung von Stacks nimmt nach Mitteilung des Fraunhofer IWU im Rahmen von Stack2P nun im Forschungscampus Open Hybrid LabFactory (OHLF) in Wolfsburg ihren Betrieb auf.



Das Fraunhofer IWU koordiniert in H2GO insgesamt 19 Fraunhofer-Institute, um die Grundlagen für eine effiziente Großserienfertigung von Brennstoffzellensystemen zu legen. Der Schwerpunkt liegt dabei auf der Lastenmobilität, also auf Brennstoffzellen, die an Bord eines Nutzfahrzeugs Wasserstoff in Strom umwandeln.

Ein wichtiger Teil dieses Aktionsplans ist der Verbund Stack2P (Stack to Piece), der die Kreislaufrfähigkeit dieser Produktionskonzepte sicherstellen soll. Die Fraunhofer-Institute IWU (am Standort Wolfsburg), IFAM und IKTS bündeln dazu unter Leitung des Fraunhofer IST ihre Kräfte. Das Projektziel lautet, ein umfassendes Konzept der Wiederverwendung (Reuse), Wiederaufbereitung (Refurbishment), Reparatur (Repair) oder – wo unumgänglich – des Recyclings für sämtliche Teile und Komponenten des Stacks zu entwickeln. Ein Beispiel: Gehäuse sollten so konzipiert sein, dass sie mehrfach verwendbar sind. Selbst Dichtungen werden künftig weitgehend recycelbar sein.

Anspruchsvolle mechanische Trennung der Komponenten

Demontageprozesse müssen den komplexen Aufbau von Brennstoffzellensystemen berücksichtigen. Als Herzstück einer Brennstoffzel-

le fungiert die Membran-Elektroden-Einheit (MEA) mit der Protonenaustauschmembran, in der die Umwandlung von chemischer in elektrische Energie stattfindet. Die MEA wird durch zwei Bipolarplatten umschlossen. Mehrere in Serie geschaltete Brennstoffzellen bilden einen Stack (Stapel). Beim zerstörungsfreien Zerlegen eines Stacks gilt es, zahlreiche Fügeverbindungen zu lösen und dabei die höchstens 0,10 mm dünnen Bipolarplatten nicht zu beschädigen.

Heutige Zerlegungsprozesse sind weitgehend manuell und für eine künftige effiziente Wiedergewinnung von Bauteilen und Komponenten im industriellen Maßstab nicht geeignet. In Stack2P wird daher die gesamte Prozesskette betrachtet, von der Datenerfassung (Typ des Stacks) über das Entstapeln (Abnehmen) und automatisierte Trennen von allen Komponenten bis zur Entnahme der MEA. Das Fraunhofer-Institut für Keramische Technologien und Systeme IKTS prüft in

Der H2GO-Verbund Stack2P (Stack to Piece) untersucht, welche Maschinen, Anlagen und Prozesse benötigt werden, um Brennstoffzellensysteme automatisiert montieren und am Ende ihres Produktlebens zerstörungsfrei wieder demontieren zu können

(© Fraunhofer IWU)

Stack2P den Zustand der Brennstoffzellen am Ende ihrer Nutzung; das Fraunhofer-Institut für Schicht- und Oberflächentechnik IST entwickelt in ST2P eine Recyclinglinie und nachhaltige Recyclingkonzepte für PEM-Brennstoffzellen. Ein Fokus sind chemische Prozesse zur Zerlegung der MEA, um das teure Edelmetall Platin wiederzugewinnen. Arbeitsschwerpunkte für das Fraunhofer-Institut für Werkzeugmaschinen und Umformtechnik IWU sind Verfahren zur mechanischen Trennung der Komponenten, also automatisierte Demontageprozesse einschließlich Erkennen und Lösen von Fügeverbindungen und nicht zuletzt die Entwicklung von Richtlinien und Prozessen für Produkt und Produktion. In Wolfsburg baut das Fraunhofer IWU nun zusammen mit dem Industriepartner Aumann Limbach-Oberfrohna GmbH eine Forschungsanlage zur vollautomatisierten Zerlegung von Brennstoffzellenstapeln auf; das Fraunhofer-Institut für Fertigungstechnik



Viele Komponenten in Brennstoffzellen können wiederverwendbar oder -verwertbar sein – wenn die Brennstoffzelle dafür konzipiert wird
(© Fraunhofer IWU)

und Angewandte Materialforschung IFAM errichtet gleichzeitig am Standort Bremen ein

Entstapelmodul, um Erkenntnisse zu Klebeverbindungen zu gewinnen.

Serienanlage für industriellen Maßstab aus Forschungsanlage ableitbar

Dank der vom Fraunhofer IWU und Aumann konzipierten, weltweit einmaligen Forschungsanlage wird es nach Projektabschluss möglich sein, Serienanlagen für die sortenreine Trennung aller Bestandteile eines Brennstoffzellensystems im industriellen Maßstab zu entwickeln. Zur späteren Skalierbarkeit der Anlage gehören insbesondere Erkenntnisse für Taktzeiten. Im Pilotbetrieb geht es mit einem 10-Sekunden-Takt beim Entstapeln los; für den späteren industriellen Serienbetrieb

wird eine Reduzierung auf rund 1 Sekunde angestrebt.

Als mindestens genauso wichtig schätzt das Forscherteam um Dennis Weintraut M. Sc. jedoch ein, was es im Projekt für eine optimierte Auslegung von Brennstoffzellensystemen in ihrem ersten Produktleben lernen kann – damit viele weitere Produktleben folgen können: *Mit der im Projekt entwickelten Pilotanlage können wir erstmals Brennstoffzellensysteme automatisiert demontieren. Wir wollen wichtige Rohstoffe im Kreislauf halten, damit Ressourcen schonen und die Abhängigkeit von Importen reduzieren.*

➔ www.iwu.fraunhofer.de



Die effiziente Art der Wasserbehandlung.

Steigern Sie die Qualität Ihrer Produkte und Sparen Sie mit unseren eigens entwickelten Verfahren.

Wir beraten Sie gerne persönlich über die

- langfristige Verhinderung von **Bakterien-, Algen- und Pilzwachstum** in wässrigen Lösungen
- mit der **42. BImSchV** verbundenen Maßnahmen. Auch ob Ihr Betrieb überhaupt betroffen ist.
- **Reinigung, Entkeimung und Entkalkung** wasserführender Systeme: Kiesfilter, Ionenaustauscher, Wasserkreisläufe, Module, Tauchanlagen u.a.
- **Abwasserbehandlung/-reinigung**
Fällen und Flocken, Komplexspalten, Entgiften und verschiedene Spezialbehandlungen



Besuchen Sie uns auf www.guschem.de

GusChem® - Qualität, die überzeugt!

Tel +49 8194 93109 80 • Fax +49 8194 8461 • info@guschem.de • www.guschem.de

Präzise Analysentechnik für zuverlässige Qualitätskontrolle



RF-200 CF Pro

- Vollautomatisches Röntgenfluoreszenzspektrometer
- Messung und Steuerung des Metallgehaltes in Elektrolyten im Minutentakt
- Online-Überwachung

Galvanik 4.1

- Digitale Vernetzung der Prozesse
- Fernzugriff per Mobile-App
- Dosierungssteuerung via Schnittstellen
- Modulare Systemkomponenten

B+T Unternehmensgruppe · Customized Solutions for Your Success

B+T K-Alpha GmbH · Am Surbach 5 · D-35625 Hüttenberg · Tel. +49 64 41/7806 310 · www.bt-unternehmensgruppe.de

Kostengünstig und ressourcenschonend zu grünem Wasserstoff

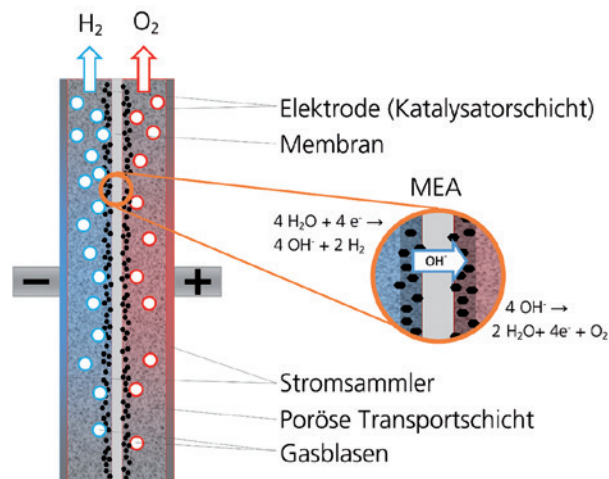
Soll die Energiewende gelingen, werden große Mengen an Wasserstoff benötigt. Im Projekt *HighHy* arbeitet ein internationales Forscherteam aus Deutschland und Neuseeland daran, die noch junge Technologie der AEM-Elektrolyse zur Herstellung von grünem Wasserstoff effizienter zu machen. Dafür setzen Wissenschaftler vom Fraunhofer-Institut für Fertigungstechnik und Angewandte Materialforschung IFAM in Dresden auf die gut verfügbaren und ressourcenschonenden Metalle Mangan und Nickel – und wollen das vielversprechende Elektrolyseverfahren so in die großflächige industrielle Anwendung bringen. Neben geringeren Kosten im Vergleich zu den derzeit gängigen Verfahren bietet die neue Technologie eine Reihe weiterer Vorteile.

Wie werden wir uns in Zukunft fortbewegen? Wie unsere Industrieanlagen betreiben und Energie über längere Zeiträume zwischen speichern? Für viele Herausforderungen, die mit der Energiewende einhergehen, könnte Wasserstoff die Lösung sein: Einsetzbar sowohl im Straßenverkehr als auch in der Industrie und Wärmeversorgung ist das leichteste Element im Periodensystem ein wahres Multitalent. Gerade weil Wasserstoff so flexibel hinsichtlich seiner Anwendungsmöglichkeiten ist, werden in Zukunft voraussichtlich große Mengen davon benötigt. Die massenhafte Herstellung steht derzeit aber noch vor vielfältigen Herausforderungen – einigen von ihnen möchte das Projektteam von *HighHy* mit der Entwicklung von Katalysatoren für eine hocheffiziente und zugleich kostengünstige Wasserstoffproduktion begegnen.

Wasserstoffherstellung mit gängigen Elektrolyseverfahren

Im industriellen Maßstab lässt sich Wasserstoff durch Elektrolyse herstellen: Wassermoleküle werden in einem mit einem Leitsalz versetztem Wasser, dem sogenannten Elektrolyten, mittels elektrischer Energie in Wasserstoff und Sauerstoff gespalten. Die Energie wird in Form von chemischen Bindungen in Wasserstoff aufgenommen und gespeichert. Das Gas bietet somit eine attraktive Möglichkeit, Energie, die etwa durch starken Wind oder Sonne in Windkraft- oder Solaranlagen entsteht und nicht direkt ins Netz

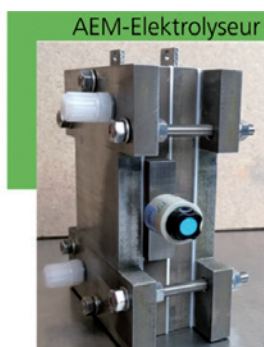
eingespeist werden kann, langfristig zu speichern. Solchen durch regenerative Energiequellen erzeugten Wasserstoff bezeichnet man als *grün*. Derzeit sind im größeren Maßstab vor allem drei Elektrolyseverfahren im Einsatz. Technisch relevant und historisch am weitesten verbreitet ist die alkalische Elektrolyse (AEL), bei der dem Wasser zum Beispiel Kaliumhydroxid zugegeben wird. Ein Nachteil ist der geringe untere Teillastbereich, das heißt, dass bei Nutzung eines fluktuierenden Stromangebots nicht die gesamte Bandbreite als elektrische Last abgenommen werden kann. Bei der Elektrolyse mit einem Protonenaustauschmembran-Elektrolyseur (Proton Exchange Membrane, PEM-EL) wandern Wasserstoffionen in stark saurer Umgebung durch eine gasdichte Membran, die in direktem Kontakt zu den Elektroden steht (sogenannte Membran-Elektroden-Einheit oder Membrane Electrode Assembly, MEA). Dieser Ansatz ermöglicht eine hohe Leistungsdichte und ein sehr dynamisches Lastverhalten bei stets hoher Gasreinheit – allerdings benötigt man für die Elektroden seltene und teure Edelmetalle wie Iridium, die der stark korrosiven Umgebung standhalten, sowie teure Membranen.



Schema einer AEM-Elektrolysezelle: Das Herzstück ist die Membran-Elektroden-Einheit (MEA), die aus der Anionen-leitenden Membran und den unmittelbar verbundenen Elektroden besteht (© Fraunhofer IFAM Dresden)

Projekt HighHy: AEM-Elektrolyse

Eine vergleichsweise neue Methode stellt die Elektrolyse mittels Anionenaustauschmembranen (Anion Exchange Membran, AEM) dar. Sie vereint die Vorteile der AEL, mit ihrer hohen Langzeitstabilität sowie dem Einsatz von gut verfügbaren, kostengünstigen Metallen, mit denen der PEM-EL, also der höheren Leistung, der Anpassbarkeit an unterschiedliche Lasten und der Gasreinheit. In der industriellen Anwendung konnte sich die AEM-Elektrolyse bislang noch nicht durchsetzen, da die in ihr stattfindende Sauerstoff-Entwicklungs-Reaktion (Oxygen Evolution Reaction, OER) bei Verwendung von Nicht-Edelmetallen mit zu geringer Geschwindigkeit abläuft. Infolgedessen ist die benötigte Zellspannung der Wasserelektrolyse für die angestrebten Stromdichten und somit der Energiebedarf für die Wasserstoffherstellung sehr hoch. Mit dieser Problematik befasst sich das Projekt *HighHy*: Die deutsch-neuseeländische Zusammenarbeit, die im Rahmen der *Forschungsk Kooperation Grüner Wasserstoff mit Neuseeland* des BMBF gefördert wird, hat die Entwicklung von OER-Katalysatoren und von hocheffizienten AEM-Elektrolyseuren zum



Das Fraunhofer IFAM entwickelt im Projekt HighHy mit deutschen und neuseeländischen Partnern hochaktive Katalysatormaterialien und deren Einbringung in eine Membran-Elektroden-Einheit (© Fraunhofer IFAM Dresden)

Ziel. Mit drei neuseeländischen Universitäten und der Uni Bayreuth suchen wir nach der idealen Zusammensetzung für die Katalysatoren, fasst Dr. Christian Bernäcker, Leiter der Arbeitsgruppe Elektrochemische Technologie am Fraunhofer IFAM, das Projektziel zusammen.

Um mittels AEM-Elektrolyse grünen Wasserstoff im Industriemaßstab gewinnen zu können, soll im Projekt HighHy eine innovative Nickel-Mangan-Verbindung als OER-Katalysator eingesetzt werden. Die Mischung bietet entscheidende Vorteile: Beide verwendeten Metalle sind rohstoffseitig gut verfügbar, kostengünstig und bieten Vorteile bei der chemischen Aktivität. Mit dem Ziel vor Augen, eine ideale Verbindung für die industrielle Anwendung zu entwickeln, arbeiten die Teams der an HighHy beteiligten Institutionen parallel an möglichen Lösungen. Clemens Kubeil, wissenschaftlicher Mitarbeiter in der Abteilung Wasserstofftechnologie am Fraunhofer IFAM in Dresden und dort zuständig für das Projekt, beschreibt die Vorgehensweise: Der komplementäre Ansatz sei etwas Besonderes: Die Projektpartner erprobten viele unterschiedliche Synthesemethoden, Zusammensetzungen, Oberflächenstrukturen und Materialgrößen für die Beschichtung der Katalysatoren. Am Ende solle aber nur eine – die beste – Lösung ausgewählt und anhand eines Demonstrators, der in Neuseeland entsteht, umfassend getestet werden.

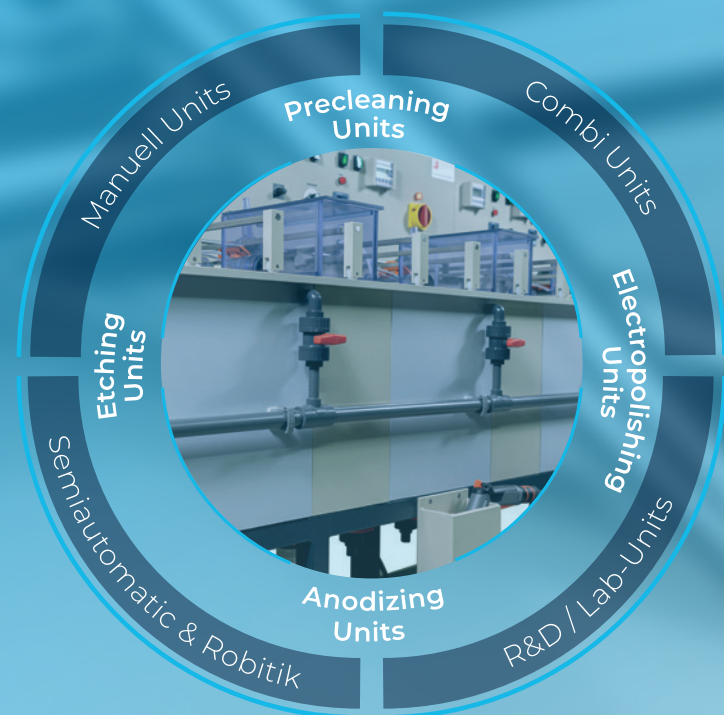
Das Fraunhofer IFAM bringt in die Katalysatorentwicklung seine Expertise für pulvermetallurgische Strategien ein: Neben der elektrochemischen Aktivität des Katalysators gilt es, die elektrische Kontaktierung der Elektroden sowie den Elektrolytfluss zu optimieren und dabei die Gasblasen von der Elektrode vorteilhaft abzuleiten. Dafür spielt Know-how rund um poröse Strukturen, wie sie auch beim Einsatz von Nickel-Mangan-Pulver für die Beschichtung entstehen, eine entscheidende Rolle. Insgesamt erhoffen sich die Forschenden, dass durch die neuen Katalysatoren die für die Sauerstoffentstehung notwendige elektrische Energie verringert und somit die Effizienz der AEM-Elektrolyse gesteigert werden kann.

Preis, Flexibilität, Wasserstoffreinheit

Das Potenzial einer industriell anwendbaren AEM-Elektrolyse ist groß: Die EU-Ziele für den Energieeinsatz bei der Elektrolyse mit dem neuen Verfahren liegen für das Jahr 2030 bei etwa 48 Kilowattstunden pro Kilogramm hergestelltem Wasserstoff. Damit könnte die AEM-EL rund 80 Prozent Effizienz und damit ähnliche Werte erreichen wie die bisher etablierten Verfahren AEL und PEM-EL – bei deutlich höherer Flexibilität hinsichtlich gefahrener Lasten und Einsatzorte sowie entscheidend geringeren Materialkosten. Heruntergerechnet auf den entstehenden Wasserstoff läge das Preisziel für die Anschaffungskosten des AEM-Elektrolysesystems laut Clemens Kubeil bei etwa 300 Euro je installiertem Kilowatt, wohingegen die PEM-EL bei rund 500 Euro rangiere. Selbst bei der klassischen alkalischen Elektrolyse setze man derzeit noch 400 Euro als Ziel an. *Damit ist die AEM-EL die einzig ernstzunehmende Elektrolyse-Variante, was den Preis angeht*, fasst Clemens Kubeil zusammen. Ein weiterer Vorteil liegt ihm zufolge darin, dass dank der gasdichten Membran sowie des geringer konzentrierten Elektrolyts und asymmetrischem Elektrolytflusses unter großen Drücken produziert werden kann. Dadurch lasse sich sehr reiner und gleichzeitig komprimierter Wasserstoff herstellen, der leichter eingespeist werden könne. *Dies wiederum ermöglicht das schnellere Hoch- und Herunterfahren und den Teillastbetrieb von Systemen – all das ist sehr interessant, wenn man eine Anwendung in den fluktuierenden Markt einbringen will*, so Kubeil.

➔ www.ifam-dd.fraunhofer.de

Wir sorgen für perfekte Oberflächen in der Medizintechnik.



- ✓ Vorbehandlung
- ✓ Farbanodisieren
- ✓ Grauanodisieren
- ✓ Elektropolieren
- ✓ Beizen & Ätzen
- ✓ Nachbehandlung

Walter Lemmen GmbH

Birkenstraße 13
97892 Kreuzwertheim
Tel.: +49 (0) 9342 240 977-0
info@walterlemmen.de
www.walterlemmen.de



Eine neue, bessere Technik für Röntgenlaserpulse

Deutlich einfacher und gleichzeitig viel effizienter als bisher: An der TU Wien wurde eine neue Technologie zur Herstellung von Röntgenlaserpulsen entwickelt.

Die Röntgenstrahlung, mit der man im Krankenhaus ein gebrochenes Bein untersucht, ist einfach herzustellen. In der Industrie braucht man aber auch Röntgenstrahlung ganz anderer Art – nämlich möglichst kurze, energiereiche Röntgenlaserpulse. Man verwendet sie etwa bei der Herstellung von Nanostrukturen und elektronischen Bauteilen, aber auch, um den Ablauf chemischer Reaktionen in Echtzeit zu überwachen.

Starke, extrem kurzweilige Röntgenpulse im Wellenlängenbereich von Nanometern sind schwierig herzustellen, doch nun wurde an der TU Wien eine neue, einfachere Methode entwickelt: Der Ausgangspunkt ist nicht wie bisher ein Titanium-Saphir-Laser, sondern ein Ytterbiumlaser. Und der entscheidende Trick liegt darin, dass man das Licht anschließend durch ein Gas schickt, um seine Eigenschaften gezielt zu verändern.

Mit großen Wellenlängen zu kurzen Wellenlängen

Die Wellenlänge eines Laserstrahls hängt von dem Material ab, in dem er erzeugt wird: In den beteiligten Atomen oder Molekülen wechseln Elektronen von einem Zustand in einen Zustand mit geringerer Energie. Dabei wird ein Photon ausgesendet – seine Wellenlänge (und somit seine Farbe) hängt davon ab, wie viel Energie das Elektron bei seinem Zustandswechsel verloren hat. So kann man unterschiedliche Laserfarben erzeugen – von rot bis violett.

Wenn man allerdings Laserstrahlen mit noch viel kleinerer Wellenlänge erzeugen möchte, dann muss man spezielle Tricks anwenden: Man erzeugt zunächst Laserstrahlen mit großer Wellenlänge und schießt sie auf Atome. Den Atomen wird ein Elektron entrissen, es wird im elektrischen Feld des Lasers beschleunigt, kehrt dann wieder um und stößt wieder mit dem Atom zusammen, aus dem es kam – und dabei kann dann kurzweilige Röntgen-

strahlung entstehen. Diese Technik heißt *High Harmonic Generation*.

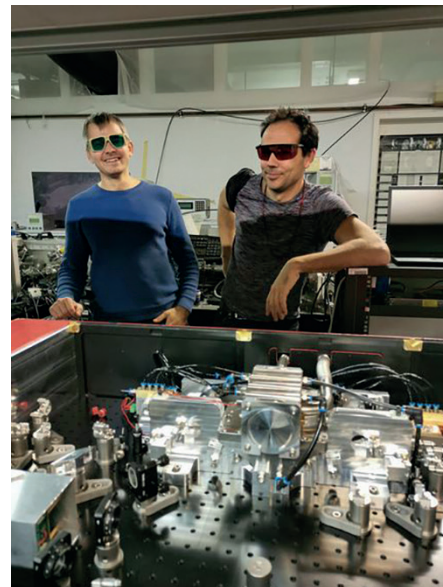
Die Situation erscheint auf den ersten Blick etwas kontra-intuitiv, sagt Paolo Carpeggiani vom Institut für Photonik der TU Wien. Es zeigt sich nämlich: Je größer die Wellenlänge des ursprünglichen Laserstrahls, umso kleinere Wellenlängen kann man am Ende dadurch erzielen. Allerdings sinkt dabei auch die Effizienz der Röntgenstrahlungsproduktion: Wenn man sehr kurzweilige Strahlung erzeugen möchte, dann wird ihre Intensität sehr gering.

Ytterbium statt Titanium-Saphir, Gas statt Kristall

Bisher wurden bei dieser Technologie fast immer Titanium-Saphir-Laser verwendet und die Wellenlänge ihrer Strahlung dann mit speziellen Kristallen vergrößert, um damit dann durch High-Harmonic-Generation möglichst kurzweilige Röntgenstrahlung zu generieren. Das Team an der TU Wien entwickelte nun eine einfachere und gleichzeitig leistungsfähigere Methode: Man setzte einen Ytterbiumlaser ein. Ein solcher Laser ist einfacher, billiger und leistungsfähiger als ein Titanium-Saphir-Laser, doch bislang kam man damit bei der Produktion von Röntgenpulsen nicht an die Ergebnisse von Titanium-Saphir-Lasern heran.

An der TU Wien wurde die Wellenlänge der Laserstrahlung zunächst vergrößert, indem man diese Strahlung nicht wie gewöhnlich durch einen Kristall schickte, sondern durch ein molekulares Gas. Das erhöhe die Effizienz ganz dramatisch, sagt Carpeggiani. Statt der bisher üblichen 20 Prozent kommt das Team der TU Wien auf rund 80 Prozent.

Das dadurch entstehende Laserlicht kann man dann wie bisher für High-Harmonic-Generation nutzen, um Röntgenlaserpulse zu erzeugen. *Wir konnten zeigen, dass die neue Technik von Ytterbiumlasern, kombiniert mit*



Edgar Kaksis (l.) und Paolo Carpeggiani
(Bild: TU Wien)

Gas-basierter Wellenlängenkonversion, nicht nur in der Lage ist, Röntgenlaserpulse zu erzeugen, sondern dass dies auch noch bei deutlich höherer Effizienz als bisher gelingt. Damit ist es nun einfacher und kostengünstiger, Röntgenlaser für industrielle Anwendungen oder wissenschaftliche Untersuchungen zu verwenden.

Florian Aigner

Originalpublikation:

M. Dörner-Kirchner, V. Shumakova, G. Coccia, E. Kaksis, B. E. Schmidt, V. Pervak, A. Pugzlys, A. Baltuška, M. Kitzler-Zeiler, P. A. Carpeggiani: HHG at the Carbon K-Edge Directly Driven by SRS Red-Shifted Pulses from an Ytterbium Amplifier; ACS Photonics (2023) 10 (1), 84-91, <https://pubs.acs.org/doi/10.1021/acsp Photonics.2c01021>

Kontakt:

Paolo Carpeggiani, PhD, Institut für Photonik, TU Wien,
E-Mail: paolo.carpeggiani@tuwien.ac.at

➔ www.tuwien.at

AKTUELLES

aus Wirtschaft, Wissenschaft und Technik

finden Sie auf unserer Webseite: **www.womag-online.de**

Umfassend und immer auf dem neuesten Stand!

Teilautonome Fertigungszelle für orthopädische Implantate

Nach über drei Jahren Forschungsarbeit wurde das Projekt *TempoPlant: Teilautonome Fertigungszelle für orthopädische Implantate* erfolgreich abgeschlossen. In enger Zusammenarbeit mit fünf Firmen aus der Industrie wurden verschiedene Technologien entlang der Prozesskette zur spanenden Fertigung von Implantaten erforscht. Die für die Industrie besonders wichtigen regulatorischen Anforderungen, wie die neue europäische Medical Device Regulations (MDR) wurden über die gesamte Projektlaufzeit berücksichtigt. Der Weg für eine Übertragung der Projektergebnisse in die industrielle Praxis ist damit frei.

Schwer zerspanbare Werkstoffe, komplexe Geometrien und geringe Stückzahlen zeichnen die Fertigung von Implantaten aus und sind eine große Herausforderung für die produzierenden Unternehmen. Daneben ist ein enormer Aufwand zur medizintechnischen Qualifizierung der Fertigungsprozesse notwendig, bevor ein Produkt eine Marktzulassung erhält. Medizintechnikunternehmen bewerten die gestiegenen Anforderungen durch die MDR als größtes Hemmnis in der Unternehmensentwicklung; sie investieren inzwischen etwa neun Prozent des Gesamtumsatzes in die Erfüllung der Regulatorik. Die gestiegenen Anforderungen und Kosten führen bereits jetzt dazu, dass Implantate mit geringen Stückzahlen aus Kostengründen vom Markt verdrängt werden. Das kann im schlimmsten Fall auch mit einer Gefährdung der Patienten verbunden sein, wenn notwendige Implantate nicht mehr verfügbar sind. Um weiterhin einen wirtschaftlichen Fertigungsprozess sicherzustellen, hat es sich das Team des Projekts TempoPlant zur Aufgabe gemacht, eine teilautonome Fertigungszelle speziell für die Medizintechnik zu entwickeln.

Für die Herstellung der Implantate erforschten die Projektmitarbeitenden Methoden der Digitalisierung sowie innovative Fertigungstechnik und wendeten sie entlang der gesamten Prozesskette an. Die Digitalisierung beginnt beim Einsatz von Produkt- und Fertigungsinformationen (PMI), was technische Zeichnungen in der Arbeitsvorbereitung obsolet macht. Eine adaptive CAM-Planung kann zudem auf sich verändernde CAD-Modelle reagieren und stellt dem Maschinenbediener so automatisiert einen aktuellen NC-Code zur Verfügung. Der Fertigungsprozess erfolgt ebenfalls automatisiert. Ein Automatisierungsroboter übernimmt das Bauteilhandling. Dabei wird das Bearbeitungszentrum DMG Mori Milltap 700 mit Rohteilen beladen und den fertigen Bauteilen entladen. Parallel zum Fertigungsprozess läuft eine Prozessüberwachung, die Fehler in Echtzeit erkennt und darauf reagieren kann.

Die Basis dieser Prozessüberwachung bildet eine prozessparallele Simulation, woraus die aktuellen Eingriffsbedingungen und die Prozesskraft bestimmt werden. Die so ermittelte Prozesskraft wird schließlich

prozessparallel mit der gemessenen Prozesskraft, aus einem sensorischen Spannsystem, abgeglichen. Ein Fehler im Prozess äußert sich dabei durch eine große Differenz der theoretischen zur gemessenen Prozesskraft.

Unmittelbar nach dem Fertigungsprozess wird eine automatisierte Qualitätskontrolle mit einem taktilen Messtaster in der Werkzeugmaschine und einem optischen Messsystem der Firma ZEISS Optotechnik GmbH ausgeführt. Das Optische Messsystem wird dafür von einem Messroboter geführt. Die ausgewerteten Messdaten werden in einem Qualitätsregelkreis zur Optimierung des Fertigungsprozesses verwendet, indem der NC-Code so verändert wird, dass auftretende Fehler für den nächsten Fertigungsprozess durch eine Verschiebung der Werkzeugwege eliminiert werden.

Zudem werden die Messdaten zu jedem gefertigten Implantat sicher und nachverfolgbar dokumentiert. Das ermöglicht eine Architektur mittels Blockchain und digitalen Verträgen – sogenannten Smart Contracts. Mit dem Abschluss einzelner Prozessschritte und dem Vorliegen der dafür notwendigen Daten tritt ein Smart Contract in Kraft und die bis zu diesem Zeitpunkt dokumentierten Daten werden mit Hilfe einer Blockchain überwacht. Änderungen der Daten werden somit transparent, ohne dass der Klartext der Daten preisgegeben werden muss. Das eröffnet völlig neue Potenziale für eine gemeinsame Dokumentation über Firmengrenzen hinaus.

Neben der Dokumentation spielt die Validierung der Fertigungszelle eine wichtige Rolle. Für die Unternehmen der Medizintechnik stellt sich dabei immer wieder die Frage, wie ein Prozess validiert werden kann, der mit Hilfe der Fehlerkompensation selbstständig Veränderungen an den Werkzeugwegen vornimmt. In diesem Fall liegt der Schlüssel in dem Einsatz der genannten Messsysteme. Durch die lückenlose Qualitätskontrolle kann eine Verifizierung der kompensierten Flächen durchgeführt werden. Das erleichtert die Validierung der Fertigungszelle enorm, da durch die Verifizierung ständig ein Nachweis über die korrekte Funktionsfähigkeit der Fertigungszelle erbracht wird.

Insgesamt wurden somit verschiedene Technologien in eine gemeinsame Fertigungszelle integriert und erfolgreich erprobt. Nach dem erfolgreichen Abschluss des Projekts arbeitet das Projektteam im nächsten Schritt an einer Industrialisierung der Technologien.

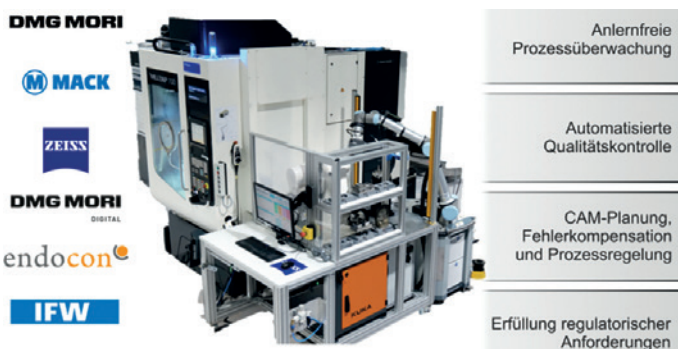
Das vorgestellte Forschungsprojekt wurde mit Mitteln des Bundesministeriums für Bildung und Forschung im Programm *Forschung für Produktion* gefördert und in Zusammenarbeit mit den Projektpartnern Deckel Maho Seebach, DMG Mori Digital, Carl Zeiss Optotechnik GmbH, endocon GmbH und der Mack Dentaltechnik GmbH bearbeitet.

Sebastian Kaiser

Kontakt:

Sebastian Kaiser, E-Mail kaiser@ifw.uni-hannover.de

➔ www.ifw.uni-hannover.de



Technologien der teilautonomen Fertigungszelle (© Kai/114784 © IFW)

Transferprojekt zur Berufsbildung auf der Zielgeraden

Von Dominique-Navina Pantke, Fraunhofer IPA, Stuttgart

Das deutsch-thailändische Kooperationsprojekt zur Berufsbildung, kurz SCHOOLPLATE (I+II), hat es sich zum Ziel gesetzt, die thailändische Galvanikindustrie zu stärken und vor Ort berufliche Bildungsmaßnahmen zu etablieren. Ein Resümee nach etwas mehr als drei Jahren Gesamtlaufzeit.

Das Berufsbildungsprojekt, das seinen Ursprung in einer Forschungs Kooperation zwischen dem Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und Automatisierung IPA in Stuttgart und der Chulalongkorn Universität Bangkok hat, befindet sich trotz massiver pandemiebedingter Einschränkungen auf einem vielversprechenden Weg. In zwei Projektphasen [1, 2] wurde ein umfassendes und bedarfsorientiertes Weiterbildungs konzept entwickelt und mit Fokus auf betriebliche Maßnahmen pilotiert.

SCHOOLPLATE Academy – Kurse für Beschäftigte der Galvanikindustrie

Die ersten Pilotkurse fanden ab der zweiten Jahreshälfte 2022 vor Ort und in Kooperation mit dem Materials Science Research Institute (MMRI) der Chulalongkorn Universität Bangkok statt. Thematisch wurde dabei zunächst ein Basiskurs umgesetzt, in welchem die Teilnehmenden ganz praktisch neben dem Elektrolytansatz auch die Grundzüge der Titration und Abscheidung kennenlernten. Daneben wurde ein Kurs für Fortgeschrittene zum Thema Fehleranalyse realisiert. Das langfristige Ziel des binationalen Projektteams ist die Etablierung einer eigenständigen Trainingsakademie (SCHOOLPLATE Academy), die re-



Teilnehmerinnen des ersten Pilotkurses *Applied Electrochemistry - Practical Electroplating*, 1. bis 2. Juni 2023 (Bild: Fraunhofer IPA)

gelmäßig Kurse für Beschäftigte der thailändischen Galvanikindustrie anbieten soll. Das Projektteam hat neben weiteren Maßnahmen die Ausgründung der SCHOOLPLATE Academy angestoßen.

Die qualitative Grundlage zur Ausgestaltung entsprechender Themen und Kurse war hierbei die Betriebsbefragung, die in der ersten Projektphase im Sommer 2020 durchgeführt wurde, sowie ein ebenfalls seit 2020 bestehender nationaler Qualifikationsrahmen für Berufe der Metallverarbeitung, der durch das örtliche Thailand Professional Qualification Institute (TPQI) entwickelt wurde. In drei unterschiedlichen Kompetenzbereichen (bei-



Wir produzieren Zukunft

Das Fraunhofer IPA entwickelt und implementiert nachhaltige Produktionstechnologien. Die Abteilung Galvanotechnik forscht und berät zu Fragestellungen entlang der gesamten industriellen Produktionskette – von der Entwicklung neuer Schichtwerkstoffe und den dazugehörigen Prozessketten über die Umsetzung der industriellen Anlagentechnik bis hin zu Dienstleistungen wie der Schadensfallanalyse.

In dieser Serie zeigen Forscher der Abteilung, wie den Herausforderungen der Branche in Zukunft begegnet werden kann.

Ansprechpartner

Dr.-Ing. Martin Metzner

Abteilungsleiter Galvanotechnik,

Fraunhofer IPA, Stuttgart

www.ipa.fraunhofer.de/galvanotechnik



Das Projektteam und die Teilnehmenden nach Abschluss des zweiten Pilotkurses *Failure Analysis*, 26. Oktober 2022 (Bild: MMRI)

spielsweise dem Electroplating Practitioner) und verschiedenen Niveaustufen wird hierin festgelegt, welches Wissen Beschäftigte mitzubringen haben, um dem Standard zu entsprechen.

Um nicht nur das Wissen der aktuell wie zukünftig Beschäftigten anzureichern, sondern auch ihre Handlungskompetenz und ihre Fertigkeiten zu stärken, wurden verschiedene Kursformate im Projektkontext entwickelt und übergreifende Kompetenzfelder in die Kursstruktur der SCHOOLPLATE Academy eingefügt, die (noch) nicht in dem vorhandenen TPQI-Standard abgebildet sind. So ist im Projektverbund ein 40 Maßnahmen umfassendes Kurssystem entstanden, welches in Zukunft in thailändischer Verantwortung

weitergetragen wird. Das Fraunhofer IPA wird hierbei nach Projektabschluss beratend zur Verfügung stehen.

Das Ziel: Ein regelmäßiges und stetiges Kursangebot

Im Lauf des Jahres sollen von thailändischer Seite nun Schritt für Schritt weitere Maßnahmen, zum Beispiel ein grundlegender Kurs zu *Electrochemistry*, umgesetzt und die Aktivitäten rund um die SCHOOLPLATE Academy verstetigt werden. Das langfristige Ziel ist ein regelmäßiges und stetiges Angebot verschiedener Kurse im Jahresverlauf, so dass es den Teilnehmenden möglich ist, sich nach entsprechenden Kursbesuchen für einen bestimmten Kompetenzbereich und der dazu passenden Niveaustufe auch zertifizieren zu lassen. Dies wiederum ermöglicht auf lange Sicht sowohl für die einzelnen Mitarbeitenden wie auch für die Betriebe eine gewisse Transparenz darüber, was an fachlichem Know-how und an Fertigkeiten im Betrieb vorhanden ist.

Von deutscher Seite wurde im Projektverlauf zur Sicherstellung dieses Vorhabens neben der übergeordneten Struktur, dem Kursaufbau und inhaltlichen Leitfäden auch intensiv an der Ausbildung der thailändischen Academy-Lehrkräfte gearbeitet. So fanden zuletzt im März 2023 zwei Workshops zum Thema *Train-the-Trainer* statt. Aufgrund der Projektverlängerung ist es nun zudem möglich, die Verstetigung der bisherigen Aktivitäten noch ein Stück weit zu begleiten und weiter zu forcieren.

Basiskurs an Bedürfnisse des Eastern Economic Corridor angepasst

In Bezug auf eine grundlegende Erstausbildung war das Vorhaben dagegen zusätzlichen Hürden aufgrund der stark bürokratisierten und hierarchischen Strukturen in Thailands Bildungslandschaft unterworfen. Zum Erscheinen dieses Artikels konnte hierzu zunächst eine sogenannte Insellösung realisiert werden. Die in Thailand stark im Fokus stehende Region des Eastern Economic Corridor (EEC) erwies sich diesbezüglich als starke Partnerin. Gemeinsam mit Betrieben des lokalen Galvanikverbandes TEPNET wurde eine speziell an die Bedürfnisse des EEC angepasste Pilotierung des Basiskurses umgesetzt, mit dessen Hilfe sowohl Lehrkräfte als auch Schülerinnen und Schüler angesprochen werden können. Die weitere Entwicklung im Rahmen der Erstausbildung liegt nun hauptsächlich in der Hand der thailändischen Seite.

Literatur

- [1] Dominique-Navina Pantke, Klaus Schmid: Internationales Kooperationsprojekt zur Berufsbildung in der Galvanotechnik; WOMag 6/2020; https://www.wotech-technical-media.de/womag/ausgabe/2020/06/20_ipa_rubrik_06j2020/20_ipa_rubrik_06j2020.php
- [2] Dominique-Navina Pantke: SCHOOLPLATE II – Deutsch-thailändisches Kooperationsprojekt zur Berufsbildung geht in die zweite Runde; WOMag 6/2021; https://www.wotech-technical-media.de/womag/ausgabe/2021/06/22_ipa_rubrik_06j2021/22_ipa_rubrik_06j2021.php

INVESTIEREN SIE IN DIE UMWELT



...UND IN IHRE ZUKUNFT!



NACHHALTIG



NETZSCHONEND



EFFIZIENT

MUNK
WE HAVE THE POWER!

≡ Oberflächenreinigung mit Plasma- und CO₂-Schneestrahilverfahren

Gut benetzend ist nicht immer sauber!



Zum online-Artikel

Von Volker Bucher¹, Wolfram Kintzel¹, Marvin Schmid¹, Nicolai Simon¹, Maryam Zehtaban² und Günther Schmauz²

Nur mit einer ausreichenden Vorbehandlung – insbesondere einer Vorreinigung zur Entfernung von unterschiedlichen Arten an Schmutz oder störenden Stoffen – ist es möglich, die gewünschte Funktion oberflächenbehandelter Bauteile zu erzielen. Wichtig ist hierbei, die Volumeneigenschaften nur minimal oder nicht zu ändern. Verunreinigungen gelangen unvermeidlich auf Oberflächen, da diese im Fertigungsablauf in der Regel Kontakt mit Hilfsstoffen wie Schneidöle/-emulsionen, Tiefziehfette, Wachse oder Polierpasten haben. Eine ausreichende Oberflächenqualität erfordert daher die korrekte Auswahl des Reinigungsverfahrens ebenso wie der Messmethode zur Prüfung der Oberflächenreinheit. Ein Vergleich der beiden Verfahren Plasmareinigung und CO₂-Schneestrahlsreinigung zeigt, wie gut unterschiedliche Verschmutzungen entfernt werden können und welche Messmethode für diese Verfahren zur Prüfung der Oberflächenqualität geeignet sind. In einigen Fällen empfiehlt sich darüber hinaus die Kombination der beiden Verfahren im Hinblick auf die Reinigungsqualität.

1 Einleitung

Für die mechanische Bearbeitung von Metallen zur Herstellung von Produkten werden unterschiedliche Hilfsstoffe auf Basis von wasserlöslichen (wässrigen Kühlemlösungen) oder wasserunlöslichen (Zieh fett) Verbindungen eingesetzt. Diese verbleiben nach der Bearbeitung als mehr oder weniger dicker Film auf der Oberfläche. Des Weiteren unterliegen Metalle Oxidationsvorgängen (zum Beispiel bekannt als Rost auf Eisenwerkstoffen), die je nach Art des Metalls einen porösen oder auch dichten Deckfilm bilden.

Für zahlreiche Bearbeitungsschritte ist es daher sinnvoll oder auch unbedingt erforderlich, die Metalloberfläche von diesen Deckschichten unterschiedlicher Zusammensetzung zu befreien. Bei wasserlöslichen Stoffen genügt zum Teil ein schwach konzentriertes wässriges Reinigungsmittel, während bei wasserunlöslichen Fetten mit organischen Reinigungsmitteln zum Beispiel in geschlossenen Reinigungsanlagen gearbeitet werden muss. Die Reinigungswirkung wird durch den Einsatz von Wärme oder Ultraschall deutlich unterstützt. Für das Entfernen von oxidischen Oberflächen werden Säuren oder Laugen eingesetzt. Während das Entfernen von organischen Deckschichten in der Fertigungspraxis als Reinigen oder Entfetten bekannt ist, wird das Entfernen von Oxidschichten nicht als Reinigen sondern als Beizen be-

zeichnet. In allen Fällen entsteht bei einer korrekten Reinigung eine metallische, glatte Oberfläche.

Werden Werkstücke aus Metall nach der Formgebung beschichtet, so wirken Öle und Fette als Trennmittel zwischen Grundmaterial und Beschichtung, so dass auch hierfür das Entfernen dieser Stoffe unumgänglich ist, damit haftfeste Beschichtungen hergestellt werden können. Für die Entfettung eignen sich prinzipiell flüssige, organische Verbindungen, sogenannte Lösemittel [1].

Auch auf Polymeren sind oft noch Hilfsstoffe, wie zum Beispiel Entformungsmittel, vorhanden, die vor einer Beschichtung abgereinigt werden müssen. Auf Glasoberflächen bildet sich immer eine dünne Wasserhaut, die vor manchen Prozessen über Temperaturbehandlung oder nasschemische Reinigungsmethoden abgelöst werden muss.

Bei Metallen hat sich hier auch teilweise die Laserreinigung etabliert. Das von der Clean Lasersysteme GmbH entwickelte Laserverfahren entfernt Schmutz- und Deckschichten rückstandsfrei nur durch gebündeltes Licht. Hierbei werden laut Hersteller keine Chemikalien (wie beim Waschen bzw. Beizen) oder andere Medien (wie beim Eis-, Pellet- oder Sandstrahlen) benötigt. Die in geringen Mengen anfallenden Partikel lassen sich nach dem Laserabtrag unmittelbar absaugen und sortenrein entsorgen [2].

Allgemein muss hier festgehalten werden, dass die oben genannten Reinigungsmethoden in der Regel nicht dazu geeignet sind, eine atomar saubere Oberfläche zu generieren. Bei vielen Beschichtungs- oder Fügeprozessen muss nach einer wässrigen oder Lösemittelreinigung mit geeigneten weiteren Reinigungsmethoden nachgereinigt werden. Doch nicht nur als Vorbehandlung vor dem Verkleben und Lackieren werden Reinigungsmethoden benötigt. Auch bei Schweißprozessen von Akkukontakten im Bereich der Elektromobilität müssen die Oberflächen vorher praktisch atomar sauber gereinigt werden. Ein weiteres Beispiel sind optische Oberflächen im Rahmen der Lithographieprozesse in der Halbleiter-Welt. Bei den heutzutage erreichbaren Strukturen im Bereich von 7 nm müssen die optischen Elemente 100 % frei von Verschmutzungen sein.

Seit einigen Jahren kommt bei der Reinigung die Plasmabehandlung zum Einsatz. Wie im Folgenden noch erläutert wird, sind damit aber wirtschaftlich nur sehr dünne Schichten im Bereich weniger Atome zu entfernen.

Die Reinigung mit Kohlenstoffdioxid (CO₂), als CO₂-Pelletsreinigung bekannt, ist seit längerem in größerem Umfang in der Industrie im Einsatz. Dieses Verfahren ist deutlich schonender als Sandstrahlen, aber für manche Oberflächen immer noch mechanisch zu stark und mit Oberflächenänderungen verbunden. Eine Möglichkeit, dickere filmische Verunreinigungen auf empfindlichen Oberflächen zu reinigen, ist der Einsatz der CO₂-Schneestrahlsreinigung. Hier kommen anstelt-

¹ Hochschule Furtwangen, Institut für Mikrosystemtechnik (iMST) / Forschungszentrum Rottweil, Neckartal 142, D-78628 Rottweil

² acp systems AG, Berblingerstraße 8, D-71254 Ditzingen

le von Pellets Schneekristalle im Mikrometerbereich zur Anwendung.

Laut Aussage von Fachleuten setzen 95 % der Anwender die Reinigungswirkung von Plasmareinigung und CO₂-Schneestrahlsreinigung gleich. Vielfach wird versucht, die Sauberkeit mit der Randwinkelmethode nachzuweisen. Der Randwinkel bei Benetzung mit Flüssigkeiten wie zum Beispiel Wasser sagt aber prinzipiell nichts über die Sauberkeit aus. Eine optisch saubere Oberfläche mit hoher Oberflächenenergie, die zum Beispiel durch einen kleinen Randwinkel bei der Benetzung mit Wasser nachgewiesen werden könnte, kann immer noch eine sehr dünne filmische Verschmutzung aufweisen. Die gute Benetzung kann dadurch erklärt werden, dass durch eine Plasmabehandlung die letzten wenigen Nanometer der Verschmutzung funktionalisiert worden sind. In diesem Fall hätte man also nicht alle organischen Bestandteile entfernt, sondern nur deren Benetzbarkeit verbessert (siehe *Abschnitt 4*). Ziel einer mit diesem Beitrag vorgestellten Studie ist es, die Potenziale der Plasmareinigung und der CO₂-Schneestrahlsreinigung jeweils alleine oder in Kombination zur Abreinigung von verschiedenen filmischen Verschmutzungen auf verschiedenen Oberflächen zu untersuchen.

2 Plasmatechnik

2.1 Grundlagen

Plasma wird oft als vierter Aggregatzustand bezeichnet, der durch Erhitzen von Gas bei extrem hohen Temperaturen entsteht, der unter normalen Bedingungen auf der Erdoberfläche nicht existiert. Deshalb wurde bei der Untersuchung einer elektrischen Entladung von Irving Langmuir in den 1920er-Jahren zum ersten Mal der Begriff Plasma

verwendet. Plasmen sind insbesondere in der Mikroelektronik und der Chipfertigung eine Schlüsseltechnologie geworden und werden in großem Umfang zur Reinigung, Abscheidung, Implantation und Ätzung eingesetzt. Der Vorteil von Plasmareaktoren liegt darin, dass sie chemisch reaktive Spezies und Ionen erzeugen können und in der Lage sind, diese in der Nähe des Substrats zu entladen, wodurch Vorgänge wie Ätzung oder Abscheidung ausgelöst werden. Plasma ist ein quasi-neutrales Gas, bestehend aus positiv und negativ geladenen Ionen, die sich in elektrischen Feldern gesteuert bewegen, sowie neutralen Spezies, die sich in zufälligen Richtungen bewegen.

Feste Materie geht mit steigender Temperatur durch Aufbrechen der kristallinen Bindungen in den flüssigen Zustand über (z. B. bei der Umwandlung von Eis zu Wasser). Bei weiteren Temperaturerhöhungen geht flüssige Materie in den gasförmigen Zustand über (z. B. Wasser wird zu Wasserdampf). Die Moleküle im Gas zerfallen bei ausreichend hohen Temperaturen in Atome. Ein Plasma bildet sich, wenn diese gasförmige Materie auf eine Temperatur erhitzt wird, die ausreicht, um mindestens ein Elektron (Ionisierungsenergie) in den äußersten Schalen der Atome abzustreifen. Dieser Vorgang wird allgemein als Ionisation bezeichnet [3]. Dies ist eindrucksvoll beim Gewitterblitz zu sehen.

Die Mischung von frei beweglichen geladenen Teilchen, die durch die Ionisation entstanden sind, ist im Durchschnitt innerhalb des Plasmas elektrisch neutral. Technisch können also Plasmen durch starkes Aufheizen von Gasen oder durch Verbrennen von brennbaren Gasmischungen erzeugt werden. Das einfachste Beispiel aus dem Alltag ist die Kerzenflamme.

Gase und Dämpfe können aber auch sehr einfach durch Anlegen von elektrischen Wechselfeldern teilweise ionisiert und damit in ein Plasma überführt werden. Ionisierte Atome und Moleküle werden aber auch durch die Strahlung aus dem Kosmos erzeugt, treten also laufend in unserer Umgebung auf. Wenn nun ein äußeres elektrisches Feld angelegt wird, werden die sehr leichten freien Elektronen auf kurzer Distanz zu hohen Geschwindigkeiten beschleunigt und können dabei aus anderen Atomen weitere Elektronen heraus schlagen. Dieser Lawineneffekt sorgt dafür, dass das Plasma zündet. Wenn die Geschwindigkeit der Elektronen nicht ganz zum Ionisieren ausreicht, werden Elektronen eines Atoms auf höhere Niveaus im Atom gebracht. Von dort wechseln sie sehr schnell auf ihren Grundzustand zurück und dabei wird Licht definierter Wellenlänge ausgesendet. Thermische Plasmen werden oft als *heiße* Plasmen oder Gleichgewichtsplasmen bezeichnet. In einem Gleichgewichtsplasma ist die Elektronentemperatur (Energieäquivalent, eV) gleich der thermodynamischen Temperatur der schweren Ionen und neutralen Spezies ($T_e \gg T_{ion}$). Typische Beispiele für stark ionisierte thermische Plasmen sind aus Geräten beziehungsweise Zuständen wie Plasmabrenner, Fusionsplasma, Plasmaspray und Bogenentladung bekannt.

Nichtthermische Plasmen, die als *kalte* Plasmen oder Niederdruckplasmen bezeichnet werden, haben Temperaturen im Bereich der Raumtemperatur. Aufgrund der geringen Dichte des Gases sind Zusammenstöße mit den anderen Spezies relativ selten und ein thermisches Gleichgewicht wird nicht erreicht. In diesen nicht-thermischen Plasmen befinden sich die Ionen und Neutralteilchen bei einer viel niedrigeren Temperatur, während die



advanced
clean production
acp-systems.com

acp

Mit Schneestrahlsreinigung zur perfekten Oberfläche

trocken und chemikalienfrei mit



quattroClean
technology

Technologieführer für advanced clean production
www.acp-systems.com · info@acp-systems.com

OBERFLÄCHEN

Elektronen deutlich *heißer* sind ($T_e \gg T_{ion}$). Die freien Elektronen können große Distanzen zurücklegen, ohne Stöße zu erleiden. Aufgrund ihrer geringen Masse erreichen sie schnell hohe Energien, die äquivalent zu Temperaturen von einigen 10 000 K sind.

Kalte Plasmen können am einfachsten im Vakuum erzeugt werden. Beispiele für Nicht-Gleichgewichts-Plasmen sind Niederdruck-RF-Plasmen (Radiofrequenz) oder Atmosphärendruck-Hochspannungs-Pulsplasmen. Letzteres kann dadurch erreicht werden, dass die Gase mit hoher Geschwindigkeit aus einer Düse herausströmen und der Bernoullieffekt für eine Absenkung des statischen Drucks sorgt. Weiter können einem bestehenden Plasma andere Gase zugemischt werden, was auch zu einer Abkühlung führt. Die Temperaturen sind in der Regel aber nicht so tief (höher als Zimmertemperatur) wie bei Vakuumplasma. Allerdings ist diese Technologie deutlich einfacher zu handhaben. Es sind keine Vakuumpumpen notwendig. Die Plasmadüsen können mit Robotern über beliebige Geometrie hinweg geführt werden. Die Geschwindigkeit der Relativbewegung zum Substrat bestimmt das Aufheizen des zu behandelnden Werkstücks. Damit sind Atmosphärenplasmen prinzipiell auch zur Behandlung von Polymeren geeignet.

2.2 Erzeugung eines Atmosphärendruckplasmas

Atmosphärendruckplasmen benötigen im Gegensatz zum Niederdruckplasma oder dem Hochdruckplasma kein Reaktionsgefäß, das für die Aufrechterhaltung eines zum Atmosphärendruck unterschiedlichen Druckniveaus oder abweichender Gasatmosphären sorgt. Aus physikalischen Gründen (Paschen-Gleichung) kann der Elektrodenabstand bei Atmosphärendruck nicht mehr als einige Millimeter bis wenige Zentimeter betragen, damit das Plasma mit sinnvollen elektrischen Spannungen zünden kann.

Ausgedehnte Plasmaquellen bestehen aus vielen eng nebeneinander angeordneten Elektroden. Ein typisches Merkmal von atmosphärischen Entladungen bei hohen Spannungen zwischen Elektroden mit einem Abstand von mehr als einigen Millimetern ist die Bildung von lokalen Lichtbogenfäden (auch Streamer genannt). Die Streamer machen das Plasma stark ungleichmäßig und sind für Oberflächenbehandlungen nicht erwünscht, da heiße Streamerbögen die Oberflächen beschädigen können, insbesondere bei weichen Materialien wie Polymeren.

Es gibt mehrere Möglichkeiten, um Streamer zu vermeiden und die Entladung zu stabilisieren [5]. Viele kalte atmosphärische Plasmaquellen basieren auf Koronaentladungen und Entladungen mit dielektrischen Barrieren (Corona and Dielectric Barrier Discharges: DBD). Eine dielektrische Barriere an einer oder beiden Elektroden kann, in Kombination mit Hochfrequenz, Streamer verhindern. Die Lichtbögen brennen nur sehr kurze Zeit, die nicht für einen thermischen Ausgleich zwischen den Spezies ausreicht. Es gibt eine große Anzahl von verschiedenen Designs, Konstruktionen, Elektrodenformen und dielektrischen Barrieren, die in DBD-Quellen für unterschiedliche Anwendungen verwendet werden [4–6].

Weiter haben sich in der industriellen Anwendung die Jetsysteme durchgesetzt. Der Plasmajet besteht aus einer Elektrode, die von einem zylindrischen Gehäuse umgeben ist. An der Innenwand des Gehäuses ist im oberen Bereich ein Isolator angebracht, so dass sich die Entladung nur zwischen der Elektrode und dem unteren Bereich ausbilden kann. Das Plasma wird mit dem Arbeitsgas, das vom oberen Einlass nach unten strömt, mitgetragen. Um zu verhindern, dass die Entladung immer an der gleichen Stelle des Gehäuses ansetzt, befindet sich im oberen Bereich ein Gitter, durch das der Gasfluss verwirbelt wird. Am unteren Ende des Jets können verschiedene Düsenköpfe angebracht werden. Der Plasmajet erzeugt im Inneren eine gepulste Atmosphärendruckentladung. Der sichtbare Effluent ist kein Plasma, sondern besteht aus dem sogenannten Afterglow. In ihm ist die Ladungsträgerdichte deutlich kleiner und die Leuchterscheinung wird hauptsächlich durch metastabile Teilchen hervorgerufen.

Durch den hohen Leistungsumsatz kann der Jet zur Bearbeitung von großen Flächen eingesetzt werden. Allerdings muss dadurch bei temperaturempfindlichen Materialien auf die Zerstörungsschwellen geachtet werden.

2.3 Plasmaaktivierung

Eine Plasmainteraktion mit organischen Materialien kann zur Vernetzung oder Aufspaltung von oberflächennahen Bindungen und damit zur Entstehung funktioneller Gruppen führen. Solche polaren Gruppen können das Benetzungsverhalten der Oberflächen erhöhen, wodurch zum Beispiel die Haftung von Klebstoffen oder nachfolgenden Beschichtungen verbessert werden kann. Beispielsweise führt der Einsatz von lufthaltigen At-

mosphären oder Prozessgasen primär zur Ausbildung von Sauerstoff- aber auch Stickstofffunktionalitäten. Durch den enthaltenen Sauerstoff findet natürlich auch eine Oxidation, also eine kalte Verbrennung von organischen Stoffen, bei moderaten Temperaturen statt. Dies bedeutet, dass bei organischen Oberflächen bei Plasmaaktivierung immer auch Moleküle abgetragen werden. Somit wird klar, dass Plasmaaktivierung in geringem Maße auch eine Plasmareinigung darstellt. Die Abnahme der Oberfläche des bearbeitenden Materials bewegt sich im Bereich von einigen wenigen Nanometern pro Minute.

2.4 Plasmareinigung

Wie oben ausgeführt, kann Plasma auch zur Abreinigung von dünnen Belägen an Verschmutzungen eingesetzt werden. Mit der Plasmareinigung können alle Arten an unerwünschten Verunreinigungen von der Oberfläche des Materials entfernt werden. Dies geschieht mit den reaktiven Radikalen und Ionen im Plasma. Plasmen werden in zahlreichen Industriebereichen eingesetzt, die von Halbleitern, Polymeren, Biomaterialien bis hin zu Automobilkomponenten reichen.

Im Idealfall sollte eine saubere Oberfläche vor einer Beschichtung keine nennenswerten Mengen an unerwünschten Materialien enthalten. Das Plasmareinigen ist eine häufiger eingesetzte Methode zur Reinigung der Oberfläche vor der Abscheidung von Dünnschichten. Bei Polymeren wird zur Verbesserung der Haftung auf Metalloberflächen die Polymeroberfläche mit Plasma gereinigt, um Kohlenwasserstoffe, Wasser und organische Stoffe zu entfernen.

Die Vorteile der Plasmareinigung im Hinblick auf Materialoberflächenmodifikationen sind:

Lesen Sie weiter unter womag-online.de

WOMag-online-Abonnenten steht der gesamte Beitrag zum Download zur Verfügung. Die weiteren Abschnitte des ersten Teils des Aufsatzes sind:

- Grundlagen zur Reinigung mit CO_2
- Reinigung wissenschaftlich betrachtet
- Messung von Sauberkeit
- EDX/EDS
- Randwinkel-Messmethode
- Fluoreszenzmessung

Der Gesamtumfang des Beitrags beträgt etwa 5,5 Seiten mit 3 Abbildungen und 13 Literaturhinweisen.

≡ Vorausschauende Wartung, technische Infrastruktur und Schnittstellen zu betrieblichen Systemen und zur Mitarbeiterführung – Anwendung in der Praxis

Von Frank Benner, Dipl.-Ing. (FH) Norbert Kaufmann, Dipl.-Ing (FH) Edgar Kaufmann, Fabian Herbst und Sigrid Frey

Die Digitalisierung verschafft einem Unternehmen Vorteile, wenn daraus vor allem Arbeitserleichterungen für die betroffenen Mitarbeiter sowie eine höhere Effizienz bei der Nutzung von Energie und Rohstoffe erreicht wird. Dazu ist es notwendig, einen Produktionsbetrieb umfangreich mit geeigneten Sensoren auszustatten und die gewonnenen Daten sinnvoll zu analysieren und zu nutzen. Am Beispiel der vorausschauenden Wartung wird ein erfolgreicher Lösungsweg aufgezeigt.

1 Einordnung im Gesamtprojekt

Sieben Unternehmen und Forschungsinstitute haben sich im Projekt *SmARtPlaS* (*Smart Augmented Reality Plating Services*) gemeinsam der Herausforderung gestellt, das Konzept *Industrie 4.0* in der Galvanotechnik umzusetzen und innovative Methoden für die vorausschauende Wartung und effiziente Anlagenbedienung zu erarbeiten. Hierin enthalten war das Teilprojekt vorausschauende Wartung, technische Infrastruktur und Schnittstellen zu betrieblichen Systemen sowie Mitarbeiterführung. Die B+T Unternehmensgruppe in Hüttenberg stellte die industrielle Entwicklungsumgebung sowie die notwendigen, umfangreichen Prozessdaten bereit. Im Nachgang wurde das entwickelte Konzept einschließlich Aufbau eines vollständigen digitalen Anlagenzwillings in der Produktion (Abb. 1) an den Standorten Wetzlar und Hüttenberg umgesetzt.

2 Ausgangslage

In produzierenden Industriebetrieben und insbesondere in Galvanikbetrieben sind Maschinen und Anlagen im Dreischichtbetrieb 24/7 ausgelastet. Eine hohe Anlagenverfügbarkeit und Mitarbeiter, die gezielt ihre Aufgaben erfüllen, sind die Schlüssel für eine wirtschaftliche Produktion. Angesichts von steigenden Energiekosten, Rohstoffpreisen, Lieferkettengesetz, immer strengeren Umweltverordnungen und dem Fachkräftemangel ist der effektive und effiziente Umgang mit sämtlichen Ressourcen dringend geboten. Im Gegensatz zur B+T Oberflächentechnik weisen die meisten kleinen und mittelständischen Betriebe in der Branche einen geringen Digitalisierungsgrad in ihrem Produktionsprozess auf. Aktuell werden die analogen Material- und Warenflüsse noch überwie-

gend analog begleitet und dokumentiert. Auf dem Weg zur stärkeren Digitalisierung gilt es, sämtliche Prozesse digital abzubilden, transparent zu machen und zu verfolgen, sodass Informationen für Entscheidungen zur Optimierung zeitnah gewonnen werden können, ohne die beteiligten Akteure dabei aus dem Blick zu verlieren: die Menschen.

Im Rahmen des *SmARtPlaS*-Projekts wurde eine Mitarbeiterumfrage in der Produktion von B+T durchgeführt. Zu den befragten Personen gehörten 55 Mitarbeiter, davon ein großer Teil langjährig Beschäftigter, aber auch einige Personen mit einer Betriebszugehörigkeit von weniger als einem Jahr. Die Befragung umfasste Fragen in den Themenbereichen emotionale Erschöpfung, Monotonie, psychische Ermüdung sowie psychische Sättigung und Stress.

Das Ergebnis: Als höchste psychische Belastung wurden fehlende Informationen bezüglich der aktuellen Aufgabenstellung und dem zugehörigen Arbeitsumfeld sowie der Komplexität genannt. Funktionierende unterstützende IT-Systeme werden durch den Mitarbeiter als nutzbringende Hilfestellung bei der Ausübung der Tätigkeiten und der Entscheidungsfindung angesehen.

Das zu erarbeiten, war Hauptziel im Projekt: Den Mitarbeitern die richtigen Informationen im benötigten Umfang zur rechten Zeit am richtigen Ort zur Verfügung zu stellen – und das zielgruppenkonform.

3 Datenerfassung, Datenaufbereitung, Datenvisualisierung

B+T hat bereits vor Jahren begonnen, über Messaufnehmer Daten an kritischen Schnittstellen für die Überwachung von Verbräuchen zu erfassen und zu speichern. Die positiven Effekte waren Anlass, nach und nach



Abb. 1: Digitaler Zwilling einer Prozessanlage mit virtuellem Mitarbeiter

(© B+T Oberflächentechnik GmbH)

sämtliche Anlagen, inklusive der Peripherie, mit Messaufnehmern auszustatten und zu vernetzen. Dabei müssen Daten aus verschiedenen Anwendungen beziehungsweise Anlagensteuerungen und technischen Gebäudeausrüstungen verschiedener Hersteller zusammengeführt werden. Mittels SQL-Abfragen (engl.: SQL – Structured Query Language, strukturierte Abfragesprache) werden die Rohdaten in definierten Intervallen aus den verschiedenen Datenbanken extrahiert, im nächsten Schritt durch zusätzliche Software aufbereitet, um dann im Nachgang in smart visualisierter Form dem jeweiligen Personenkreis zur Verfügung gestellt zu werden (Abb. 2).

Die Aufbereitung der Daten erfolgt über eine spezielle Report-Software, die über einen gesonderten Report-Server die Berichte in konfigurierten Abständen (täglich, wöchentlich oder monatlich) erstellt und wahlweise per Mail an den definierten Personenkreis versendet oder aber auf Monitoren darstellt.

4 Umsetzung des Konzepts vorausschauende Wartung bei B+T

In der Praxis hat B+T folgende automatisierte Informationsflüsse im Rahmen des Projekts etabliert, die aus dem täglichen Arbeitsprozess (bei B+T) nicht mehr wegzudenken sind:

OBERFLÄCHEN

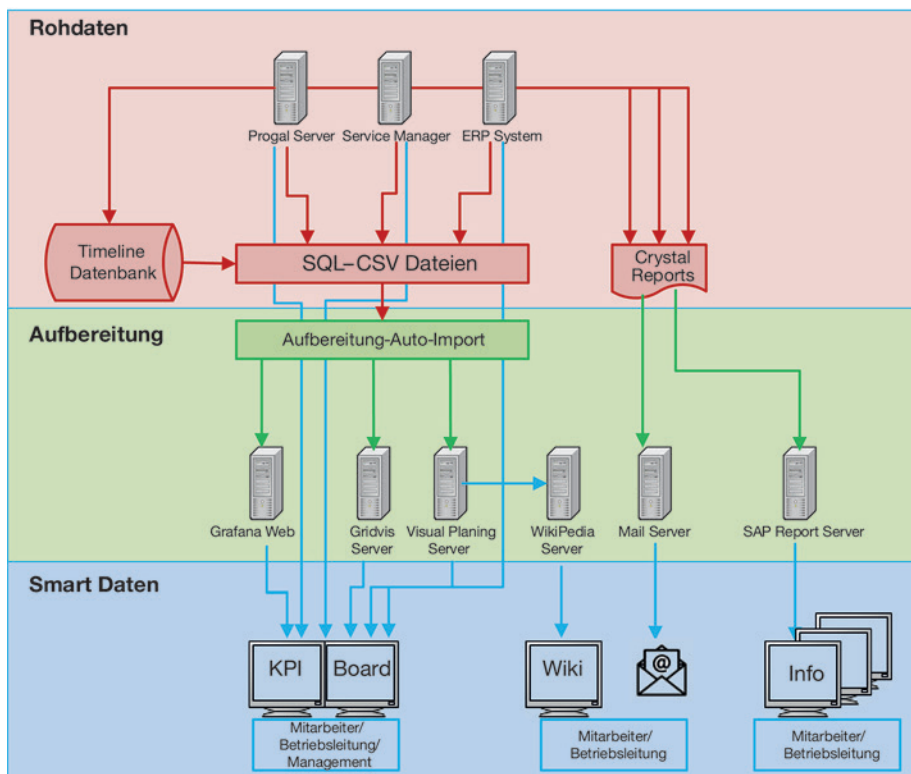


Abb. 2: Rohdaten aus verschiedenen Anwendungen unterschiedlicher Hersteller (roter Bereich) werden aufbereitet (grüner Bereich) und für die Informationsaufnahme auf verschiedenen Endgeräten visualisiert
(© B+T Oberflächentechnik GmbH)

- Den Mitarbeitern in der Fertigung werden auf den Werksmonitoren neben Produktionsplanungslisten, Alarmen, Checklisten, Anlagenstatus und anstehenden Wartungsaufträgen auch die Ausbringungsmengen angezeigt, in Form von Listen oder Charts.
- Die Betriebsleitung ist an weitergehenden Kennzahlen interessiert, wie zum Beispiel Auftragsplanung, Produktivität, Stillstandszeiten, Energie-, Material- und sonstige Verbräuche. Diese können als Webanwendung an jedem PC im Betrieb – natürlich nur mit dem individuellen Passwort zugänglich – eingesehen und bearbeitet werden. Die Darstellung auf Dashboards ist individuell konfigurierbar, der Informationsgehalt übersichtlich und schnell zu erfassen.
- Das Management erhält im automatisierten täglichen (oder sonstigen periodischen) Reporting eine Zusammenfassung aller relevanten Kennzahlen per E-Mail grafisch aufbereitet. In der betriebseigenen Kollaborationssoftware werden die Daten auch für das Qualitätsmanagement festgehalten und dokumentiert.
- Im frei zugänglichen Info-Center können sich alle Mitarbeiter jederzeit einen Überblick über weitere KPI (engl.: KPI – Key Performance Indicators, Leistungskennzahlen) verschaffen (Abb. 3). Diese werden außer-

dem regelmäßig abteilungsübergreifend gesichtet und bewertet.

- Schlussendlich kann der Kunde in Web-interfaces Informationen, die für ihn von Interesse sind, wie zum Beispiel den Status seines Auftrags, direkt und selbstständig in Erfahrung bringen oder auch Lieferscheine

von bereits abgeschlossenen Aufträgen digital abrufen. Dafür benötigt er lediglich die Zugangsdaten und die entsprechende Berechtigung.

Als ein wichtiges Instrument in diesem Prozess hat sich das Monitoring von Energie beziehungsweise Energieverbräuchen herausgestellt. Speziell beim Stromverbrauch der Vielzahl an eingesetzten sogenannten Querschnittstechnologien, wie Motoren, Pumpen, Ventilatoren, Drucklufterzeugern, Wärmeübertragern bei der Abwärmenutzung, sind enorme Einsparpotenziale vorhanden – denn wo Prozesse laufen, lässt sich Strom sparen. Die aufgezeichneten Daten sind nicht nur für die Dokumentation oder historische Betrachtung von höchstem Nutzen, sondern auch für das vorausschauende Energiemanagement mittlerweile unverzichtbar. Mithilfe der gewonnenen Erkenntnisse über Verbräuche in Relation zur beschichteten Oberfläche, lässt sich vorausschauend bei der Auftragsplanung der Energieeinsatz recht genau einschätzen und bewusster einplanen (Abb. 4). Damit lassen sich Stromspitzen vermeiden, die Versorgungssicherheit wird gewährleistet; denkbar ist auch eine Reduktion der Netzanschlussleistung. Bevor es zu einem erhöhten Verbrauch kommt, können Alarmgrenzen eingerichtet werden, die helfen, Ausfälle oder Mehrkosten zu vermeiden.

Ein weiteres Mittel für den Ad-hoc-Gewinn von Informationen, sind die eingerichteten Augmented-Reality-Dienste. Um Live-Daten des Beschichtungsprozesses angezeigt zu

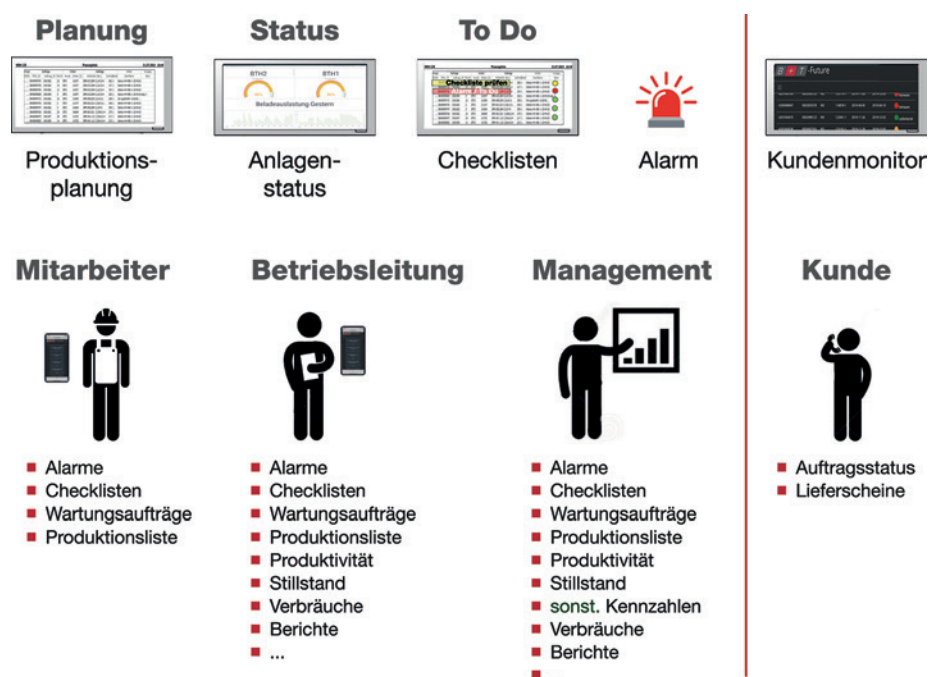


Abb. 3: Die Menge und Komplexität der Informationen wird zielgruppenkonform aufbereitet und visualisiert
(© B+T Oberflächentechnik GmbH)



Abb. 4: Auftragsplanung (li.) abgestimmt auf den Energieverbrauch (re.)

(© B+T Oberflächentechnik GmbH)

bekommen, muss ein an der Anlage angebrachter Ankerpunkt mit dem mobilen Gerät abgescannt werden. Daraufhin wird die reale Umgebung auf dem Bildschirm um weitere Informationen digital ergänzt (Abb. 5). Die installierten PCs am Anfang und am Ende der Beschichtungsanlage mit großem Monitor werden nicht nur dafür genutzt, sich einen Überblick über sämtliche Vorgänge und relevanten Werte zu verschaffen, sondern auch zur Steuerung.

Das Prinzip der Augmented-Reality-Dienste kann auch auf andere Anwendungsfälle im betrieblichen Prozess übertragen und angewendet werden. Außerdem besteht die Möglichkeit, bei einem virtuellen Rundgang mit der VR-Brille die jeweiligen Live-Daten in der virtualisierten Umgebung einzusehen.

5 Wissenstransfer und Zukunftsaussichten

Das im Projekt initiierte Monitoring des Stromverbrauchs wurde zwischenzeitlich bei B+T in Rechtenbach um die Erfassung der Verbräuche von Gas und Wasser erweitert und ins turnusmäßige Reporting aufgenommen. Darüber hinaus erfolgte der Transfer des Konzepts von den Beschichtungsanlagen auch auf andere Produktionsbereiche und Medien, wie Wärmebehandlung, Härteofen oder die Sortierung. Die Erfassung, Aufbereitung und Bereitstellung der Produktionsdaten gekoppelt mit den Energieverbrauchsdaten hat



Abb. 5: Augmented Reality: Nach Scannen des Ankerpunkts an der Anlage werden Live-Werte auf der mobilen Anwendung eingeblendet
(© B+T Oberflächentechnik GmbH)

bereits erste Energieeinsparpotentiale in Teilbereichen der Fertigung aufgezeigt. Um jedoch den Anforderungen des Lieferkettengesetzes gerecht zu werden oder auch vermehrten Kundenanfragen nach differenzierten Energieverbräuchen und der Bezifferung des CO₂-Fußabdrucks auf Artekelebene nachzukommen, gibt es noch einiges zu tun. Daher ist geplant, weitere Daten zu erheben, wie zum Beispiel den Einsatz von Chemikalien, die aktuell in der Ökobilanz noch eine echte Blackbox sind. Zu der enormen Menge an bereits erfassten Daten, kommt nun noch eine Vielzahl weiterer hinzu, deren Handling und Verarbeitung die vorhandenen Kapazitäten aktuell übersteigt. Mittel- bis langfristig sollen selbstlernende Systeme für die Dar-

stellung der Augmented-Reality in der Produktion integriert werden und auch Algorithmen entwickelt werden. Dafür muss zunächst die passende Infrastruktur aufgebaut oder gefunden werden.

6 Fazit zum Förderprojekt

Auch wenn im Verlauf des Projekts die Treffen Corona-bedingt meistens nicht wie geplant stattfinden konnten, so lässt sich doch festhalten, dass die Kooperation unter den Partnern sehr gut geklappt hat, und der Erkenntnisgewinn aus dem Projekt für alle Beteiligten höchsten Nutzen gestiftet hat. B+T hat die im Projekt gesteckten Ziele nicht nur erreicht und bereits teilweise umgesetzt. Die Ergebnisse haben die Erwartungen an das Projekt bei weitem übertroffen. So zum Beispiel konnte eine digitale Dienstleistung erarbeitet werden, die in einem neuen Unternehmen, der BAG Analytics GmbH, entwickelt und vermarktet wird: ASAP (Analyzing System for Automated Processes), eine Analysensoftware für alle Betriebsprozesse. Darüber hinaus hat B+T einen großen und wichtigen Schritt zur Erreichung der Klimaziele gemacht, mit dem Hauptziel vor Augen: der CO₂-neutralen Fabrik.

Hinweis und Danksagung

Die Förderung des Projekts SmARTPlaS erfolgt seit 10/2019 durch das Bundesministerium für Bildung und Forschung aufgrund eines Beschlusses des deutschen Bundestages mit dem Förderkennzeichen 02K18D115.



Lufttechnische Anlagen
Abluftreinigung
Ventilatoren



Wärmerückgewinnungssysteme
Prozesskühlung
Modernisierung bestehender Anlagen

Wir schließen Ihren Energiekreislauf

AIRTEC MUEKU GmbH
Im Ganzacker 1
56479 Elsoff / Germany
+49 (0) 2664 / 997386-0
info@airtec-mueku.de
www.airtec-mueku.de

MBN 10544 – welche Veränderungen treten ab 2024 in Kraft?

Von Andreas Fink, mks | Atotech, Berlin

Zur Beantwortung der Fragestellungen, welche Anforderungen sich hinter der MBN 10544 verbergen, womit diese begründet werden, weshalb die Einführung eines neuen Standards notwendig ist und was Mercedes-Benz bis wann mit ihm erreichen möchte, bedarf es einen Blick in die Mercedes-Benz-Werknorm DBL 9440 (Ausgabe 12/2019), in die ISO 16047 (Ausgabe 10/2005 respektive 01/2013) und natürlich in die MBN 10544 selbst (Ausgabe 01/2019). Nach genauerer Recherche zeigen sich größere Herausforderungen bezüglich der Beschichtung von Verbindungselementen mit Zinklamellenbeschichtungssystemen als auch mit elektrolytischem Zink-Nickel-Überzug, welche im Detail liegen und die es zu lösen gilt.

1 Einführung

In der vorliegenden Abhandlung zur MBN 10544 werden repräsentative Ergebnisse aus einem großen Industrieversuch, an welchem sieben Verbindungselementhersteller teilnahmen, präsentiert. Die Hersteller, die in überwiegender Mehrheit zu den größten globalen Herstellern von Verbindungselementen zählen, stellten zu diesem Zweck ihre Verbindungselemente für Beschichtungszwecke frei zur Verfügung. Durch vorhandene Ressourcen von teilweise mehreren Positionen war es auch möglich, die Grenzen der verwendeten Beschichtungssysteme auszuloten. Mehr als 20 verschiedene Abmessungen wurden allesamt bei einem großen Lohnbeschichter auf Serienanlagen mit den für die Verfahren üblichen Prozessparametern beschichtet. Es konnte somit sichergestellt werden, dass sowohl der Zink-Nickel-Legierungsüberzug als auch die Zinklamellenbeschichtung aus einer Hand geliefert wurden.

Die Testungen und deren Auswertung in den Bereichen Korrosionsschutz und Reibwertmessung erfolgten in einem akkreditierten Prüflabor. Umfangreiche Gegenprüfungen wurden dazu teilweise auch bei den jeweiligen Verbindungselementherstellern durchgeführt. Das Ergebnisarchiv verzeichnet abschließend mehr als 35 000 Einzelmesswerte allein für die umfangreichen Reibwertuntersuchungen und kann somit als sehr aussagekräftig bezeichnet werden. Alle beteiligten Unternehmen erhielten sämtliche Ergebnisse zu Verfügung.

2 Werknorm DBL 9440

Bei Mercedes-Benz gilt für Korrosionsschutzbeschichtungen als wichtigste Werknorm die DBL 9440 und deren jeweilige Ausführungsarten. Die meistverwendete Ausführungsart ist die sogenannte AA 40 (DBL 9440.40), die Regelausführung. Diese Ausführungsart verlangt nach einer Zinklamellenbeschich-

tung mit einer in der Versiegelung integrierten Schmierung, um kontrollierte Reibungszahlen zu erzielen. Die Ausführungsart 47 (DBL 9440.47) fordert einen transparent passivierten Zink-Nickel-Überzug, der entweder zusätzlich versiegelt und geschmiert ist oder mit einer Versiegelung mit integriertem Schmiermittel versehen wird. Im Zuge der Umsetzung der MBN 10544 wurden die Ausführungsarten 60 und 67 eingeführt. Hier entsprechen die Schichtaufbauten denen in AA 40 und AA 47, verlangen aber zusätzlich die Erfüllung der Reibwertanforderungen gemäß der MBN 10544 Klasse 1.

3 Wesentliche Anforderungen der MBN 10544

Gleichbleibende Reibungszahlen, gültig für Muttern und Schrauben, egal ob der Verschraubungspartner aus blankem Stahl oder Aluminium gefertigt wurde oder sogar über eine KTL-Beschichtung verfügt, ist die wichtigste Forderung der MBN 10544 (2019-01). Der Mehrfachanzug muss erfolgreich verlaufen, ein schneller Voranzug prozesssicher erfolgen und eine Wärmebelastung darf weder das Löseverhalten noch den Korrosionsschutz negativ beeinträchtigen. Aktuell fordert Mercedes-Benz die Umsetzung des

geforderten Standards für alle Ausführungsarten bis zum Jahresbeginn 2024, eine Zeitschiene, die in der gesamten Lieferkette bereits zu großen Anstrengungen geführt hat und noch führen wird. Mercedes-Benz fordert seine Lieferanten explizit dazu auf, sich auf die strikte Umsetzung der MBN 10544 einzustellen, eventuelle Konsequenzen zu bewerten, Rücksprache mit den jeweiligen Fachbetreuern zu halten, mögliche Wege zur Umsetzung zu diskutieren und zu definieren. Zur Realisierung des Umstellungsprozesses für Neuteile wird in der DBL 9440 die Ausführungsarten 60 und 67 eingeführt und bereits die Prüfungen nach MBN 10544 Klasse 1 mitsamt den zu erreichenden Reibereigenschaften vorgeschrieben. Auf Themen wie den Stick-Slip-Effekt oder das Temperatur- und Warmlöseverhalten wird in der aktuellen MBN 10544 nicht mehr eingegangen, da diese als Grundvoraussetzung gelten. Für allgemeine Anforderungen wird auf das VDA-Prüfblatt 235-203 verwiesen.

3.1 Reibungszahlen bei Mehrfachanzug (Klasse 1)

Die wichtigsten Anforderungen der MBN 10544 lassen sich zu wenigen, jedoch übersichtlichen Punkten zusammenfassen:

Tab. 1: Kennwerte für die Prüfung gemäß MBN 10544

Reibungszahl- klasse	Referenzober- fläche	1. Anzug	2. - 4. Anzug	5. Anzug
Klasse 1: (Standard)	Stahl	$\mu_b = 0,08 - 0,16$ $\mu_{th} = 0,08 - 0,16$ $\mu_{tot} = 0,08 - 0,14$ $ \mu_{th} - \mu_b \leq 0,05$	$\mu_b = 0,08 - 0,16$ $\mu_{th} = 0,08 - 0,16$ $\mu_{tot} = 0,08 - 0,14$ -	$\mu_b = 0,08 - 0,16$ $\mu_{th} = 0,08 - 0,16$ $\mu_{tot} = 0,08 - 0,14$ -
	Aluminium	$\mu_b = 0,08 - 0,16$ $\mu_{th} = 0,08 - 0,16$ $\mu_{tot} = 0,08 - 0,14$ $ \mu_{th} - \mu_b \leq 0,05$	$\mu_b = 0,08 - 0,18$ $\mu_{th} = 0,08 - 0,16$ $\mu_{tot} = 0,08 - 0,15$ -	$\mu_b = 0,08 - 0,22$ $\mu_{th} = 0,08 - 0,16$ $\mu_{tot} = 0,08 - 0,16$ -
	KTL	$\mu_b = 0,08 - 0,16$ $\mu_{th} = 0,08 - 0,16$ $\mu_{tot} = 0,08 - 0,14$ $ \mu_{th} - \mu_b \leq 0,05$	$\mu_b = 0,08 - 0,16$ $\mu_{th} = 0,08 - 0,16$ $\mu_{tot} = 0,08 - 0,14$ -	$\mu_b = 0,07 - 0,16$ $\mu_{th} = 0,08 - 0,16$ $\mu_{tot} = 0,08 - 0,14$ -

- Fünffach- beziehungsweise Mehrfachanzug gegen Stahl (ISO HH), gegen Aluminium und gegen KTL
- Schneller Voranzug mit 200 U/min bzw. 300 bis 700 U/min
- Langsamer Endanzug mit 20 U/min
- Warmlöseverhalten gemäß VDA 235-203
- Korrosionsschutzprüfungen (z.B. ISO 9227) mit und ohne Wärmeauslagerung (96 Stunden bei 180 °C)

Mercedes-Benz gibt keine definierten Prüfteile für die Freigabe der Oberflächenschutzsysteme vor. Alle infrage kommenden Abmessungen müssen die Anforderungen der DBL 9440 beziehungsweise der MBN 10544 erfüllen.

4 Zinklamellenbeschichtungen

Die Daten nachfolgender Tabellen und Graphen wurden in akkreditierten Prüflaboren ermittelt und ausgewertet. Resultierende Auswertungen (Abb. 1 bis 6) stammen von Testergebnissen mit Schrauben der Abmessung M10x35 der Güteklasse 10.9. Sie gelten repräsentativ für alle von MKS getesteten Schrauben.

4.1 Reibungszahlen

Der schnelle Voranzug und der Mehrfachanzug in Verbindung mit den Prüfungen für den Standardfall gegenüber Stahl, Aluminium und KTL (bemusterungsrelevant) beinhaltet einen fünffachen Anzug. Die Drehzahl des Voranzugs wird in der Norm mit 200 U/min definiert. Die anwendungsnahe Prüfung (bemusterungsrelevant und informativ) gegenüber KTL verlangt nach einem einfachen, schnellen Voranzug, welcher bei Mercedes-Benz für verschiedene Abmessungen unterschiedlich beschrieben wird:

- M5 bis M8 700 U/min
- M10 500 U/min
- M12x1,5 400 U/min
- M14x1,5 350 U/min
- M16x1,5 300 U/min

Nachfolgende Auswertungen (Abb. 4 bis 6) stammen von einer Schraube mit der Abmessung M6x50-10.9 und gelten repräsentativ für alle von MKS getesteten Schrauben.

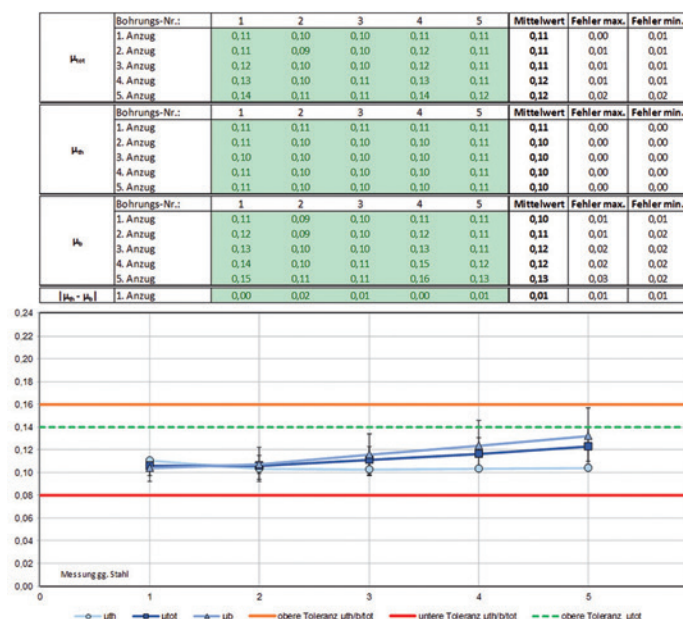


Abb. 1: Zinklamellenbeschichtung; M8x35-10.9, Basecoat Zintek 200, Topcoat Zintek Top LV; Verschraubung gegen Stahl, Prüfung gemäß MBN 10544

5 Zink-Nickel-Beschichtung

Für den Zink-Nickel-Legierungsüberzug gelten die gleichen Anforderungen, wie für die oben gezeigte Zinklamellenbeschichtung. Gezeigt werden zunächst die Ergebnisse der M8x35-10.9, gefolgt von einer M10er-Flanschmutter, Güteklasse 10, bei der auf die Einflüsse der Passivierung reagiert wird (Abb. 7 bis 9).

5.1 Einflüsse der Passivierung

Um etwaige Einflüsse unterschiedlicher Passivierungen zu untersuchen, wurden Flanschmuttern entsprechend beschichtet und die Ergebnisse verglichen (Abb. 10 bis 12). Die Auswertungen zeigen, dass es gerade bei der Zink-Nickel-Beschichtung auf die Wahl der passenden

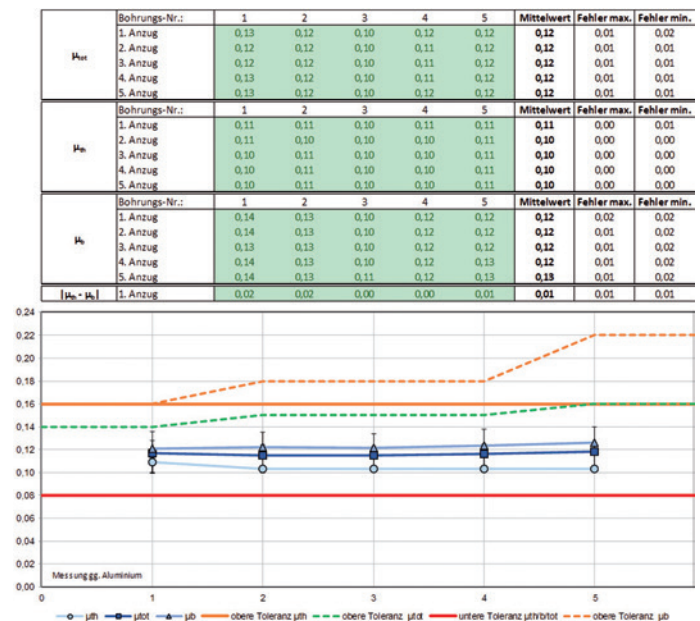


Abb. 2: Zinklamellenbeschichtung; M8x35-10.9, Basecoat Zintek 200, Topcoat Zintek Top LV; Verschraubung gegen Aluminium, Prüfung gemäß MBN 10544

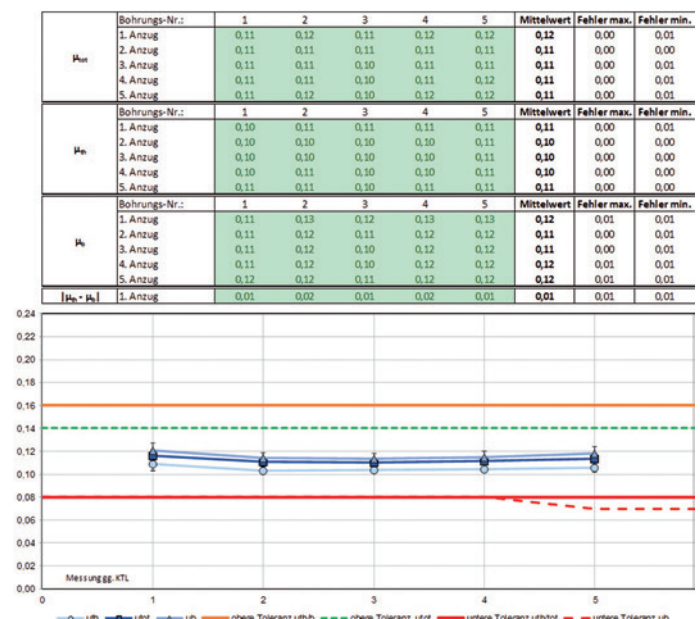
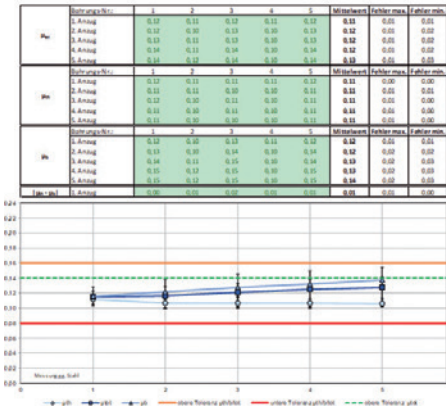


Abb. 3: Zinklamellenbeschichtung; M8x35-10.9, Basecoat Zintek 200, Topcoat Zintek Top LV; Verschraubung gegen KTL, Prüfung gemäß MBN 10544

OBERFLÄCHEN

200 U/min



450 U/min



700 U/min



200 U/min



450 U/min

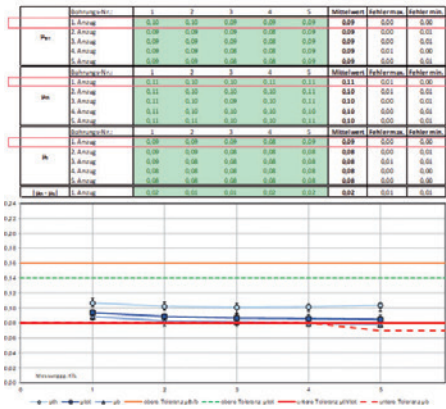


700 U/min



Abb. 5: Zinklamellenbeschichtung; M6x50-10.9, Basecoat Zintek 200, Topcoat Zintek Top LV; Schneller Voranzug / Mehrfachanzug gegen Aluminium, Prüfung gemäß MBN 10544; Hinweis: relevant sind die Werte bei 200 U/min

200 U/min



450 U/min



700 U/min

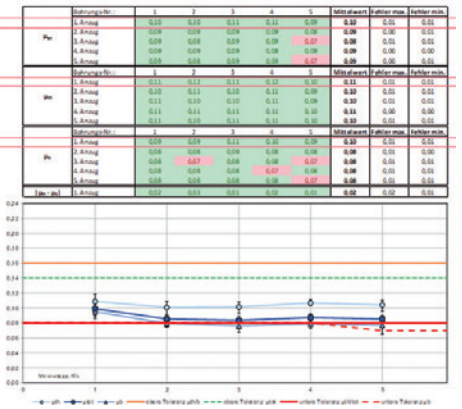


Abb. 6: Zinklamellenbeschichtung; M6x50-10.9, Basecoat Zintek 200, Topcoat Zintek Top LV; Schneller Voranzug / Mehrfachanzug gegen KTL, Prüfung gem. MBN 10544; Hinweis: Eine Forderung bezüglich schnellem Voranzug seitens der MBN 10544 besteht nur gegenüber KTL - und nur einfach!

Prozessschritte ankommt. Nicht jede Passivierung führt zum gewünschten Ergebnis, obwohl der Elektrolyt als auch die Versiegelung in allen Varianten identisch sind. Muttern werden mit etwas aufwendigeren Prozessen beschichtet. Es muss darauf geachtet werden,

eine geeignete Passivierung zu verwenden. Die in unserer Versuchsreihe eingesetzte Pass 1-Passivierung ist zur Erreichung der von MBN 10544 geforderten Reibwerte bei der Verschraubung gegen Aluminium geeignet.

6 Lagerstabilität

Der mögliche Einfluss der Lagerzeit auf mechanische Eigenschaften von Verbindungselementen wurde in der Vergangenheit weitgehend vernachlässigt. Um den Einfluss der Lagerzeit genauer zu untersuchen, wurden



Abb. 7: Zink-Nickel-Beschichtung; M8x35-10.9, Elektrolyt Zinni AL 450, Passivierung Tridur DB, Topcoat Sealer 350 WL8; Verschraubung gegen Stahl, Prüfung gemäß MBN 10544

Reibwertmessungen nach einem Tag und nach 60 Tagen nach der Beschichtung durchgeführt. Tatsächlich bewegt sich der festgestellte Einfluss im Rahmen der üblichen Messtoleranzen.

7 Fazit

Die MBN 10544 stellte anfänglich für das Atotech-Team, zusammen mit den Partnern der Verbindungselementeindustrie und verschiedenen Lohnbeschichtungsunternehmen eine große, aber lösbare Herausforderung dar. Im Bereich der Zinklamellenbeschichtung war das geeignetste Beschichtungssystem ein bereits erprobtes, bestehend aus Base- und Topcoat, welches schon seit Jahren erfolgreich in der Automobilindustrie im Einsatz ist. Im Bereich der elektrolytischen Prozesse der Atotech mussten intensivere Anstrengungen unternommen werden, geeignete Beschichtungskombinationen, bestehend aus Elektrolyt, Passivierung und Versiegelung, erfolgreich zusammenzustellen, die im Ergebnis den Forderungen aus MBN 10544 entsprachen. Dank der partnerschaftlichen Zusammenarbeit aller beteiligten Unternehmen wurden in dem von Atotech initiierten industriellen Großversuch überwältigende Resultate erreicht. Atotech konnte somit bereits seine Kunden und Partner auf die anstehenden Veränderungen ab 2024 vorbereiten.

Zum Autor

Andreas Fink widmet sich seit über 25 Jahren der Zinklamellenbeschichtung, seit 2008 ist er als Product Marketing Manager Zinc Flakes bei Atotech in Berlin beschäftigt; zudem betreut er in dieser Funktion auch die Tier-1-Arbeit im Unternehmen für seinen Geschäftsbereich in Deutschland und der Schweiz. Für weiterführende Informationen zur MBN-10544-Thematik steht er Interessenten zur Verfügung.

➔ andreas.fink@atotech.com

Atotech

Atotech, eine Marke der Materials Solutions Division von MKS Instruments, entwickelt führende Prozess- und Fertigungstechnologien für die Oberflächenbearbeitung mittels stromloser und elektrolytischer Beschichtungs- und Oberflächenveredelungsver-

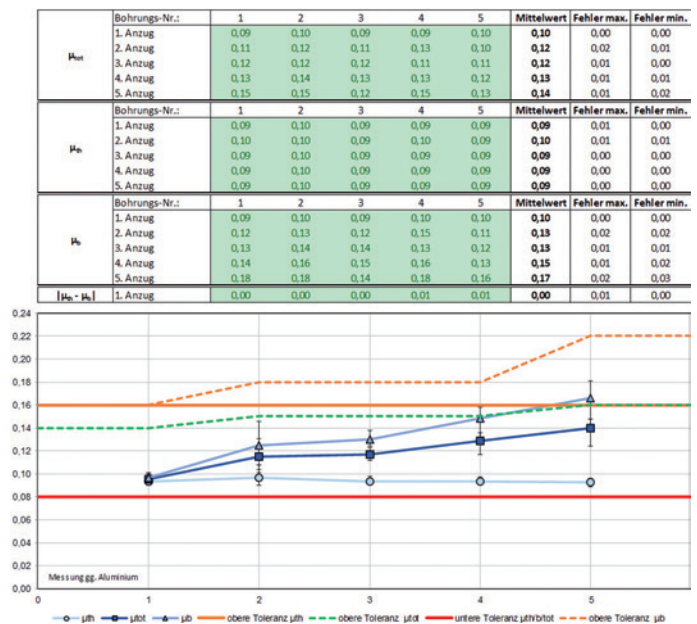


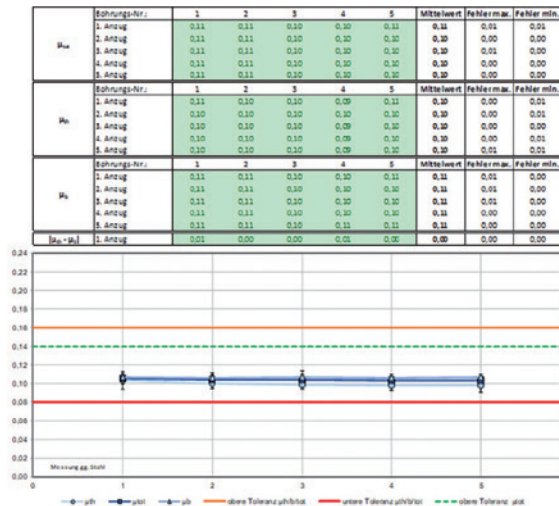
Abb. 8: Zink-Nickel-Beschichtung; M8x35-10.9, Elektrolyt Zinni AL 450, Passivierung Tridur DB, Topcoat Sealer 350 WL8; Verschraubung gegen Aluminium, Prüfung gemäß MBN 10544



Abb. 9: Zink-Nickel-Beschichtung; M8x35-10.9, Elektrolyt Zinni AL 450, Passivierung Tridur DB, Topcoat Sealer 350 WL8; Verschraubung gegen KTL, Prüfung gemäß MBN 10544

fahren. Der integrierte System- und Lösungsansatz umfasst Chemie, Anlagen, Software und Services für innovative und hochtechnologische Anwendungen. Die Produkte werden in diversen Endmärkten eingesetzt, darunter Rechenzentren, Verbraucherelektronik und Kommunikationsinfrastruktur, sowie in zahlreichen Industrie- und Verbraucheranwendungen, unter anderem in den Bereichen Automobil, Schwermaschinen und Haushaltsgeräte. Mit Produktionsstandorten in Europa, Amerika und Asien und 15 Tech-Centern weltweit vereint die Marke Atotech Innovationskraft und höchste Produktqualität mit professionellem Kundendienst direkt vor Ort.

Zinni® AL 450 + Pass 1 + Sealer 350 WL8



Zinni® AL 450 + Pass 2 + Sealer 350 WL8

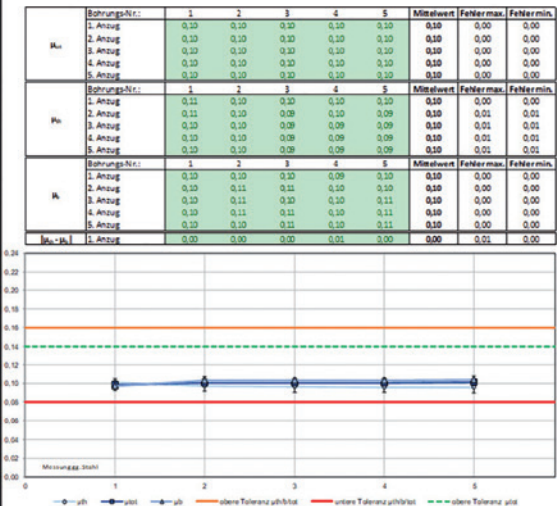
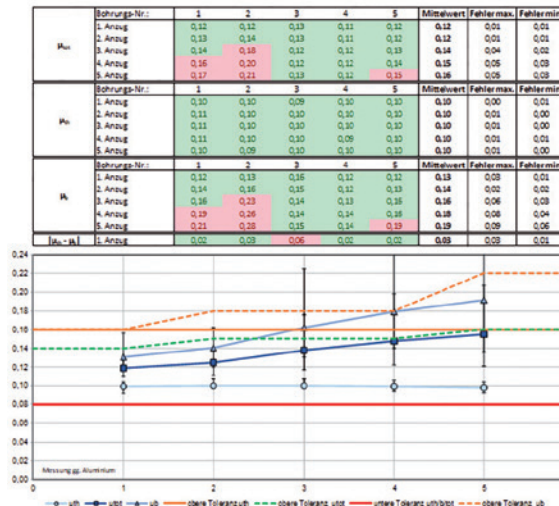


Abb. 10: Zink-Nickel-Beschichtung; M10-10, Elektrolyt Zinni AL 450, Passivierung Pass 1 im Vergleich zu Pass 2, Top-coat Sealer 350 WL8; Verschraubung gegen Stahl, Prüfung gemäß MBN 10544

Zinni® AL 450 + Pass 1 + Sealer 350 WL8



Zinni® AL 450 + Pass 2 + Sealer 350 WL8

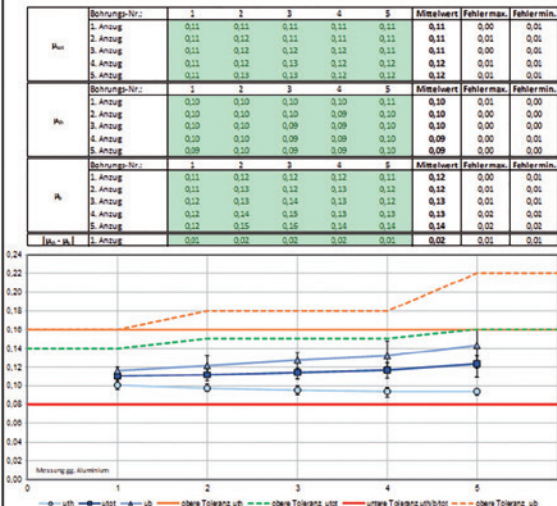


Abb. 11: Zink-Nickel-Beschichtung; M10-10, Elektrolyt Zinni AL 450, Passivierung Pass 1 im Vergleich zu Pass 2, Top-coat Sealer 350 WL8; Verschraubung gegen Aluminium, Prüfung gemäß MBN 10544

Zinni® AL 450 + Pass 1 + Sealer 350 WL8



Zinni® AL 450 + Pass 2 + Sealer 350 WL8



Abb. 12: Zink-Nickel-Beschichtung; M10-10, Elektrolyt Zinni AL 450, Passivierung Pass 1 im Vergleich zu Pass 2, Top-coat Sealer 350 WL8; Verschraubung gegen KTL, Prüfung gemäß MBN 10544

Substitution von chrom(VI)basierten, funktionalen Beschichtungsprozessen – Gemeinsame Entwicklung von Strategien und Lösungen

Von Dr. Uwe König, Berthold Seßler, Ernst-Udo Sievers (eiffo eG); Matthias Enseling, Marita Voss-Hageleit (Vecco e. V.); Christian Herzog (AOT), Arjan de Bruin (V.ION)

Am 1. Juli 2021 ist das Netzwerk vecco:net mit einer Förderung durch das Bundesministerium für Wirtschaft und Energie an den Start gegangen. Das Konzept des Unternehmensnetzwerks sowie Motivation und Hintergrund der Initiative des Vecco e. V. und der eiffo eG zusammen mit dem Verband der niederländischen Oberflächentechnik Vereniging ION und der österreichischen AOT wurden in WOMag 11/2021 ausführlich beschrieben. Das Netzwerk ist inzwischen erfolgreich etabliert und seit Januar 2023 läuft mit derzeit 37 teilnehmenden Unternehmen, Forschungseinrichtungen und Verbänden die Umsetzung der erarbeiteten Roadmap für Forschung und Entwicklung zur Substitution chrom(VI)basierter Beschichtungsprozesse. Für die teilnehmenden Unternehmen ist die Netzwerkarbeit eine wesentliche Komponente des Substitutionsplans im Kontext ihrer REACH-Autorisierungen.



1 vecco:net – Rahmenbedingungen und aktueller Stand

Die Motivation der Netzwerkpartner, gemeinsam Strategien und Lösungen für chrom(VI)-freie Alternativen zu den bisherigen Hartchrom-, Glanzchrom-, Schwarzchrom- und weiteren chrom(VI)basierten Beschichtungsprozessen zu finden, hat sich im Verlauf der bisherigen gemeinsamen Arbeit weiter verstärkt. Hierzu trug die zunehmende Verschärfung der Umweltgesetzgebung mit einer strikten Umsetzung des *European Green Deal* und der politisch auch in diesem Kontext vertreteten REACH-Verordnung erheblich bei. Die aktuelle Diskussion über die Anträge der Autorisierungskonsortien von CTAC und Hapoc, deren Substitutionspläne aufgrund der Breite der darin betrachteten Anwendungen als nicht spezifisch genug beurteilt wurden,

markiert dabei einen vorläufigen Höhepunkt. Es ist damit noch klarer geworden, dass die Substitution von chrom(VI)basierten Beschichtungsverfahren für die gesamte Branche der Oberflächentechnik zwingend ist. Offen ist lediglich der für den Substitutionsprozess erforderliche beziehungsweise genehmigte Zeitraum, der von der Verfügbarkeit geeigneter Ersatztechnologien für die vielfältigen, unterschiedlichen Anwendungen abhängig ist. Hier sind viele Betriebe allein überfordert, weil alternative Technologien für viele Anwendungen noch nicht verfügbar beziehungsweise nicht reif genug sind. Dies kann allerdings nur mit aufwendigen Technologievergleichen und gezielten Anwendungstests mit ausgewählten Verfahren ermittelt werden. Die Synergien im vecco:net und der Erfahrungsaustausch mit Branchenkollegen wie

Technologieexperten von anderen Disziplinen stellt hier für die Netzwerkteilnehmer eine erhebliche Unterstützung dar. Derzeit kooperieren im vecco:net 23 Unternehmen aus Deutschland, der Niederlande und Österreich, deren Zusammensetzung mit zahlreichen Beschichtungsunternehmen, kleinen, mittleren und großen Herstellern von Zwischen- und Endprodukten ebenso wie Technologiepartnern beispielsweise aus Anlagenbau, Chemie, Werkstoffe oder Steuerungstechnik die Lieferketten der Oberflächentechnik und ihre zahlreichen Anwendungen gut abbildet. Weiterhin gehören dem Netzwerk acht Forschungseinrichtungen und fünf Verbände und Cluster sowie das Netzwerkmanagement mit eiffo eG und dem niederländischen Partner Innovat.ION an. Mit mehr als zehn weiteren Unternehmen, Forschungseinrichtungen

BRW
CHEMIE

SEIT 2020 MIT EINEM NEUEN TEAM
UND EINER STARKEN GRUPPE
DAHINTER.

WIR LEBEN OBERFLÄCHENTECHNIK

- + Metarox – Entfettung
- + Avant / Amex Elcid – saure Zinksysteme
- + Royal – cyanidische Zinksysteme
- + Nickofan – Nickelsysteme
- + Cobre/Cuprofan – cyanidische und alkalisch cyanfreie Kupfersysteme
- + Colorchrom – Passivierungen
- + Metastrip – Beizenfetter und Entmetallisierungen
- + Cynex – alkalische Zinksysteme
- + Quimi – chemische Nickelsysteme
- + Cuprocid – saure Kupfersysteme
- + RSI-Produktreihe – Produktlösungen für Eloxalbetriebe
- + Avant Guard – Top Coats
- + Metallfärbungen
- + Zink-Nickel Verfahren
- + Weißbronze
- + Mechanische Verzinkung – Produktlösungen und Anlagenbau

Tab. 1: Handlungsfelder zur Umsetzung des vecco:net-Technologiekonzepts

Handlungsfeld Prozesse u. Anlagen	Handlungsfeld Werkstoffe	Handlungsfeld Digitalisierung
Elektrochemische Verfahren Physikalische Verfahren Kombinationen von elektro-chemischen und physikalischen Verfahren	Neue und weiterentwickelte Werkstoffe für Beschichtungen, Zusammenspiel von Substratwerkstoff und Schichtmaterial, Verständnis der Grenzflächenphänomene, Mikrostruktur der Schichten, ...	Digitalisierung der Materialdaten und datengetriebene Werkstoffentwicklung; datenbasierte analytische Verfahren; datentechnische Vernetzung der Betriebs- und Produktionsprozesse; Life-Cycle-Analysen und Risikobewertung

und Industrieorganisationen besteht eine projektbezogene Zusammenarbeit. Perspektivisch für die weitere Arbeit sind hier insbesondere die begonnenen Kooperationen mit der Gemeinschaft Thermisches Spritzen e. V. (GTS) sowie der Europäischen Forschungsgesellschaft Dünne Schichten e. V. zu nennen. Der damit mögliche fachübergreifende Austausch stellt eine zuverlässige Grundlage für die im Autorisierungsprozess geforderte, kompetente und neutrale Technologiebewertung dar.

2 Gemeinsames Entwicklungskonzept

Im Zentrum von vecco.net steht die gemeinsame Bearbeitung von Themen im Prozess der Substitution von sechswertigem Chrom, im Verbund von Beschichtungsbetrieben, Anwendern, Technologielieferanten und Forschungseinrichtungen unter Einbindung der relevanten Akteure entlang der Lieferkette. Ziel ist eine weitgehende Erhaltung der bestehenden Lieferketten, um damit auch Produktionssicherheit, Arbeitsplätze, Fachwissen und Märkte bestmöglich zu erhalten. Die Kernpunkte der Netzwerkarbeit sind (Abb. 1)

- Vergleich und Bewertung von Alternativen zu chrom(VI)basierten Beschichtungen
- Gemeinsamer F&E Entwicklungsplan (Roadmap) für die Entwicklung von Alternativen; Basis für die Substitutionsplanung im Prozess der Re-Autorisierung
- Konkrete Entwicklung von alternativen Technologien zum Ersatz chrom(VI)basierter Beschichtungen für spezifische Anwendungen (Durchführung in gemeinschaftlichen F&E-Projekten)
- Erprobung und industrielle Umsetzung der entwickelten Technologien

Für die Finanzierung von Entwicklung und industrieller Umsetzung von alternativen Technologien werden dabei soweit wie möglich öffentliche Fördermittel mit Unterstützung von vecco:net beantragt.

Das Technologiekonzept von vecco:net für den Substitutionsprozess folgt der Vision,

die notwendige Entwicklung zur Vermeidung schädlicher Stoffe mit der Weiterentwicklung von Produktqualität, Prozesseffizienz und Nachhaltigkeit zu verknüpfen und so gleichzeitig mit der Erfüllung der REACH-Vorgaben die Energiekosten und Emissionen an Kohlenstoffdioxid (CO₂) zu reduzieren. Die Umsetzung dieses Technologiekonzepts erfolgt in drei wesentlichen Handlungsfeldern (Tab. 1).

3 Gemeinsame Umsetzung im Netzwerk

Großes Gewicht wird insbesondere auf die anwendungsspezifische Bedarfsermittlung einschließlich spezifischer Kundenanforderungen der Netzwerkpartner gelegt. Die Markt-/Kunden- und Produkthanforderungen sind hier durch folgende kritische Merkmale bestimmt:

- Die Umsetzungsmöglichkeiten der potenziellen Alternativen zur Verchromung auf Basis von Chrom(VI) sind sehr stark abhängig von den individuellen Anforderungen der Produkte. Die häufigsten kritischen Anforderungen an Alternativen sind dabei:
 - Korrosionsschutzeigenschaften von vielen Alternativen nicht ausreichend
 - Abscheidbare Schichtdicken und wirtschaftliche Beschichtungsraten (besonders bei Prozessen auf Basis von dreiwertigen Chromverbindungen, aber auch bei physikalischen Verfahren)
 - Stabilität der Schichten, besonders Abrieb- und Kratzfestigkeit
 - Rauigkeit und Polierfähigkeit der Schichten
 - Farbe (besonders bei Chrom(III)prozessen)
 - Beschichtbarkeit von unterschiedlichen Substraten
 - Beschichtung von komplexen Produktgeometrien (3D, Hohlteile)
 - Aufwand für Vor- und Nachbehandlung
- Verfügbare Informationen zu generischen Alternativprozessen besitzen somit keine allgemeine Gültigkeit; die detaillierte Analyse der Anforderungen und der Abgleich mit den Eigenschaften von alternativen Beschichtungen und Prozesse sind entscheidend.



Abb. 1: Kernpunkte der Netzwerkarbeit

- Für viele Produkte und Einsatzbereiche ist die Anwendbarkeit von Alternativen noch nicht untersucht. Gleichzeitig sind die Informationen über den Entwicklungsstand alternativer Technologien in aller Regel nicht ausreichend, insbesondere im Hinblick auf die Erfüllung spezifischer Anforderungen beziehungsweise Funktionalitäten.
- Die Identifikation von Entwicklungsthemen bedingt somit konkrete Angaben der Betriebe zum Produktprogramm und den spezifischen Anforderungen.
- Kundeninformationen oder Unterstützung von Kunden im Substitutionsprozess für die Beschichtungsbetriebe sind dabei nur bedingt verfügbar.
- Ein wachsendes Kundenbewusstsein für die Notwendigkeit der Chrom(VI)substitution ist festzustellen. In der Planung vieler Kunden wird Verchromung nur noch solange einbezogen, wie das Verfahren auf Basis von Chrom(VI) noch verwendet werden kann. Neue Produkte werden oft nicht mehr auf Verchromung abgestellt.
- Einige Verchromungsbetriebe werden daher aus dem Markt ausscheiden, wenn eine Abscheidung aus Chrom(VI)prozessen nicht mehr möglich ist. Diese Einschätzung ist unabhängig von möglichen Alternativen und basiert auf den individuellen Entwicklungsmöglichkeiten der Betriebe.

In Technischen Arbeitsgruppen mit Netzwerkpartnern und externen Technologiefachleuten werden die spezifischen Anforderungen der Netzwerkpartner und die Eigenschaften von relevanten Alternativtechnologien abgeglichen und so aussichtsreiche Verfahren bedarfsgerecht für die weitere Entwicklung ausgewählt, bewertet und relevante Entwicklungsthemen definiert. Zu folgenden Themen wurden Technische Arbeitsgruppen etabliert:

- Chrom(III)basierte Verchromungsprozesse als Ersatz für Hartchrom
- Laserauftragschweißen mit Schwerpunkt auf dem EHLA-Verfahren (Extremes Hochgeschwindigkeits-Laserauftragsschweißen)
- PVD/CVD- und Plasma-Beschichtungsverfahren
- Thermisches Spritzen; hierzu ist eine weitere Arbeitsgruppe im Aufbau in Zusammenarbeit mit der Gemeinschaft Thermisches Spritzen GTS. Basis dafür ist das Statusseminar am 10./11. Mai 2023 bei der Linde AG in München (siehe Anhang zum Beitrag)
- Ersatz von Schwarzchrom und weiteren Sonderanwendungen von chrom(VI)basierten Elektrolyten.
- Komplementäre Systementwicklung, besonders zu Digitalisierung, intelligenter Prozessüberwachung und -simulation.

3.1 Ergebnisse der Arbeitsgruppen

Einige wichtige Ergebnisse dieser Technischen Arbeitsgruppen sind nachfolgend zusammengefasst:

Eine Verchromung aus Chrom(III)elektrolyten ist überwiegend noch *Wunschalternative* von vielen Anwendern, auch als Ersatz für die funktionale Verchromung und insbesondere die Hartverchromung. Allerdings sind bei den hier erforderlichen Schichtdicken die Zusammensetzung und Struktur der Chromschicht sowie die erreichten Eigenschaften häufig noch nicht eindeutig reproduzierbar. Oftmals werden andere Stoffe (u.a. Fremdmetalle) eingearbeitet, welche die Eigenschaften der Beschichtung beeinflussen. Die Eigenschaften von konventionellen Hartchromschichten werden damit bisher nicht erreicht. Auch sind Produktionstechnik und Entsorgung noch kritisch und bleiben voraussichtlich deutlich aufwendiger als in der Hartverchromung. Darüber hinaus sind die für diese

Prozesse benötigten Additive möglicherweise in Zukunft ebenfalls von Nutzungsbeschränkungen betroffen. Trotz dieser Einschränkungen wurden in vecco:net relevante Entwicklungsthemen identifiziert und in erste F&E-Projekte und Förderanträge umgesetzt. Primär erfolgen weitergehende Untersuchungen zu Chrom(III)elektrolyten allerdings eher individuell zwischen einzelnen Anwendern und wenigen großen Chemielieferanten und in der Regel ohne den kooperativen Ansatz eines Netzwerks. Eine breiter angelegte Bewertung des aktuellen Entwicklungsstands der Verchromung aus Elektrolyten auf Basis von Chrom(III)verbindungen innerhalb des Netzwerks wird in einem in Kürze geplanten vecco:net Statusseminar vorgenommen.

Der Fokus in vecco:net hat sich deshalb stärker auf physikalische Beschichtungstechnologien für den Ersatz der Verchromung aus Elektrolyten mit Chrom(VI) verlagert. Hierfür wurden bereits eine Reihe aussichtsreicher Beschichtungsverfahren und Technologieanbieter identifiziert.

Eine wichtige Alternative zur Hartverchromung von rotationssymmetrischen, teils auch von planen Bauteilen kann besonders das Extreme Hochgeschwindigkeits-Laserauftragsschweißen (EHLA) darstellen. Praktische Industrieanwendungen des Verfahrens gibt es seit etwa vier Jahren. In Webinaren und einem ganztägigen Technologie-Workshop am Fraunhofer-Institut für Lasertechnik (ILT) mit 20 Teilnehmenden wurden konkrete Anwendungsmöglichkeiten für Produkte der Netzwerkpartner bewertet und weitere Entwicklungsschritte festgelegt.

Weitere physikalische Beschichtungsverfahren, die für den Ersatz funktionaler Chromschichten aussichtsreich sind, wurden in Workshops mit ausgewählten Technologie-

anbietern identifiziert. Zu nennen sind hier PA-CVD-Verfahren, teils in Kombination mit Plasmanitrieren, Hochenthalpie-Plasmabeschichten (HE-MVD) und der Inorcoat PVD-Prozess. Die Verfahren haben jeweils für unterschiedliche Anwendungen unterschiedliche Vor- und Nachteile. Die Entwicklung in diesem Bereich soll auch durch eine Zusammenarbeit mit der EFDS Europäische Forschungsgesellschaft Dünne Schichten e. V. weiter vorangetrieben werden.

Als eines der Ergebnisse der Technischen Arbeitsgruppen wurde eine F&E-Roadmap (Tab. 2) erstellt, die jährlich fortgeschrieben werden wird.

3.2 Umsetzung der F&E-Roadmap

Erste Projekte zur Umsetzung der F&E-Roadmap wurden bereits auf den Weg gebracht; hierzu zählen die Kontrolle des Abscheideprozesses aus Chrom(III)elektrolyten, die Online-Überwachung von sechswertigen Chromverbindungen und die chrom(VI)freie Passivierung mit verbesserten Korrosionsinhibitoren. Für diese Vorhaben sind auch Forschungsfördermittel beantragt.

Für die breite Umsetzung von Alternativen zur funktionalen Verchromung stehen jedoch zunächst Anwendungsversuche/Praxistests zur weiteren Charakterisierung von konkreten Anwendungen im Vordergrund der Entwicklung. Hierzu laufen derzeit unterschiedliche Versuchsprogramme mit den oben genannten physikalischen Beschichtungsverfahren für verschiedene Produkt- und Anforderungsklassen:

- EHLA-Verfahren (Extremes Hochgeschwindigkeits-Laserauftragsschweißen, Abb. 2)
- Hochenthalpie-Plasmabeschichten (HE-MVD); der Prozess verbindet vom Ergebnis die Vorteile des Plasmaspritzens mit den Vorzügen von PVD-Verfahren

**WISSEN SIE, WIE SIE
BEIM TROCKNEN BIS ZU
75% ENERGIE SPAREN
KÖNNEN? WIR SCHON.**

+SCHONEND +PROZESSSICHER +ABLUFTFREI +STAATLICH GEFÖRDERT

HARTER GmbH | +49 (0) 83 83 / 92 23-0 | info@harter-gmbh.de | harter-gmbh.de

HARTER
drying solutions

Tab. 2: Roadmap für die Forschung, Entwicklung und Umsetzung von Alternativen zur funktionellen Verchromung

Chrom(III)basierende und weitere chemische/elektrochemische Prozesse

Verbesserte Kontrolle des Abscheideprozesses zur Erzeugung von Hartchromschichten aus Chrom(III)-elektrolyten

Weiterentwicklung von Nickellegierungen (Ni-B, Ni-P; Ni-W) in Kombination mit physikalischen Verfahren

Entwicklung und Validierung chrom(VI)freier Konversionsbeschichtungen mit innovativen Korrosionsinhibitoren

Schwerpunkt physikalische Beschichtungsprozesse

Praxisversuche zum Extremen Hochgeschwindigkeits-Laserauftragschweißen (EHLA) für erweiterte Anwendungen beim Hartchromersatz

Entwicklung verbesserter Beschichtungswerkstoffe, Pulverzuführung und gegebenenfalls angepasste Laseroptik für das LAS/EHLA-Verfahren

Weiterentwicklung der Anlagentechnik für das Laserauftragschweißen zur Beschichtung von komplex geformten Bauteilen

Praxistests zum Plasmanitrieren als Schwarzchromersatz

Schichtentwicklung und Anlagentechnik für das Inorcoat PVD-Verfahren als Hartchromersatz für hochpräzise, oberflächenstrukturierte Bauteile

Hochenthalpie-Plasmatechnologie als Hartchromersatz – flexible Anlagentechnik und multifunktionale Beschichtungswerkstoffe für kombinierte Korrosions- und Verschleißbelastungen bei komplexen Bauteilen

Weiterentwicklung der CVD-basierten DLC-Beschichtung, kombiniert mit Plasmanitrieren

Weiterentwicklung des PA-CVD-Verfahrens für breite Anwendung in KMU zur Auftragsbeschichtung von Präzisionsbauteilen im Automobilbereich

Thermisches Spritzen: Status-Seminar zum Stand des Thermischen Spritzens als Hartchromersatz gemeinsam mit GTS e. V.

Komplementäre Systementwicklungen

Digitale Materialdateninfrastruktur – AI-gestütztes Werkstoff-/Prozessdateninformationssystem für metallische Funktionsbeschichtungen zur datenbasierten Werkstoffentwicklung neuer Beschichtungssysteme

Online-Aerosolsensorsystem zur Emissionsüberwachung galvanotechnischer Anlagen in Raumluft und Umgebung

Lebenszyklusanalyse (LCA) der alternativen Prozesse

- Inorcoat PVD-Verfahren – Ersatz von Hartchrom bei strukturierten Oberflächen
- PA-CVD, auch in Kombination mit Plasmanitrieren
- Erste Tests mit Thermisch Spritzen in Verbindung mit einem abgestimmten Schleifprozess

Die Versuchsergebnisse werden nach den Kriterien in *Tabelle 3* ausgewertet und die Verfahren verglichen. Die Ergebnisse aus

dem Versuchsprogramm stehen den Netzwerkpartnern zur Verfügung. Darauf aufbauend werden aussichtsreiche Substitutionsverfahren für die unterschiedlichen Anwendungen ausgewählt und konkrete Anwendungsentwicklungen geplant. Als Fazit sind folgende Punkte zu nennen:

- Die Anwendungsmöglichkeiten potenzieller Alternativen sind sehr stark abhängig von den Anforderungen der Produkte

- Verfügbare Informationen zu alternativen Prozessen zur funktionalen Verchromung besitzen keine allgemeine Gültigkeit; Informationen über den Entwicklungsstand von alternativen Technologien sind häufig nicht ausreichend
- Erst auf Basis gezielter Applikationstests für spezifische Produktklassen und Einsatzanforderungen können aussichtsreiche Alternativen ausgewählt werden
- Darauf aufbauend sind in der Regel für die tatsächliche Technologiesubstitution noch konkrete Anwendungsentwicklungen nötig
- vecco:net hat mit einer Reihe von Technologieanbietern und -entwicklern diesen Qualifizierungsprozess für Alternativtechnologien aufgenommen
- Die Umsetzung erfolgt im Rahmen einer F&E-Roadmap, die laufend fortgeschrieben wird.

Statusseminar zum Thermischen Spritzen

vecco:net ist eine offene Entwicklungs- und Innovationsplattform, die Teilnahme interessierter Unternehmen, Technologieanbieter, Forschungseinrichtungen und Fachverbände ist grundsätzlich jederzeit möglich. Um einen persönlichen Eindruck zu gewinnen, sind Interessenten zum Statusseminar *Anwendungspotential des Thermischen Spritzens als Substitution für die funktionelle Verchromung*, das in Zusammenarbeit mit der GTS Gemeinschaft Thermisch Spritzen e. V. am 10. und 11. Mai 2023 im Linde Technology Center in Unterschleißheim stattfindet, eingeladen. Weiterführende Informationen zum vecco:net sind zu finden auf

➔ <https://vecco-net.eu>



Abb. 2: EHLA - Laserkopf und Werkstück

Tab. 3: Bewertungskriterien der Versuchsprogramme zu Alternativverfahren

Schichteigenschaften	Wichtige Prozessbedingungen
Abscheidbare Schichtdicken	Beschichtbare Substratwerkstoffe
Schichthaftung	Temperaturbelastung des Substrats
Rauheit der Schicht	Beschichtbare Bauteilgeometrie
Porosität der Schicht	Prozessgeschwindigkeit
Korrosionsbeständigkeit	Energieaufwand/Schichtdicke/Fläche
Verschleißbeständigkeit	Beschichtungskosten/Schichtdicke/Fläche
Schichthärte	Großserientauglichkeit
Tribologische Eigenschaften	Produktionsflexibilität
Temperaturbeständigkeit	Notwendigkeit von Nachbearbeitungen
Aussehen der Schicht	Aufwand von Nachbearbeitungen

7. UKP-Workshop wird internationaler und fasst Zukunftsmärkte ins Auge

Am 26. und 27. April 2023 treffen sich Anwenderinnen und Anwender aus dem Bereich der Lasertechnik, der Optik- und Laserentwicklung, des Maschinen- und Anlagenbaus zum **7. UKP-Workshop – Ultrafast Laser Technology** in Aachen. Kernthemen sind neben den neuesten Entwicklungen der Ultrakurzpuls-Lasertechnologie auch Beiträge zu Zukunftsmärkten und Anwendungen aus der Mikroelektronik, der Batterie- und Wasserstofftechnik. Um diese Themen entsprechend bedienen zu können, öffnet der UKP-Workshop erstmalig seine Türen für internationale Referenten mit entsprechender Branchenkenntnis, um von ihren Erfahrungen zu berichten.

Die Ultrakurzpulstechnik (UKP) hat längst den Sprung vom Forschungslabor in die industrielle Produktion vollzogen und hat sich als hochpräzises, digitales Allroundwerkzeug etabliert. Die Lasertechnologie lässt sich mit unterschiedlicher Systemtechnik kombinieren und erlaubt mit zahlreichen Verfahrensparametern eine immense Bandbreite an Anwendungen: Mikroelektronik lässt sich mit stark reduziertem Wärmeeintrag bearbeiten, genauso ultraleichte Verbundfasern, Glas oder Keramiken. Multi-Beam-Scanner erzeugen rasend schnell feinste Filterbohrungen oder Oberflächenstrukturen für tribologisch optimierte Systeme oder antibakteriell wirksame Oberflächen. Durch den Einsatz der UKP-Technologie können funktionale Oberflächen erzeugt werden, welche die Effizienz von Wasserstoff-Elektrolyseuren oder Batterien signifikant steigern können.

UKP-Technologie ist eine Schlüsseltechnologie für viele strategische Herausforderungen der Zukunft, sagt Dipl.-Phys. Martin Reininghaus, Leiter der Gruppe Mikro- und Nanostrukturierung am Fraunhofer ILT, der den Workshop organisiert. Schneller, präziser, effizienter und mit großem Potential zu einer nachhaltigen, digitalen Produktion.

Die enorme Vielseitigkeit macht die UKP-Technologie so attraktiv, gleichzeitig macht sie die Bearbeitungsaufgabe sehr spezifisch und komplex. Deshalb ist der Austausch mit anderen industriellen Anwendern, Systemlieferanten und Forschungsinstituten besonders wichtig.

Neuigkeiten, Trends und Zukunftsthemen

Auf dem UKP-Workshop erfahren Teilnehmende nicht nur Neuigkeiten, Trends und

eine Übersicht zu aktuellen Entwicklungen. Sie erhalten ebenso Einblicke in Zukunftsthemen und Neuentwicklungen aus dem Technologiebereich. Sie diskutieren mit internationalen Experten der Laser- und Verfahrensentwicklung und tauschen sich untereinander aus. Referenten von LG Electronics berichten beispielsweise über den Einsatz von UKP in der Bearbeitung von Mikroelektronik in Korea. Vertreter von Zeiss, Robert Bosch und Trumpf schildern die deutsche Perspektive. Das Fraunhofer ILT demonstriert vor Ort die Vorteile der UKP-Technologie beim Einsatz für die Batteriefertigung und es gibt Einblicke in den zukunftsweisenden Bereich der Quantentechnologie.

Die Präsentationen vermitteln nach Aussage von Prof. Arnold Gillner, Leiter Business Development und Forschungsmärkte am Fraunhofer ILT, wertvolle Einblicke und Know-how darüber, wie Anwender die richtige Laserquelle auswählen oder einen Laserstrahl modifizieren, um optimale Prozessbedingungen zu erreichen. *Außerdem erörtern wir, wie man die Grenzen der heutigen Ultrakurzpuls-Laserprozesstechnik ausreizen kann.* Gillner hat den UKP-Workshop 2011 ins Leben gerufen und wird diesen Workshop in organisierender Funktion ein letztes Mal begleiten. Weitere Informationen erhalten Interessierte unter:

➔ www.ultrakurzpuls laser.de

Kontakt:

Dipl.-Phys. Martin Reininghaus, Gruppenleiter Mikro- und Nanostrukturierung, E-Mail: martin.reininghaus@ilt.fraunhofer.de

Prof. Arnold Gillner, Abteilungsleiter Business Development, E-Mail: arnold.gillner@ilt.fraunhofer.de

➔ www.ilt.fraunhofer.de



Control Stuttgart 9.-12.5.2023
Halle 7 Stand 7203

Schichtdicken-Messung

- Hohe Präzision
- Einfache Bedienung
- Für alle Metallsorten
- Datenübergabe zur App



NEU: MEGA-CHECK DX

- mit modernster Sonderelektronik
- austauschbare Sonden für viele Anwendungsfälle



List-Magnetik

Dipl.-Ing. Heinrich List GmbH

Max-Lang-Straße 56/2

70771 Leinfelden-Echterdingen

Germany

Telefon +49 (711) 90 36 31-0

www.list-magnetik.de

Deutsche Gesellschaft für Galvano- und Oberflächentechnik e.V. (DGO)

Beteiligung Projektbegleitender Ausschuss: Silberdispersionsschichten aus cyanidfreen Systemen für Hochleistungskontakte

Die DGO sucht nach projektbegleitenden Unternehmen für das Forschungsvorhaben *Alternative Dispersionsschichten für Hochleistungskontakte (ALDIHOK)*. Ausführende Forschungsstellen sind das Dechema-Forschungsinstitut in Frankfurt am Main und das Fraunhofer-Institut für Keramische Technologien und Systeme IKTS in Dresden.

Die Galvanotechnik erlebt derzeit einen Umbruch im Bereich der Automobilindustrie. Durch den Umstieg von Verbrennungs- auf Elektromotoren verlieren einige Beschichtungen an Bedeutung, während für neue Einsatzbereiche neue Beschichtungslösungen mit anderen Eigenschaften benötigt werden. Ein solcher Einsatzbereich sind Hochleistungsversorgungsleitungen und -kontakte. Sie basieren auf (legierten) Kupferleitern, die eine hohe Leitfähigkeit besitzen, jedoch oxidationsanfällig sind. Daher werden sie zurzeit mit Silbergraphit-Dispersionsschichten überzogen. Silber garantiert dabei geringe Kontaktwiderstände und gute Korrosionsstabilität, während Graphit die Neigung des Silbers zum Kaltverschweißen unterdrückt und dabei den Kontaktwiderstand nicht erhöht.

Das Projekt ALDIHOK will diese Schichten auf zwei Ebenen weiterentwickeln. Die Steckkontakte müssen in der Zukunft immer höhere Leistungen übertragen, was zwangsläufig zu erhöhten Betriebstemperaturen führt. Die Silberschichten müssen daher temperaturfester werden, das heißt ihr Erweichen muss zu höheren Temperaturen verschoben werden. Dies soll durch den Co-Einbau von Siliziumcarbid (SiC) erfolgen.

Die Gesetzgebung reguliert und beschränkt seit Langem den Einsatz toxischer Substanzen (REACH). Die cyanidische Silberabscheidung steht somit unter Substitutionsdruck. Cyanidfrie Systeme existieren, können sich jedoch noch nicht gegen das robuste Verfahren durchsetzen. ALDIHOK setzt auf die cyanidfrie Silberabscheidung und bietet somit ein Sprungbrett für cyanidfrie Systeme in die Dispersionsabscheidung, bei der spezielle Bedingungen für die Badbewegung gelten und Schichtfunktionen vor Optik stehen.

In dem Projekt werden zunächst Ein-Partikel-Dispersionsschichten (Ag/C sowie Ag/SiC) aus einem cyanidfrien Elektrolyten unter-

sucht. In einem zweiten Schritt soll dann eine Kombinationsabscheidung erfolgen. Als kritische Eigenschaften werden für die Schichten unter anderem Partikelgehalt, Reibwert, Härte (Mikro-/Nanohärte), Verschleiß (Abrieb), Korrosion (Korrosionsstromdichte) und Kontaktwiderstand bestimmt und mit den Abscheidparametern korreliert. Am Ende des Projekts soll zudem eine Handlungsempfehlung für die Silberdispensionsabscheidungen stehen.

Die DGO lädt interessierte Partner aus der Industrie ein, sich dem projektbegleitenden Ausschuss anzuschließen. Sie erhalten so, ohne weitere Verpflichtungen, einen Einblick in die laufende Forschung und können durch eine kritische Betrachtung zur Umsetzbarkeit, einen Vergleich mit der industriellen Realität oder der Darstellung technischer Herausforderungen Impulse für das Projekt geben und die spätere industrielle Umsetzbarkeit der Forschungsergebnisse steigern. Interessenten können sich per E-Mail an die DGO-Geschäftsstelle wenden; Ansprechpartner ist Daniel Meyer, E-Mail: d.meyer@dgo-online.de.

➔ www.dgo-online.de

DGO-Schulung Wasserstoffversprödung für Praktiker bis auf den letzten Platz belegt

Am 8. Februar 2023 fand in Bensheim erstmals die DGO-Schulung *Wasserstoffversprödung für Praktiker* statt.

Neben den theoretischen Grundlagen gab die Veranstaltung im Rahmen von insgesamt fünf Themenblöcken einen Überblick zu den Einflussgrößen bei der galvanischen Prozessführung einschließlich Vermeidungsstrategien, zu unterschiedlichen Prüfmethoden, zu einschlägigen Normen sowie zu Schadensfällen aus der Praxis. Im Dialog mit den Teilnehmern vermittelten die Referenten dabei auch stets praxisrelevante Erkenntnisse aus jahrzehntelanger Berufserfahrung.

Das Schulungsformat wurde vom Arbeitskreis Wasserstoffversprödung initiiert und inhaltlich umgesetzt. Dieser sah hierfür eine dringende Notwendigkeit, da insbesondere praxisbezogenes Fachwissen für die gezielte Fortbildung von Fach- und Führungskräften seit Jahren nur noch eingeschränkt zugänglich ist. So zeige die Analyse von Schadensfällen aus der Praxis, dass es zunehmend an Hintergrundwissen fehle, um Schadensrisiken durch wasserstoffbedingte Versprödung bei bestimmten Werkstoffen beziehungsweise Bauteilen und Einsatzbedingungen realistisch einschätzen zu können.

Die nun jährlich stattfindende Veranstaltung richtet sich an Technologen, Verfahrensingenieure, Meister, QMBs und Schichtleiter aus allen Branchenunternehmen und war mit insgesamt 24 Teilnehmern bis auf den letzten Platz ausverkauft, was auch den Bedarf innerhalb der Branche zeigt.

➔ www.dgo-online.de

BG-Thüringen: PFAS ist überall

Das erste Treffen der BG-Thüringen in diesem Jahr fand am 12. Januar zum Thema *PFAS ist überall* an der TU Ilmenau statt. ZVO-Resortleiter Umwelt- und Chemikalienpolitik Dr. Malte-Matthias Zimmer referierte zur gesetzlichen Regulierung der Stoffgruppe PFAS (per- und polyfluorierte Chemikalien) und speziell der Untergruppe PFOS (Perfluoroktansulfonsäure).

Das Verbot der Anwendung von PFOS hat weitreichende Folgen für verschiedene Anwendungsfälle wie Automobil- und Fahrzeugbau oder Medizintechnik. Anhand einer komplexen Systemanalyse stellte Dr. Zimmer dar, welche Fehler bei der Regulierung hätten vermieden werden können, wären alle Einflussparameter und Wechselwirkungsbeziehung in den Entscheidungsprozess mit einbezogen worden.

Zum Ende des Vortrags wurden weitere Praxisbeispiele zum komplexen Systemdenken aufgezeigt, die von der Zink-Nickel-Abwasserbehandlung über die Planung einer Trommelbeschichtungsanlage bis hin zum Experimentierplan eines Promotionsvorhabens reichten. Das Fazit: Systemdenken ist eine sehr mächtige Herangehensweise, die für jedermann gut nachvollziehbar ist. Mathias Fritz

➔ www.dgo-online.de

Zentralverband Oberflächen-technik e.V. (ZVO)

Geschäftsstelle umgezogen

Seit 27. Februar 2023 sind der ZVO, die ZVO Service GmbH wie auch die Mitgliedsverbände BIV, DGO und FGK unter der neuen Anschrift: *Giesenheide 15, D-40724 Hilden* zu erreichen. Die Korrespondenzadresse *Postfach 10 10 63, 40710 Hilden* wie auch sämtliche Kommunikationsanschlüsse haben sich nicht verändert.

Mit dem Umzug sind eine Verkleinerung der Räumlichkeiten und damit Kosteneinsparungen verbunden. Erfolgreich implementierte Homeoffice-Arbeitsplätze machen den bisherigen Flächenbedarf künftig überflüssig.

➔ www.zvo.org

ZVO 2.0: Nachwuchsunternehmer haben sich formiert

Um Nachwuchskräfte und ihre Belange stärker in den Verband zu integrieren, hat der ZVO eine neue Organisation von Nachwuchsunternehmern im ZVO etabliert. Unter dem Motto ZVO 2.0 tagte der Kreis am 1. Dezember 2022 zum ersten Mal in den neuen Geschäftsräumen von BIA in Solingen.

Im Fokus der Organisation ZVO 2.0 stehen Zukunftsthemen der Branche und des Branchen- und Verbandsnachwuchses, unter anderem die Gewinnung von Nachwuchskräften in der Galvanobranche, der mediale Fokus und die politische Interessenvertretung. Der Kreis ist auf 15 Mitglieder begrenzt. Eine feste Altersbeschränkung gibt es nicht, die Teilnehmer sollten aber möglichst nicht über 45 Jahre alt sein. Voraussetzung ist, dass sie eine Führungsposition in einem Mitgliedsunternehmen bekleiden und persönlich an den Sitzungen teilnehmen (keine Vertreterregelung). Vorgesehen sind vier Meetings pro Jahr, davon eines im Rahmen der ZVO-Oberflächentage.

ZVO-(Neu-)Vorstand Lukas Henningsen freute sich als Initiator des ersten Zusammentreffens über die rege Beteiligung und Bereitschaft sich einzubringen: *Wir haben bereits beim ersten Treffen einige junge, Schwerkewichte' des ZVO und der Branche zusammenbekommen. Ich denke, hier bekommen wir in den nächsten Jahren richtig etwas bewegt.* Der ZVO brauche Nachwuchs und was gebe es da Besseres, als eine Gruppe von jungen Unternehmern, die den ZVO und die Branche in ihren Unternehmen und nach außen entsprechend promoten. Für ZVO-Geschäftsführer Christoph Matheis und ZVO-Vorstandsvorsitzender Jörg Püttbach ist es genau das Engagement, das man für eine langfristig ausgerichtete Zukunft des ZVO brauche.

Ende Januar hat bereits ein zweites Treffen des Kreises stattgefunden, bei dem die Mitglieder einen Überblick über die Verbands-



ZVO 2.0-Gründungsteam (v. l.): Patrik Schmalriede, Tobias Schmalriede, Henri Holder, Jörg Püttbach, Jan Zeschky, Lukas Henningsen, Caroline Hehl, Christian Kaiser; nicht im Bild sind: Ernst-Gregor Hillebrand, Jonas Püttbach und Christoph Matheis (Bild: ZVO)

struktur und die Mitgliedsverbände erhielten. Das nächste Treffen findet voraussichtlich Ende April statt.

➔ www.zvo.org

Posting-Pool zur Ausschreibung von Ausbildungsplätzen

Der ZVO stellt seinen Mitgliedsbetrieben exklusiv eine Reihe von Postings zur Verfügung, die sie zur Suche nach Auszubildenden in ihren Social-Media-Kanälen verwenden können. Die Dateien stehen im Mitgliederbereich der ZVO-Homepage zum Download bereit.

Der Nachwuchs- und Fachkräftemangel ist eins der brennenden Probleme der Branche. Um seine Mitglieder bei der Rekrutierung von Auszubildenden zu unterstützen, hat der ZVO eine Reihe von Social-Media-Postings entwickelt, mit denen die Mitgliedsbetriebe ihre offenen Ausbildungsplätze auf Facebook, Instagram, LinkedIn oder XING anbieten können. Der Pool umfasst eine Palette unterschiedlichster Postings für jeden Geschmack und Bedarf: einfache oder mehrere Bilder, Videos, Animationen, von modern bis traditionell. Einige Posts bieten außerdem die Möglichkeit zur Individualisierung: Auf einer dafür vorgesehenen Freifläche kann das Firmenlogo eingebunden werden. Ansonsten bietet die Bildunterschrift/Caption Platz für die Nennung

des jeweiligen Unternehmens und alle weitergehenden Informationen.

Mit diesem Posting-Pool setzt der ZVO seine Ausbildungskampagne aus den vergangenen beiden Jahren fort beziehungsweise ersetzt sie durch ein neues Format, das langfristiger angelegt ist und den Unternehmen mehr Spielraum bietet.

➔ www.zvo.org

Beiratssitzung der Professur Elektrochemie und Galvanotechnik

Der wissenschaftliche Beirat Elektrochemie und Galvanotechnik, darunter Vertreter des ZVO als Mitbegründer der Stiftungsprofessur, aus Universität, Wissenschaft und Industrie, traf sich am 8. März 2023 im Arrheniusbau der TU Ilmenau.

Die neuen ZVO-Stipendiaten Franz Krümmeling und Alain Francis Faha nutzten die Gelegenheit, sich dem Beirat vorzustellen und bedankten sich für die Gewährung des großzügigen ZVO-Masterstipendiums. Aufgrund der deutschlandweiten Einzigartigkeit des Studiengangs Elektrochemie und Galvanotechnik war ihre Wahl auf Ilmenau gefallen.

Stefanie Rexhäuser, Marketing und Kommunikation TU Ilmenau, berichtete über die Öffentlichkeitsarbeit der Universität und weitere Schritte zur Stärkung der universitären Ausbildung im Bereich der elektrochemischen Oberflächentechnik. Anknüpfend an ihre Ausführungen diskutierte der Beirat weitere Maßnahmen zur Förderung des Nachwuchses in der Branche.

Abschließend stellte Professor Andreas Bund ausgewählte Ergebnisse des Fachgebiets zu Forschung und Lehre vor. Seit der letzten Beiratssitzung im März 2022 haben acht Studierende ihre Bachelor- beziehungsweise Masterarbeiten abgeschlossen. Fünf Mitarbeitende haben erfolgreich an der TU Ilmenau promoviert, und Maria del Carmen Mejia schloss ihre Promotion an der Partneruniversität PUCP in Lima ab.

➔ www.zvo.org

INSERENTENVERZEICHNIS

acp systems AG	23	ELB	U4	met-at-lab	11
airtec MUEKU GmbH	27	Eupoc / Hapoc	U3	Munk GmbH	21
B+T K-Alpha GmbH	15	GusChem	15	Renner GmbH	Titelbanner
BAG Analytics GmbH	Titel	Harter GmbH	35	RMA Kehl	40
Brenscheidt Galvanik Service	11	Walter Lemmen GmbH	17	Sager+Mack	1
BRW Elektrochemie	33	Gebr. Liebisch	U2	Serfilco	9
Ecoclean Group	13	List-Magnetik	37	STZ Tribologie	13

Leistungstarke Lösungen für die E-Mobilität

SurTec gemeinsam mit Freudenberg auf der Battery Show Europe vom 23. bis 25. Mai 2023 in Stuttgart

Die Batterie als Kernkomponente eines jeden Elektroantriebs stellt Hersteller vor eine Reihe von spezifischen Herausforderungen. SurTec präsentiert erstmals gemeinsam mit seinen Schwesterunternehmen Freudenberg Performance Materials (FPM) und Freudenberg Sealing Technologies (FST) neue Entwicklungen, um Batterien für Elektroantriebe sicherer, haltbarer und effizienter zu machen. Während bei SurTec der Korrosionsschutz von Batteriegehäusen im Mittelpunkt steht, präsentiert die FPM ihre neuen Battery Pack Liquid Absorber. Im Zentrum des Messeauftritts der FST stehen Hitzeschilder sowie weitere Lösungen für Batteriesysteme. Wie Dr. Jens Krömer, Global Markets Manager von SurTec erklärt, ist SurTec, ebenso wie viele andere Unternehmen der Freudenberg-Gruppe, seit vielen Jahren ein bevorzugter Partner der Automobilindustrie von der Designphase über die Prototypenkonzeption bis hin zur endgültigen Großserienfertigung. Bei

der Entwicklung neuer Lösungen profitieren wir von einem regen Erfahrungsaustausch der Schwestergesellschaften. Wir freuen uns, nun auch gemeinsam unser Portfolio rund um die Batterie präsentieren zu können, so Dr. Jens Krömer.

Im Fokus des SurTec-Messeauftritts steht das chrom(VI)freie SurTec 650, ein Blankkorrosionsschutz für Leichtmetalle, der hochmoderne Batteriegehäuse mit verlässlicher und langer Lebensdauer ermöglicht. Damit ist das Produkt hervorragend geeignet für Batteriekomponenten in der Elektromobilität, die sich konstruktionsbedingt im Unterboden der Fahrzeuge befinden und daher dauerhaft verschiedensten Umwelteinflüssen ausgesetzt sind. SurTec 650 bietet zudem elektromagnetische Kompatibilität und ist daher die perfekte Lösung für die Oberflächenbehandlung von zum Beispiel Batteriegehäusen und Gehäusen von elektronischen Steuergeräten (ECU). Aufgrund seiner günstigen

Eigenschaften hat sich SurTec 650 bereits bei der Anwendung in der Luft- und Raumfahrt sowie im Mobilfunkbereich beim Bau von 5G-Antennen und -Masten bewährt.

Die Experten von Freudenberg Performance Materials zeigen mit den Battery Pack Liquid Absorbers eine innovative Lösung, die Batteriesysteme insgesamt sicherer macht. Die absorbierenden Pads nehmen Feuchtigkeit und auftretende Flüssigkeiten innerhalb der Batteriepacks schnell auf und speichern diese zuverlässig. Freudenberg Sealing Technologies hingegen stellt in Stuttgart neueste Entwicklungen rund um Hitzeschilder für mehr Sicherheit sowie das Batterie-Druckausgleichsventil DIAvent und allgemeine Batterieanwendungen vor.

Auf dem Gemeinschaftsstand **10-B30** stehen die Experten aller drei Schwesterunternehmen für alle Fragen zu ihren Spezialthemen zur Verfügung.

➔ www.SurTec.com



WIR SUCHEN SIE!

Die **RMA** ist ein weltweit agierendes, in zweiter Generation familiengeführtes Unternehmen, welches sich im Laufe der Jahre zu der stark angewachsenen RMA Unternehmensgruppe entwickelt hat. 100% H2-tauglichkeitsgeprüfte Produkte, sowie Komponenten und Systemlösungen für Wasserstoff, Wasser, Öl, Gas und Fernwärme werden an den Standorten in Europa, Nordamerika, Asien und im Mittleren Osten konstruiert, hergestellt und vertrieben. Service- und Engineering Leistungen sowie Softwareprodukte für die Überwachung Messtechnischer Anlagen runden das RMA-Produktportfolio ab.



An unserem Standort in Kehl ist europaweit eine der modernsten Hartchromanlagen installiert.

Zum nächstmöglichen Zeitpunkt suchen wir für unseren Standort in Kehl einen

GALVANISEUR/OBERFLÄCHENBESCHICHTER | m | w | d |

IHRE AUFGABEN:

- Vorbereitung, Steuerung und Überwachung von Galvanikanlagen
- Fertigungsaufträge sichten und Bearbeitungsreihenfolge festlegen
- Prozessmedien- und Hilfsstoffverwaltung
- Werkstückvorbereitung und Fertigungsfreigaben
- Prozessparameter und Expositionszeiten festlegen
- Qualitätskontrollen durchführen
- Durchführung und Überwachung von Wartungs- und Instandhaltungsaufgaben
- Vertretung des Abteilungsleiters

IHR PROFIL:

- Ausbildung zum Galvaniseur oder Oberflächenbeschichter
- Kenntnisse in der Anwendung von Computergesteuerten Beschichtungsanlagen
- Selbstständiges Arbeiten und hohes Qualitätsbewusstsein

IHRE VORTEILE BEI UNS:

Spannendes, innovatives Umfeld | Betriebliche Altersvorsorge | Weiterbildungsmöglichkeiten | E-Bike Leasing | täglicher Zuschuss zum Kantinenessen | uvm.

JETZT BEWERBEN!



RMA Kehl GmbH & Co. KG
Oststraße 17 | 77694 Kehl
Deutschland | www.rma.de
personal@rma-rheinau.de



WEITERE INFORMATIONEN: www.rma-armaturen.de/stellen/galvaniseur-oberflaechenbeschichter-mwd/
KONTAKT: Frau Manuela Waldmann | personal@rma-rheinau.de | Tel. +49 7844 404 327



Die **EUPOC GmbH** ist eine Unternehmensberatung, die internationalen Kunden und Galvaniken hilft, die Herausforderungen der europäischen Chemikalienpolitik, wie REACH und den Green Deal zu bewältigen. Die HAPOC ist die angegliederte Vertriebsplattform und baut gerade eine Online Marktplatz für galvanotechnische Produkte auf. Helfen Sie mit guten Autorisierungsdossiers und innovativen Ideen mit, die galvanotechnische Branche sicherer zu machen und gleichzeitig in Europa zu behalten.



JOIN OUR TEAM

Wissenschaftlicher Mitarbeiter (m/w/d, Vollzeit)

Entwicklung von Strategien für Zulassungsanträge bei der European Chemical Agency und begleitende wissenschaftliche Tätigkeit, wie zum Beispiel Monitoring von Risikodaten, Pflege der Datenbank, Analyse der Ergebnisse und Begleitung der Branche von Zulassung bis Essential Use.

Anforderung: Abgeschlossenes Chemiestudium oder technische Erfahrung in der Galvanotechnik. Englischkenntnisse in Wort und Schrift.

Technischer Redakteur (m/w/d, Vollzeit)

Erstellung von Zulassungsanträgen bei der European Chemical Agency, wie Chemical Safety Report, Analysis of Alternatives, Sozio-ökonomische Analyse und Erstellung von Substitutionsplänen.

Anforderung: Fundierte Kenntnisse der Galvanotechnik und Erfahrung im Schreiben von Fachtexten. Englischkenntnisse in Wort und Schrift.

Ihre Bewerbung richten Sie bitte an: **enseling.matthias@eupoc.de**

Nähere Informationen unter: +49 1727217901

www.eupoc.com



Wir sorgen nachhaltig für...

...maximale Beständigkeit



Unsere Leichtmetallveredelung schützt
Ihr Produkt sicher und nachhaltig.

Profitieren Sie von höchster Verschleiß-
festigkeit, geringer Reibung und minimaler
Korrosion.



Leichtmetallkeramik – optimaler Komponentenschutz für Aluminium,
Magnesium und Titan. Werden Sie unser nächster begeisterter und glücklicher Kunde!

**Innovative Lösungen
für Ihren Wettbewerbsvorteil.**

 **CERANOD®**
Oberflächentechnologie der Zukunft

