

WOMAG

 Kompetenz in Werkstoff und funktioneller Oberfläche



AND THE WINNER IS...

**Sager
+ Mack®**
Leading the way in pumps and filters



ZVO-OBERFLÄCHENTAGE

KARLSRUHE

16.-18.9.2026

Kongress für Galvano-
und Oberflächentechnik

Wir stellen aus
Stand Nr.:

34



www.sager-mack.com

WERKSTOFFE

PFAS-freie Beschichtungen

OBERFLÄCHEN

EHLA bringt Ruhe ins
Elektrofahrzeug

WERKSTOFFE

Industrielle Teilereinigung als
Schlüssel für Remanufacturing

OBERFLÄCHEN

Glatte Kohlenstoffschichten der
neuen Generation

WERKSTOFFE

LCF-Lebensdauer hochbeanspruch-
ter Teile in Wasserstoffatmosphäre

SPECIAL

Verschleißschutz für hoch-
beanspruchte Oberflächen
durch Multischichtsysteme

SEPTEMBER 2026

Branchen-News täglich: womag-online.de

JETZT ANMELDEN!

<https://oberflaechentage.zvo.org>



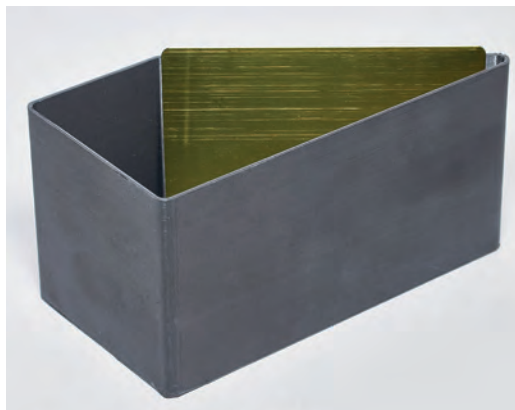
ZVO-OBERFLÄCHENTAGE

KARLSRUHE

16.-18.9.2026

Kongress für Galvano- und Oberflächentechnik

Hull-Bleche in Top-Qualität mit Premium-Service

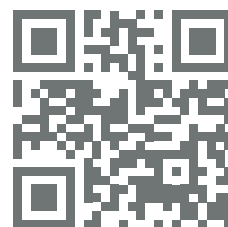


Hull-Bleche aus **Stahl, Aluminium, Messing, Bronze, Kupfer**
Hull-Zellen aus **Acryl, PVC, 3D-Druck** • Winkelkathoden



METATLAB

Hull-Bleche & Zubehör



QR-Code
scannen
und direkt
zum Shop!
met-at-lab.com

Technischer Aufwand, der sich auszahlt



Eine der wichtigen Aufgaben der technischen Entwicklung von Fertigungsprozessen besteht darin, die Anzahl der erforderlichen Prozessschritte so gering wie möglich zu halten und damit die Kosten zu minimieren. Im Falle von Beschichtungsprozessen kann dies zu kürzeren Prozesszeiten und häufig auch zu kleineren und einfacheren Anlagen führen. Wichtigste Bedingung ist jedoch immer ein einwandfreies Beschichtungsergebnis. In der Praxis ist dies immer wieder herausfordernd, da es insbesondere beim Auftragen von härteren Schichten auf einen Grundwerkstoff zum Abplatzen der Schichten aufgrund

deutlich unterschiedlicher Ausdehnung im Falle von Temperatureinwirkungen oder Verformung kommt.

Eine überzeugende Lösung für besonders harte, physikalische Beschichtungen wird im Beitrag von Dr. Daniel Metzner und Kollegen von der Hochschule Mittweida vorgestellt (Beitrag Seite 19ff in dieser Ausgabe). Die hier betrachteten DLC-Schichten leisten einen wichtigen Beitrag zum Schutz von Bauteilen vor Schäden durch Reibung und Verschleiß. Die diamantähnlichen Schichten weisen eine hohe Steifigkeit und geringe plastische Verformung auf, in deren Folge in der Regel eine geringe Haftfestigkeit zum Substrat (meist harte Stähle) festzustellen ist. Mit der von den Autoren genutzten Laserspulsabscheidung gelingt es, superharte DLC-Schichten mit besser verformbaren Teilschichten aus amorph gebundenem Kohlenstoff zu kombinieren. Damit ergeben sich Schichten aus gleichem Material, aber unterschiedlichen mechanischen Eigenschaften. Die mit etwas höherem Aufwand hergestellten Schichten verbessern das Gesamtverhalten des Schichtverbunds deutlich und erreichen bei sehr guter Haftung ein ausgezeichnetes Verschleißverhalten und damit eine deutliche Verbesserung der Schutzwirkung.

Auf einem anderen Gebiet, der Abscheidung von Hartchrom, weist der ZVO darauf hin, dass durch die Ablehnung der Verwendung von Chrom(VI)verfahren der klassischen Art ein immenser wirtschaftlichen Schaden entstehen kann (Beitrag Seite 37). Der Mehraufwand liegt hier vermutlich eher in der Erfüllung der gesetzlichen Vorgaben aus REACH in Form von bürokratischen Vorgaben oder zusätzlicher Sicherheitstechnik; er verhilft aber allen Beteiligten der Wertschöpfungskette, ein gutes wirtschaftliches und technisches Ergebnis zu erreichen.

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.



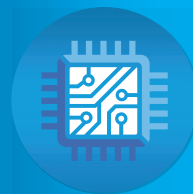
NEU!



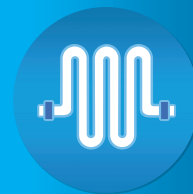
Wasser-
und Abwasser-
Prozesse



Galvanik-
und Chemie-
Prozesse

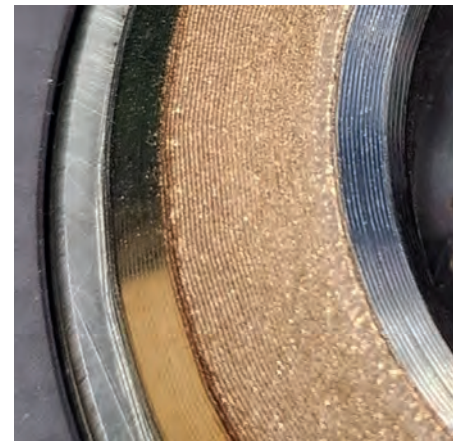
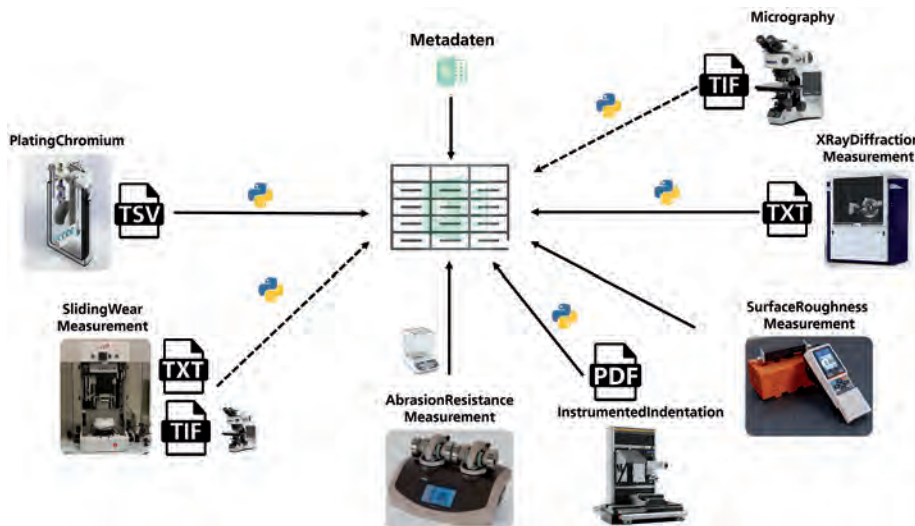


Mikroelektronik
und Regenerativ-
energie



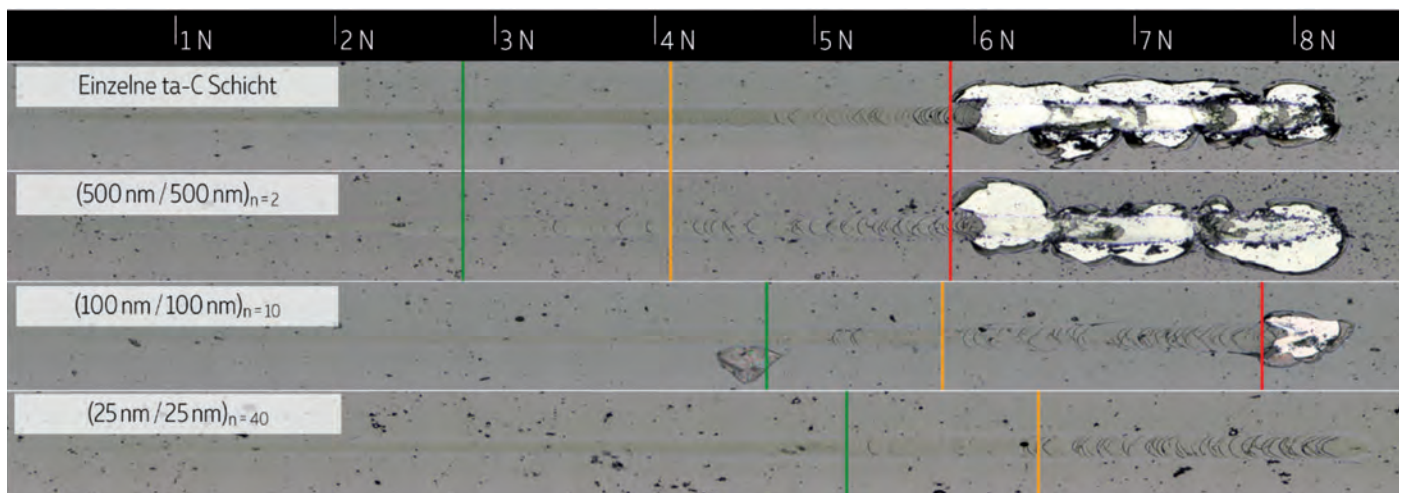
Thermische und
elektrische
Energietechnik





24 EHLA für Elektrofahrzeuge

17 Digitalisierung der Materialwissenschaft am Beispiel der Verchromung



19 Höhere Verschleißbeständigkeit durch Multischichtsysteme mit verbesserter Haftung für hochbelastete Oberflächen

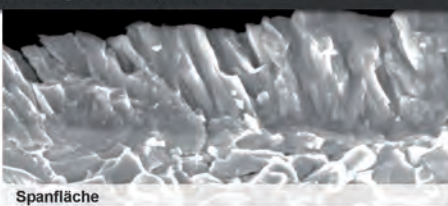
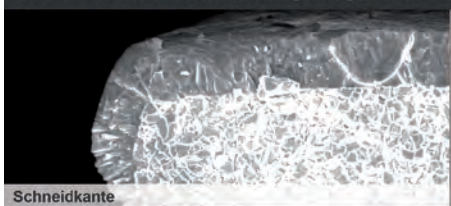
WERKSTOFFE

- 4** PFAS-freie Beschichtungen
- 6** Neue NMR-Analytik am Fraunhofer IAP stärkt Materialforschung
- 8** Industrielle Teilereinigung als Schlüssel für erfolgreiches Remanufacturing
- 10** Kreisläufe schaffen Wert
- 11** Materialwissenschaft trifft Klimaschutz
- 12** Elektrolyseplattform – Effiziente Herstellung von Wasserstoff und chemischen Produkten
- 13** LCF-Lebensdauer hochbeanspruchter Bauteile in Wasserstoffatmosphäre
- 14** Nachbehandlung additiv gefertigter Metallbauteile jetzt berechenbar
- 15** Leichtbau Frachtschiffe: Nie wäre er so wertvoll wie heute
- 16** Laser verleihen 3D-gedruckten Metallbauteilen neue Funktionen

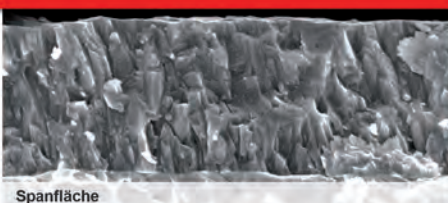
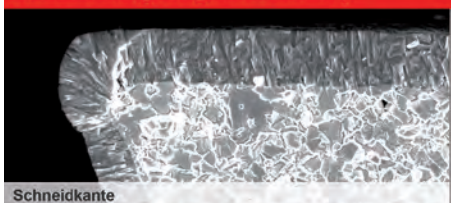
OBERFLÄCHEN

- 17** DigiChrom – Fortschrittsbericht zur Digitalisierung der Materialwissenschaft am Beispiel der dreiwertigen Verchromung
- 18** Sager + Mack auf den ZVO-Oberflächentagen 2026
- 19** Verschleißschutz für hochbeanspruchte Oberflächen – mittels Laserpulsabscheidung hergestellte superharte Multischichtsysteme mit verbesserter Haftung
- 24** EHLA bringt Ruhe ins Elektrofahrzeug
- 27** Großes Interesse an neuen Technologien und Verfahren der Oberflächentechnik – Teil 2
- 30** Dünne Schichten, starke Leistung
- 32** Glatte Kohlenstoffschichten der neuen Generation
- 34** Zehn Jahre Lohnreinigung bei der Richard Geiss GmbH
- 35** 25. Werkstofftechnisches Kolloquium in Chemnitz

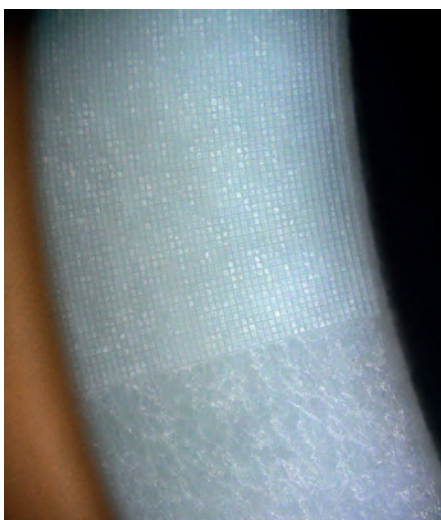
Kommerzielle Beschichtung hergestellt durch Magnetronspattern



Beschichtung hergestellt mit S3p®



27 Vergleich von Beschichtungsverfahren für komplexe Bauteilgeometrien



4 Beschichtungen ohne PFAS

36 VOA-Labor-Workshop

VERBÄNDE

- 36 Interaktiver VOA-Labor-Workshop für Beschichter
- 37 Nicht-Einsatz von Chrom(VI) – wirtschaftliche Folgen
- 38 Deutsche Gesellschaft für Galvano- und Oberflächentechnik e. V. (DGO)

UNTERNEHMENSINFORMATIONEN

- 40 Hauser + Walz GmbH fusioniert mit der ProWaTech AG – Fraunhofer ILT und KIMM erneuern strategische Partnerschaft in der Laser-Fertigungstechnologie

Zum Titelbild: Die Sager + Mack GmbH stellt auf den ZVO-Oberflächentagen 2026 in Karlsruhe unter anderem die mit dem Leipziger Galvanopreis 2026 ausgezeichnete Anlagentechnologie JETMack vor; Kurzbericht Seite 18 in dieser Ausgabe.

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 2026 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. 15 vom 20. September 2025

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, 2025

PFAS-freie Beschichtungen

Das Fraunhofer ILT entwickelt laserbasierte Verfahren für die Herstellung von PFAS-freien Funktionsschichten auf Metallbauteilen, Gleitlagerkomponenten und Elastomerwalzen. Die Projekte *RePEEK*, *EPOS*, *LEMBAS* und *pureWaterSeal* zeigen nach Mitteilung des Instituts, dass der Ausstieg aus den Ewigkeitschemikalien nicht allein durch geeignete Ersatzmaterialien gelingt. Ebenso entscheidend sind demnach Fertigungsprozesse.

Per- und polyfluorierte Alkylsubstanzen, kurz PFAS, sind funktional kaum zu übertreffen: Sie sind chemisch und thermisch extrem stabil und genau deshalb regulatorisch unter Druck. Doch die etablierten Stoffe lassen sich nicht einfach austauschen: Sie senken Reibung, schützen vor Verschleiß und Korrosion, verhindern Anhaftungen und sichern Notlaufeigenschaften, wenn Schmierfilme versagen. Wer sie ersetzen will, braucht nicht nur ein anderes Material, sondern auch ein Verfahren, das dieses Material zuverlässig auf sehr unterschiedliche Bauteile bringt.

In den Projekten *RePEEK*, *EPOS*, *LEMBAS* und *pureWaterSeal* entwickelt das Fraunhofer-Institut für Lasertechnik ILT laserbasierte Verfahren für PFAS-freie Hochleistungsbeschichtungen auf großen Metallbauteilen, Gleitlagern, Dichtungen und empfindlichen Elastomerwalzen. Je nach Anwendung trägt der Laser Schichten auf, schmilzt Werkstoffe lokal auf oder strukturiert Oberflächen gezielt. Dabei bringt er die Energie präzise, räumlich begrenzt und nur für kurze Zeit in das Bauteil ein. So lassen sich PFAS-freie Ersatzwerkstoffe verarbeiten, die klassische Ofenprozesse

se nur mit hohem Energieaufwand aufbringen oder bei denen die notwendige Wärme das darunterliegende Bauteil schädigen.

Material allein löst das Problem nicht

Der Wunsch nach PFAS-freien Alternativen klingt zunächst einfach: Ein kritischer Stoff soll verschwinden, ein anderer soll seine Aufgabe übernehmen, sagt Dr. Samuel Moritz Fink, Gruppenleiter Dünnschichtverfahren am Fraunhofer ILT. In der Praxis sei dieser Austausch jedoch deutlich komplexer. *PFAS-haltige Materialien sitzen oft genau dort, wo Bauteile am stärksten belastet werden.*

Ersatzstoffe müssen auf Metall, Kunststoff oder Gummi haften, hohe Temperaturen aushalten, sich bei Belastung nicht lösen und auch bei großen Bauteilen wirtschaftlich aufgebracht werden können. Ein Material wie Polyetheretherketon (PEEK) ist Fink zufolge chemisch und mechanisch sehr interessant, erreicht aber nicht automatisch alle Eigenschaften von beispielsweise Polytetrafluorethylen (PTFE). PEEK ist steifer, teurer und je nach Anwendung schwieriger zu verarbeiten. *Für viele industrielle Bauteile reicht es daher*

nicht, ein anderes Pulver, eine andere Folie oder einen anderen Kunststoff auszuwählen. Entscheidend ist das Verfahren. Wie kommt das Ersatzmaterial auf die Oberfläche? Wie verbindet es sich mit dem Bauteil? Wie lässt sich verhindern, dass ein temperaturempfindlicher Werkstoff darunter beschädigt wird? Wir betrachten PFAS-Alternativen nicht als reine Materialfrage, erläutert Dr. Christian Vedder, Abteilungsleiter Oberflächentechnik und Formabtrag am Fraunhofer ILT. *Unsere Forschung konzentriert sich auf laserbasierte Verfahren, mit denen sich innovative Schichtsysteme gezielt aufbauen lassen. Laserprozesse setzen genau dort an, wo ein Ersatzmaterial die geforderten Eigenschaften nicht vollständig erreicht. Sie strukturieren Oberflächen, verbessern die Verbindung zum Bauteil oder verändern Schichten lokal, ohne das gesamte Bauteil stark zu erwärmen.*

RePEEK: PEEK-Beschichtungen im Hybridverfahren

Im Projekt *RePEEK* untersuchen die Oberflächenexperten, wie sich PEEK-basierte Beschichtungen auf metallische Bauteile aufbringen lassen, die in bewegten und stark belasteten Systemen arbeiten. Im Fokus stehen Anwendungen aus dem Maschinenbau: große Gleitlager, Dichtungen, Kolben und Magnetventile. Besonders anschaulich wird die Aufgabe bei großen Gleitlagern, wie sie in Windkraftanlagen vorkommen: Eine Welle läuft in einer beschichteten Lagerschale, bislang meist mit PTFE-haltigen Schichtsystemen. Wie der Name schon ahnen lässt, setzt *RePEEK* ebenfalls auf PEEK.

PEEK wird heute bei großen Bauteilen oft als Folie aufgebracht oder als Pulver verarbeitet und anschließend thermisch gefügt, sagt Samuel Fink. Bei kleinen Bauteilen könne das funktionieren. Bei tonnenschweren Metallkomponenten werde es dagegen aufwendig: *Das gesamte Bauteil muss in einen Ofen, auf hohe Temperatur gebracht und danach wieder langsam abgekühlt werden. Der Energieaufwand ist hoch, der Prozess dauert lange, und erhitzt wird am Ende viel mehr Material, als für die eigentliche Beschichtung nötig wäre.*



Im Projekt *RePEEK* entwickelt Dr. Samuel Moritz Fink (r.) gemeinsam mit Rebar Hama-Saleh Abdullah (l.) und Julius Funke ein neuartiges Verfahren, um PEEK laserbasiert auf metallische Bauteile aufzubringen
(© Fraunhofer ILT, Aachen)

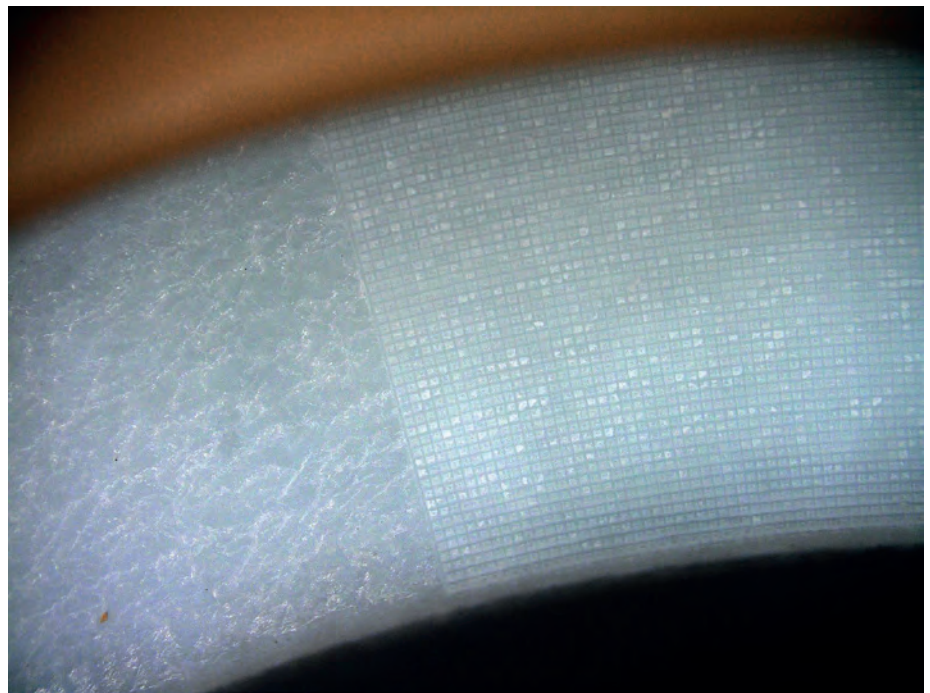
Die Forschenden erzeugen zunächst mit einem laserbasierten Auftragsverfahren eine metallische Schicht. Diese Oberfläche ist gezielt rau und gibt dem Kunststoff Halt. Anschließend bringen sie PEEK-Pulver im selben Prozessumfeld auf und schmelzen es lokal auf. Der Kunststoff verankert sich in der rauen Metalloberfläche; so entsteht ein Verbund aus metallischer Funktionsschicht und PEEK-basierter Deckschicht.

Das Team hat für das PEEK-Pulver eine spezielle Düsentechnik entwickelt und das Verfahren bereits zum Patent angemeldet. Eine Zyklondüse bremst den Gasstrom stark ab, sodass das Pulver mit geringer Geschwindigkeit auftrifft, statt abzuprallen. Dadurch nutzt der Prozess mehr Material, lässt sich besser steuern und arbeitet effizienter.

EPOS: Mehrlagige PEEK-Schichten für große Gleitlager

An RePEEK schließen bereits weitere Arbeiten an. Im Projekt EPOS untersucht Delil Idris Demir am Fraunhofer ILT, wie sich PEEK-basierte Schichten auf großformatigen Gleitlagerkomponenten prozesssicher und in mehreren Lagen aufbauen lassen. Der schrittweise Auftrag soll größere Schichtdicken ermöglichen, ohne tonnenschwere Bauteile vollständig in einem Ofen zu erwärmen. ACS Coating Systems bringt dafür seine langjährige Erfahrung mit PEEK-Beschichtungen ein, insbesondere auch für ebensolche Gleitbeschichtungen. Das Unternehmen entwickelt solche Schichtsysteme seit Mitte der 1990er-Jahre und fertigt heute Beschichtungen mit Dicken von wenigen Mikrometern bis zu einem Millimeter. Geschäftsführer Dr. Christoph Stecher begleitet das Projekt mit Blick auf den Schichtaufbau, die industrielle Applikation und die spätere Serienfertigung.

Die Polymer Service GmbH Merseburg, kurz PSM, prüft und bewertet die entstehenden Schichten unter der Leitung von Prof. Dr. Katrin Reincke. Im Fokus stehen unter anderem die Kristallinität, die Gefügestruktur und der thermische Zustand des PEEK sowie die mechanischen und thermomechanischen Eigenschaften. Diese Daten sollen dabei helfen, den Laserprozess und den mehrlagigen Schichtaufbau so aufeinander abzustimmen, dass die Beschichtung gleichmäßig haftet und den Belastungen im Gleitlager dauerhaft standhält. EPOS verbindet damit die laserbasierte Prozessentwicklung des Fraunhofer ILT, die industrielle Beschichtungserfahrung von ACS und die werkstofftechnische Expertise von PSM.



Die PFAS-freie DLC-Beschichtung wird durch eine laserbasierte Mikrostrukturierung gezielt angepasst. Die strukturierte Variante (rechts im Bild) reduziert innere Spannungen und ermöglicht den Einsatz wasserbasierter Schmiermittel
(© Fraunhofer ILT, Aachen)

LEMBAS: Antihafschichten für empfindliche Elastomerwalzen

Das Projekt LEMBAS setzt bei elastomeren Walzen und Rollen an, wie sie in der Folienherstellung, Verpackungsindustrie, Papierproduktion und Medizintechnik laufen. Partikel aus der Walzenoberfläche können dort schnell zum Problem werden.

Bisher nutzen Unternehmen für solche Anwendungen häufig Silikonbeschichtungen, erklärt Adam El-Sarout, ebenfalls aus der Gruppe Dünnschichtverfahren am Fraunhofer ILT. Sie böten zwar die nötigen Antihafteigenschaften, erreichten aber nicht immer die Beständigkeit, die moderne Hochgeschwindigkeitsprozesse verlangen. Bei dem Projekt LEMBAS entwickelt das Team gemeinsam mit dem Beschichtungsspezialisten Rhentherm laserbasierte Verfahren, bei denen Hochleistungspolymere wie PEEK, Polyamid oder Polypropylen zum Einsatz kommen. Diese Materialien sind abriebfester, chemisch beständiger und langlebiger als Silikon und kommen vollständig ohne PFAS aus.

Die technische Hürde liegt laut El-Sarout im Temperaturfenster. Hochleistungspolymere bräuchten beim Aufschmelzen hohe Temperaturen. Elastomere wie EPDM vertragen diese Wärme aber nur begrenzt. *Würde man eine Gummiwalze vollständig in einem Ofen erhitzen, würde das Substrat Schaden nehmen.* Der Laser löst dieses Problem: Er erzeugt die

hohe Temperatur nur lokal und nur für kurze Zeit im Beschichtungsmaterial. So schmilzt die Funktionsschicht auf, während das elastomere Bauteil darunter thermisch geschont bleibt. Damit die Schicht dauerhaft hält, entwickeln die Forschenden neben dem Antihafmaterial auch eine Zwischenschicht, die das Elastomer schützt und die Verbindung zur Deckschicht stärkt. Außerdem passen sie die optischen und rheologischen Eigenschaften der Materialien an den Laserprozess an und untersuchen geeignete Verfahren für Auftrag und Laservorbehandlung.

Ein Ersatzstoff muss nicht nur die gewünschte Funktion erfüllen, sondern auch zum Bauteil, zur Temperaturgrenze des Substrats und zum Produktionsprozess passen, sagt Vedder. Gelingt dieser Schritt, verbindet das Verfahren mehrere Vorteile: weniger Abrieb, weniger Produktverunreinigungen, weniger Reinigungs- und Lösungsmittel sowie deutlich weniger Energieaufwand als bei klassischen Ofenprozessen.

pureWaterSeal: PFAS-freie Dichtungen für wasserbasierte Schmiermittel

Im Projekt pureWaterSeal entwickeln Experten der Fraunhofer-Institute für Lasertechnik ILT und für Werkstoffmechanik IWM nachhaltige Dichtungen, die ohne PFAS auskommen und sich mit wasserbasierten Schmiermitteln betreiben lassen. Damit setzt das Team zu-

WERKSTOFFE

gleich bei zwei Umweltproblemen an: PFAS reichern sich dauerhaft in der Umwelt an, während ölhaltige Schmierstoffe Böden und Gewässer belasten.

Matthias Laermann, Leiter des Teams Oberflächenstrukturierung am Fraunhofer-Institut für Lasertechnik ILT betont, dass allein in Deutschland jährlich rund eine Million Tonnen ölhaltiger Schmierstoffe verbraucht werden. Ein einziger Liter könne bis zu einer Million Liter Grundwasser verseuchen. Die Folgen seien verödete Böden, verseuchte Nahrungsmittel und zerstörte Ökosysteme. *Wir finden Lösungen, die diese Herausforderungen zusammen adressieren*, so Laermann.

Forschende des Fraunhofer IMW entwickeln hierfür diamantähnliche Kohlenstoffbeschichtungen (Diamond-like carbon, DLC), die für PFAS-freie Kunststoffkomponenten ausgelegt sind. Das Fraunhofer ILT-Team strukturierte die Beschichtung anschließend mit dem Laser und baute dadurch innere Spannungen und mechanische Belastungen lokal

ab, ohne die Stabilität der gesamten Schicht zu beeinträchtigen. Gleichzeitig senkt die Kombination aus Beschichtung und Laserstrukturierung die Reibung, erhöht die Verschleißfestigkeit und verlängert die Lebensdauer der Dichtungen.

Erste Prototypen arbeiten bereits in Pumpen von Geothermiekraftwerken. Gemeinsam mit Industriepartnern passen die Forschenden die Dichtungen an weitere Einsatzfelder an, darunter Anwendungen in Pkw, Schiffschrauben, Windrädern und Erntemaschinen. Parallel wird die Übertragung auf größere Anlagen und industrielle Stückzahlen vorbereitet.

Der Laser macht den Materialwechsel erst praktikabel

Die unterschiedlichen Projekte am Fraunhofer ILT zeigen, dass der PFAS-Ausstieg kein reiner Materialwechsel ist, sondern auch passende Fertigungs- und Oberflächenprozesse erfordert. Der Laser spielt dabei eine Schlüsselrolle: Er trägt Materialien lokal auf, schmilzt

sie gezielt auf oder strukturiert Funktionsschichten, ohne das darunterliegende Bauteil unnötig zu belasten.

Für Unternehmen entsteht dadurch ein neuer Spielraum. Sie müssen nicht auf eine einzige Ersatzlösung warten, die alle PFAS-Anwendungen abdeckt. Das Fraunhofer ILT entwickelt gemeinsam mit Industriepartnern angepasste Schichtsysteme für unterschiedliche Bauteile und Anforderungen: reibungsarme Oberflächen für Gleitlager, abriebfeste Antihafschichten für Walzen sowie PFAS-freie Dichtungssysteme für wasserbasierte Schmiermittel.

Kontakt

Dr. Christian Vedder, Fraunhofer-Institut für Lasertechnik ILT, Abteilungsleiter Oberflächentechnik und Formabtrag,
E-Mail: christian.vedder@ilt.fraunhofer.de

Dr. Samuel Fink, Fraunhofer-Institut für Lasertechnik ILT, Gruppenleiter Dünnschichtverfahren,
E-Mail: samuel.fink@ilt.fraunhofer.de

➔ www.ilt.fraunhofer.de

Neue NMR-Analytik am Fraunhofer IAP stärkt Materialforschung

Tiefe Einblicke in komplexe Stoffgemische, präzisere Aussagen zu Struktur-Eigenschafts-Beziehungen und neue Möglichkeiten für Qualitätskontrolle und Prozessoptimierung: Mit einer neuen Infrastruktur für Kernmagnetische Resonanzspektroskopie (NMR) unterstützt das Fraunhofer-Institut für Angewandte Polymerforschung IAP im Potsdam Science Park Unternehmen der Kunststoff-, Faser- und Werkstoffindustrie bei der Entwicklung und Verbesserung von anspruchsvollen Materialien. Im Fokus stehen Polymaterialien, von schwer löslichen Substanzen über Gele bis hin zu chemisch beständigen Kunststoffen und Carbonfaser-Zwischenprodukten.

Unternehmen aus der Kunststoff-, Faser- und Werkstoffindustrie arbeiten kontinuierlich an hochwertigeren und leistungsstärkeren Materialien, die komplexe Anforderungen erfüllen: nachhaltige Kunststoffe, funktionalisierte

Polymerblends, Hochleistungs- und biobasierte Fasern.

Die Leistungsfähigkeit eines Polymaterials wird maßgeblich durch seine molekulare und übermolekulare Struktur bestimmt, erläutert Dr. Melanie Bartel, Wissenschaftlerin im Bereich Polymer Engineering am Fraunhofer IAP. Wer neue Werkstoffe entwickeln oder bestehende Produkte optimieren möchte, müsse die Zusammenhänge zwischen dem Prozess, der Struktur und den Materialeigenschaften verstehen, die daraus resultieren. *Genau hier liefert die NMR-Analytik hochpräzise und quantifizierbare Strukturinformationen, die mit anderen analytischen Verfahren häufig nur qualitativ oder in Kombination zugänglich sind*, so Bartel.

Die neue NMR-Ausstattung am Fraunhofer IAP ermöglicht es, polymere Systeme in Lösung, als Gel und als Feststoff auf molekularer Ebene zu analysieren. So lassen sich so-

wohl Änderungen der chemischen Struktur als auch der Molekulanordnung nachvollziehen, etwa bei der Umwandlung von Carbonfaser-Vorläufermaterialien (Präkursoren) zu Carbonfasern oder bei der Modifizierung von biobasierten Polymeren.

NMR-Infrastruktur für Materialforschung, Prozessverständnis und Qualitätskontrolle

Herzstück der Infrastruktur ist ein 500-MHz-NMR-Spektrometer mit drei zusätzlichen Probenköpfen. Flüssigkeiten, Gele und Feststoffe können damit an nur einem Spektrometer analysiert werden. Das erweitert die Möglichkeiten in der Qualitätskontrolle, bei der Untersuchung von Prozessüberständen und bei der Analyse von Strukturänderungen entlang der gesamten Prozesskette.

Unsere Partner erhalten speziell auf ihre Fragestellung abgestimmte Probenvorberei-



Dr. Melanie Bartel verantwortet die NMR-Analytik am Fraunhofer IAP. Für Messungen mit dem NMR-Spektrometer nutzt sie den Autosampler des Geräts

(© Fraunhofer IAP / Jadwiga Galties)

tungen, angepasste Messbedingungen und Antworten, betont Bartel. Wir können zeigen, welche Strukturänderungen während einer Synthese oder Verarbeitung auftreten und wie diese mit den Materialeigenschaften korrelieren. Das helfe, Fehlentwicklungen frühzeitig zu erkennen und Optimierungsprozesse gezielter zu steuern. Zudem ermöglicht NMR-Analytik, die Zusammensetzung unbekannter Materialien und darin enthaltener Additive zu entschlüsseln.

Diffusions-NMR für die Analyse komplexer Stoffgemische und Formulierungen

Mit der Diffusions-NMR ist ein weiteres Werkzeug hinzugekommen, um komplexe Substanzgemische in Lösung und Diffusionsprozesse deutlich umfassender zu charakterisieren als bisher. Das Verfahren unterscheidet Polymere, Oligomere und Monomere anhand ihrer Beweglichkeit im Lösungsmittel und liefert dadurch zusätzliche Informationen über Molekülgrößen, den spezifischen Transport von Wirkstoffen und Dynamiken. Für Unternehmen ist das besonders relevant, wenn komplexe Formulierungen oder Vorprodukte bewertet werden sollen, etwa bei Harzen, Lacken oder Faservorprodukten. Auch Diffusionsprozesse in einzelnen Prozessschritten lassen sich besser beurteilen, da Diffusionskoeffizienten von einzelnen Bestandteilen detektiert und Einblicke in die Mobilität und Wechselwirkung von Molekülen gewonnen werden können.

NMR-Messungen unter praxisnahen Temperaturbedingungen

Eine erweiterte Temperiereinheit ermöglicht Messungen in einem Bereich von -150 °C bis +150 °C. Reaktionen lassen sich damit direkt unter praxisnahen Bedingungen im NMR-Spektrometer verfolgen. Unternehmen gewinnen so Einblicke in Reaktionskinetik,

Temperaturfenster und Prozessstabilität. Diese Informationen können unmittelbar in die Auslegung und Verbesserung von industriellen Prozessen einfließen, beispielsweise bei thermisch sensiblen Materialien, reaktiven Harzsystemen oder temperaturabhängigen Umwandlungsprozessen.

Mikroplastikanalytik in Böden und Umweltproben

Auch bei der Analyse von Bodenproben eröffnet die NMR neue Möglichkeiten. So lässt sich die Mikroplastikkontamination in verschiedenen Böden schnell und effizient untersuchen. Die Methode ermöglicht die Charakterisierung von polymeren Bestandteilen in komplexen Bodenmatrizes sowie die Bestimmung der chemischen Zusammensetzung von Mikroplastikpartikeln. Damit unterstützt die NMR-Analytik die Unterscheidung verschiedener Polymerarten und schafft eine verlässliche analytische Datengrundlage für Umweltbewertungen, Eintragsanalysen und Stoffstromuntersuchungen. Ob Humus, Waldboden, Agrar- oder Meeresboden: Die Festkörper-NMR liefert wertvolle Einblicke in die Art und das Ausmaß der Kunststoffbelastung unterschiedlicher Ökosysteme.

Carbonfasern – gezielt optimieren – Prozesse verstehen – entwickeln

Carbonfaser-Präkursoren, also die polymeren Vorläufermaterialien, durchlaufen während der Umwandlung zu Carbonfasern mehrere Zwischenstufen, die sich mit klassischen Analyseverfahren kaum untersuchen lassen. Hier spielt die Festkörper-NMR ihre besonderen Stärken aus. Die neue Ausstattung macht chemische Strukturveränderungen in diesen Phasen sichtbar und schafft eine fundierte Grundlage, um Herstellungsprozesse gezielt zu optimieren. Für die Entwicklung leistungsfähiger Carbonfasern ist es laut Bartel entscheidend zu verstehen, welche molekularen und übermolekularen Veränderungen während der thermischen Konvertierung stattfinden. *Mit der erweiterten Festkörper-NMR können wir diese Prozesse deutlich detaillierter untersuchen und Prozess-Struktur-Eigenheits-Beziehungen systematisch aufklären.* Die Forschenden am Fraunhofer IAP setzen die leistungsstarke NMR-Analytik bereits erfolgreich in verschiedenen Carbonfaserprojekten ein. So stehen im Rahmen der Carbon-LabFactory Brandenburg, einem Vorhaben des BMW-Förderprogramms STARK, neuartige ultrahochmolekulare Polyacrylnitril (PAN)-Copolymere im Mittelpunkt, die sich



Die NMR-Infrastruktur am Fraunhofer IAP liefert präzise Einblicke in komplexe Stoffgemische und unterstützt Qualitätskontrolle sowie Prozessoptimierung

(© Fraunhofer IAP / Jadwiga Galties)

besonders zur Herstellung von hochfesten Carbonfasertypen eignen. Im Projekt *Com-Carbon* entwickelten die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler schmelzspinnbare PAN-Copolymere, die den Herstellungsprozess von Carbonfasern deutlich wirtschaftlicher gestalten können.

Analytik und Materialinnovation aus einer Hand

Unternehmen und Forschungseinrichtungen erhalten beim Fraunhofer IAP ein umfassendes Analytik- und Entwicklungsangebot aus einer Hand – von der Probenvorbereitung über die Entwicklung individueller Messstrategien bis zur Interpretation der Ergebnisse. Die Expertinnen und Experten des Instituts unterstützen ihre Partner dabei, konkrete Fragestellungen aus Forschung, Entwicklung und Qualitätskontrolle effizient zu beantworten. Die neue NMR-Infrastruktur steht für gemeinsame Entwicklungsprojekte, für industrielle Kooperationen zur Strukturaufklärung sowie langfristige Forschungs- und Innovationskooperationen zur Verfügung.

➔ www.iap.fraunhofer.de



Polymermaterialien in Lösung, als Gel oder im Festkörper lassen sich mittels NMR detailliert analysieren – in schwer lösliche Kunststoffe, Harzsysteme oder Vorläufermaterialien für Fasern (© Fraunhofer IAP / Jadwiga Galties)

Industrielle Teilereinigung als Schlüssel für erfolgreiches Remanufacturing

Wert erhalten statt neu produzieren: Industrielle Teilereinigung schafft die Voraussetzung für wirtschaftlich skalierbares Remanufacturing und unterstützt eine nachhaltige Produktion, wie die BvL Oberflächentechnik ausführt.

Hochwertige Bauteile nach ihrem ersten Einsatz erneut zu verwenden, schont Ressourcen und kann die Kosten gegenüber einer Neuproduktion deutlich reduzieren. Ob Remanufacturing jedoch technisch sicher und wirtschaftlich funktioniert, entscheidet sich häufig bereits bei der industriellen Bauteilreinigung. Erst saubere Oberflächen ermöglichen eine zuverlässige Bewertung des Bauteilzustands und bilden die Grundlage für alle weiteren Prüf-, Bearbeitungs- und Montageprozesse. Automatisierte Reinigungs- und Entlackungsprozesse schaffen die hierfür erforderliche Prozesssicherheit.

Saubere Oberflächen als Voraussetzung für sichere Entscheidungen

Risse, Korrosion, Maßabweichungen oder Materialschädigungen lassen sich nur erkennen, wenn die Oberfläche frei zugänglich ist. Auch nachfolgende Prozesse wie Beschichten, Bearbeiten oder Montieren benötigen definierte Sauberkeitszustände.

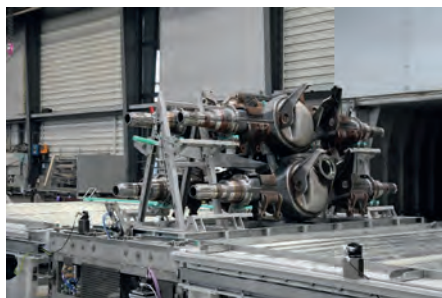
Die industrielle Bauteilreinigung ist der *Gatekeeper* der industriellen Kreislaufwirtschaft. Sie entscheidet, ob aus einem gebrauchten Teil ein sicherer Bestandteil eines neuen Produkts wird. Damit wird sie zugleich zum entscheidenden Faktor für die Wirtschaftlichkeit des gesamten Remanufacturing-Prozesses. Denn nur wenn Reinigungsergebnisse reproduzierbar sind, lassen sich auch Prüf-, Bearbeitungs- und Montageprozesse zuverlässig standardisieren und wirtschaftlich skalieren. Diese Prozesssicherheit entsteht durch automatisierte oder teilautomatisierte Reinigungs- und Entlackungsprozesse. Sie sorgen für reproduzierbare Ergebnisse, reduzieren manuelle Tätigkeiten und senken Ausschussrisiken. So wird Remanufacturing auch in industriellen Stückzahlen wirtschaftlich beherrschbar.

Die BvL Oberflächentechnik GmbH entwickelt hierfür kundenspezifische Anlagenkonzepte. Je nach Bauteil, Verschmutzung und Prüfanforderung werden wässrige Reinigungungsverfahren, Werkstückträger, Medienaufbereitung und Trocknung gezielt aufeinander abgestimmt. Zum Einsatz kommen dabei unter anderem Spritz- und Flutprozesse, Ultraschall, Hochdruckwassertechnik sowie kom-

binierter Vor- und Nachreinigungen. Wie sich dadurch reproduzierbare Reinigungsprozesse für unterschiedliche Remanufacturing-Anwendungen realisieren lassen, zeigen die folgenden Praxisbeispiele.

Motoren-Remanufacturing: ein stark automatisierter, reproduzierbarer Entlackungs- und Reinigungsprozess

Bei Kurbelgehäusen, Zylinderköpfen, Turboladern und weiteren Motorenkomponenten treffen komplexe Geometrien auf Öl, Fett, Ruß, Verkokungen, Lackschichten und Korrosion. Ein europäischer Remanufacturing-Spezialist setzt deshalb auf eine kundenspezifische BvL-Anlage, die Graugussteile bis



Effiziente Reinigung von Lkw-Achsen
(Bild: BvL Oberflächentechnik)



Reinigung vom Motorenkomponenten in Waschkörben (Bild: BvL Oberflächentechnik)

in den mehrtonnigen Bereich automatisiert hochdruckreinigt und entlackt.

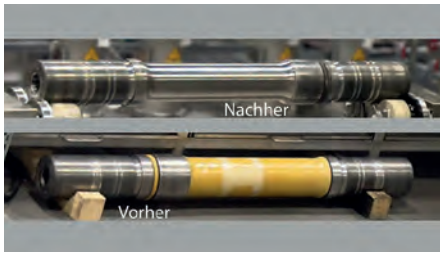
Die Bauteile werden auf spezifischen Werkstückträgern fixiert. Ein Roboter führt das Wasserwerkzeug gezielt an Außenflächen, Bohrungen und Innenbereiche; eine zusätzliche Werkstückrotation reduziert Spritzschatten. Niederdruck-Vor- und Nachreinigungen ergänzen den Prozess. Dadurch lassen sich personalintensive manuelle Arbeiten ersetzen und gleichbleibende Bedingungen für Sichtprüfung, Rissprüfung, Maßkontrolle und die Bewertung von Dicht- und Funktionsflächen schaffen. Bei hohem Schmutzeintrag sichern ausreichend dimensionierte Tanks, Ölabscheider, Grob- und Feinfiltration sowie eine abgestimmte Medienpflege lange Badstandzeiten. Stabile Prozesse reduzieren Nacharbeit, Ausschuss und ungeplante Badwechsel.

BvL-Reinigungsanlagen kommen sowohl bei Pkw-Motoren als auch bei Komponenten von Nutzfahrzeugen, Großmotoren für Gaskraftwerke und Anwendungen in der maritimen Industrie zum Einsatz. Das Spektrum an Anlagen reicht von der Reinigung kleiner Motorenbauteile bis hin zur Reinigung von großformatigen Komponenten wie Teilen von Lkw- und Schiffsmotoren sowie Achs- und Antriebskomponenten. Reinigungsverfahren, Anlagenkonzept und Prozessführung werden dabei individuell auf Bauteil, Verschmutzung und Produktionsablauf abgestimmt.

Prozesssichere Reinigung und Entlackung für die Bahnstandhaltung

In der Bahnbranche sind Drehgestelle, Radatzkomponenten, Fahrmotoren, Lager und Anbauteile Bremsabrieb, Sand, Fett, Korrosion und Schmierstoffen ausgesetzt. Vor turnusmäßigen Prüfungen und der Aufarbeitung müssen diese Rückstände zuverlässig entfernt werden, ohne empfindliche Lagerstellen, Dichtsysteme oder elektrische Bereiche zu beeinträchtigen. BvL entwickelt dafür kundenspezifische Reinigungsanlagen, die auch bei hohen Stückzahlen und kurzen Taktzeiten reproduzierbare Ergebnisse ermöglichen.

Ein aktuelles Projekt zeigt die Bedeutung der Entlackung besonders deutlich: Eine Schlag-



Metallisch blanke Oberfläche von Radsatzwellen für anschließende Ultraschall- und Magnetpulverprüfungen in der Bahninstandhaltung
(Bild: BvL Oberflächentechnik)

schutzbeschichtung auf Radsatzwellen wird mit einer vollautomatisierten BvL-Hochdruck-entlackungsanlage vom Typ Geyser entfernt. Die robotergeführte Hochdruckwassertechnik arbeitet nichtabrasiv und oberflächenschonend. Strahlführung, Werkstückrotation und Vorschub werden so aufeinander abgestimmt, dass die Beschichtung vollständig und reproduzierbar entfernt wird, ohne den Oberflächenzustand unnötig zu verändern.



Vollautomatisierte BvL Reinigungs- und Entlackungsanlage vom Typ Geyser mit robotergeführter Hochdruckwassertechnik
(Bild: BvL Oberflächentechnik)

Damit erhält die Radsatzwelle eine metallisch blanke Oberfläche für anschließende Ultraschall- und Magnetpulverprüfungen. Bei dieser Reinigungs- und Entlackungsanlage lag ein besonderer Fokus auf der Effizienz des Anlagenbetriebs. Ein speziell von BvL entwickeltes Energie- und Medienkonzept ermöglicht einen geringen Wasserverbrauch, reduziert Betriebskosten und sichert die Einhaltung hoher Umweltauflagen im Bahnbetrieb.

Kreislaufwirtschaft funktioniert auch im Kleinteiligen

Auch kleinteilige Kunststoffbauteile können durch angepasste Reinigung direkt wiederverwendet werden. In einem Projekt aus der Spielwarenindustrie werden große Schüttgut-mengen in Körben von Hautfetten, Staub und Fremdstoffen befreit. Kombinierte Flut- und Spritzprozesse mit rotierenden oder schwenkenden Körben umspülen die Teile schonend und begrenzen mechanische Belastungen. Besondere Aufmerksamkeit gilt der Trocknung, da Kunststoff wenig Eigenwärme speichert und Restfeuchte leicht in Hohlräumen oder zwischen Kleinteilen verbleibt. Mit individuell ausgelegter Anlagentechnik gelingt ein reproduzierbarer Prozess, der die direkte Wiederverwendung der Bauteile ermöglicht.

Bauteilreinigung als Grundlage industrieller Kreislaufwirtschaft

Die aktuellen Projekte zeigen, dass Reinigung und Entlackung stärker automatisiert, genauer überwacht und enger mit Prüf- und Aufarbeitungsprozessen verzahnt werden. Dadurch wird aus einem schwer kalkulierbaren Reparaturprozess ein industriell beherrschbarer Ablauf.

Industrielle Bauteilreinigung verlängert die Nutzungsdauer hochwertiger Komponenten, reduziert Abfall und unterstützt die Einsparung von Ressourcen und CO₂. Für Unternehmen, die Remanufacturing skalieren wollen, ist sie deshalb keine Nebenfunktion, sondern



Reinigung und Trocknung von Kunststoffteilen als Schüttgut in einem Waschkorb
(Bild: BvL Oberflächentechnik)

eine Grundvoraussetzung für Qualität, Sicherheit und nachhaltige Wertschöpfung.

Über BvL Oberflächentechnik GmbH

Die BvL Oberflächentechnik GmbH ist einer der größten Anbieter für industrielle Reinigungsanlagen auf wässriger Basis in Deutschland. Als Systempartner bietet das Unternehmen individuelle Kundenlösungen an – von der kleinen kompakten Waschanlage über Filtrations- und Automationslösungen bis hin zu komplexen kundenspezifischen Großprojekten mit Prozessüberwachung; immer ergänzt durch zuverlässigen Service. Als Teil eines traditionsreichen Familienunternehmens mit Wurzeln bis ins Jahr 1860 stehen die Eigentümerfamilien in fünfter Generation für technische Exzellenz, Innovationskraft und absolute Verlässlichkeit. Derzeit sind rund 170 Mitarbeitende im Unternehmen tätig. Im Export verfügt BvL über eine starke Marktposition und ein umfassendes Vertriebs- und Servicenetzwerk in 20 Ländern.

➔ www.bvl-cleaning.com



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

Rohstoffe werden knapp, Lieferketten bleiben anfällig, Abfälle kosten Geld, Regularien werden verschärft. Das von Fraunhofer IPA und Fraunhofer IAO mitherausgegebene *Handbuch Kreislauffähige Wertschöpfung* zeigt, wie Unternehmen Produkte länger nutzen, Materialien zurückführen und neue Geschäftsmodelle entwickeln können.

In Fabriken, Werkstätten, Recyclinganlagen und Entwicklungsabteilungen entscheidet sich, wie viel Wert in einem Produkt steckt – und wie viel davon verloren geht. Ein Elektromotor lässt sich reparieren statt ersetzen. Kunststoff kann als Rohstoff in neue Produkte zurückfließen. Doch viele Unternehmen arbeiten noch nach dem Muster: herstellen, verkaufen, nutzen, wegwerfen. Dieses lineare System verbraucht Rohstoffe, erzeugt Abfälle und macht Betriebe anfällig für schwankende Preise und unsichere Lieferketten.

Mit dem *Handbuch Kreislauffähige Wertschöpfung – Schlüsselkonzepte, Technologien, Geschäftsmodelle und Rahmenbedingungen* legen das Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und Automatisierung IPA und das Fraunhofer-Institut für Arbeitswirtschaft und Organisation IAO gemeinsam mit weiteren Expertinnen und Experten einen praxisnahen Überblick vor.

Herausgegeben haben das Handbuch Prof. Dr. Alexander Sauer, Institutsleiter am Fraunhofer IPA, Dr. Robert Miehle, Leiter Nachhaltige Wertschöpfungssysteme am Fraunhofer IPA und Prof. Dr. Katharina Hölzle, Institutsleiterin am Fraunhofer IAO. *Kreislauffähige Wertschöpfung bedeutet nicht, Abfall besser zu verwalten. Sie beginnt viel früher: beim Design, bei der Materialwahl, beim Geschäftsmodell und den Daten entlang des gesamten Produktlebenszyklus*, ordnen die Herausgebenden im Handbuch ein. Der Band zeigt damit, warum Recycling allein nicht reicht. Produkte müssen so entstehen, dass sie sich reparieren, wiederverwenden, aufarbeiten oder hochwertig recyceln lassen.

Heute verlieren viele Produkte am Ende ihrer Nutzung fast ihren gesamten Wert. Bauteile landen im Schrott, obwohl sie noch funktionieren. Materialien werden gemischt, obwohl sie sich getrennt wiederverwenden ließen. Unternehmen wissen oft nicht genau, welche Stoffe in alten Produkten stecken, welchen Zustand Komponenten haben oder wie sie sich wirtschaftlich zurückführen lassen.

Weiterverwenden statt Wegwerfen

Das Handbuch erklärt die wichtigsten Bausteine einer kreislauffähigen Wirtschaft klar

und anwendungsnah. Es beschreibt, wie Unternehmen Produkte, Prozesse und Lieferketten so gestalten können, dass Rohstoffe länger im Umlauf bleiben. Dazu gehören reparierbare Produkte, modulare Bauweisen, digitale Informationen über Materialien, neue Serviceangebote und Kooperationen über Unternehmensgrenzen hinweg.

Ein weiteres zentrales Thema ist die Digitalisierung. Der digitale Produktpass kann zum Beispiel speichern, welche Materialien ein Produkt enthält, wie es genutzt wurde und wie sich Bauteile demontieren lassen. Solche Informationen helfen Herstellern, Reparaturbetrieben, Recyclingunternehmen und Kunden. Sie senken Suchaufwand, vermeiden Fehlentscheidungen und machen Sekundärrohstoffe besser nutzbar.

Am Ende müssen die Unternehmen Geld verdienen: Hierzu braucht es ein Umdenken bei den Geschäftsmodellen. So verkaufen Unternehmen bei zirkulären Geschäftsmodellen nicht nur ein Produkt, sondern bieten in einem Produkt-Service-System die Nutzung, Wartung und Rücknahme in Kombination an. Wer Eigentümer des Produkts bleibt, profitiert stärker davon, wenn Materialien und Komponenten ihren Wert behalten.

Der praktische Nutzen liegt dabei auf mehreren Ebenen: Unternehmen können Rohstoffe sparen, Kostenrisiken senken und sich unabhängiger von volatilen Märkten machen. Produkte, die sich leichter reparieren oder aufarbeiten lassen, verursachen weniger Aufwand am Lebensende. Weniger Materialverlust bedeutet weniger Abfall, geringere Umweltbelastung und mehr Versorgungssicherheit. Aus dem Problem von knappen Ressourcen entsteht so eine konkrete Gestaltungsaufgabe für Entwicklung, Produktion, Einkauf und Management.

Wissen für den Transfer in die Praxis

Der Band bündelt Beiträge aus Forschung und Anwendung. Er führt von den Grundlagen über Technologien bis hin zu konkreten Handlungsfeldern in Unternehmen. Die Kapitel behandeln unter anderem Kunststoffe, Elektrofahrzeuge, Elektromotoren, Produktionsmanagement, Produktentwicklung, zir-

kuläres Controlling, Blockchain, digitale Zwillinge und den digitalen Produktpass. Auch rechtliche Rahmenbedingungen, Kompetenzen und Weiterbildung kommen zur Sprache. Ein Praxisbeispiel aus dem Maschinen- und Anlagenbau zeigt, wie Unternehmen den Wandel angehen können. Weitere Beiträge erklären, warum Kreislaufwirtschaft nur funktioniert, wenn Betriebe Daten teilen, Rückführnetzwerke aufbauen und schon in der Entwicklung das spätere Zerlegen, Reparieren oder Wiederverwenden mitdenken.

Das Handbuch soll eine gemeinsame Wissensbasis schaffen und konkrete Orientierung geben. Der nächste Schritt liegt nun in der Anwendung. Unternehmen müssen prüfen, wo sie Materialverluste vermeiden, Produkte langlebiger machen und Rückflüsse organisieren können.

Kreislauffähige Wertschöpfung wird damit nicht zur Zusatzaufgabe für Nachhaltigkeitsabteilungen. Sie wird Teil industrieller Wettbewerbsfähigkeit. Das neue Handbuch liefert dafür Wissen, Begriffe, Beispiele und Methoden – frei zugänglich für alle, die den Wandel gestalten wollen.

Die digitale Ausgabe ist Open Access verfügbar. Die Druckversion ist am 10. Juli 2026 bei Springer Gabler erschienen. Das Handbuch wurde durch das Bundesministerium für Forschung, Technologie und Raumfahrt (BMFTR) im Programm *Zukunft der Wertschöpfung* gefördert. Die Open-Access-Publikation wird unter der Creative Commons Namensnennung 4.0 International Lizenz (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.de>) veröffentlicht. Die Druckversion ist erhältlich unter ISBN 978-3-658-46548-3, als eBook unter ISBN 978-3-658-46549-0.

Kostenloser Download

➔ <https://doi.org/10.1007/978-3-658-46549-0>

Kontakt

Sonja Ziehn, Fraunhofer-Institut IPA;
E-Mail: sonja.ziehn@ipa.fraunhofer.de

➔ www.ipa.fraunhofer.de

Andreas Werner, Fraunhofer-Institut IAO;
E-Mail: andreas.werner@iao.fraunhofer.de

➔ www.iao.fraunhofer.de

Materialwissenschaft trifft Klimaschutz

Materialwissenschaft trifft Klimaschutz: Dank neuartiger Membranadsorber soll CO₂ effizient und kostengünstig aus Luft und Abgasen zurückgewonnen werden. Im nun gestarteten Projekt **SAFE-CO₂** bündeln nun mehrere Forschungsinstitute – koordiniert vom Fraunhofer-Institut für Grenzflächen- und Bioverfahrenstechnik IGB – ihre Expertise, um entsprechende Membranmodule für die Industrie zu entwickeln.

Gute Nachricht für den Klimaschutz: Der *Klimakiller* CO₂ lässt sich bereits heute aus der Luft entfernen und zurückgewinnen. Der Haken daran: Die entsprechenden Verfahren, die bereits im Einsatz sind, benötigen viel Energie, sind somit ineffizient und wenig rentabel. Daher arbeitet laut Fraunhofer IGB nun ein interdisziplinäres Forschungsteam bestehend aus dem Fraunhofer-Institut für Grenzflächen- und Bioverfahrenstechnik IGB, dem Institut für Polymerchemie der Universität des Saarlandes und dem Zentrum für Sonnenenergie- und Wasserstoff-Forschung (ZSW) an einer innovativen Lösung, die umweltfreundlich als auch wirtschaftlich ist. Der Schlüssel hierzu liegt in neuartigen Adsorbentien.

Herausforderung: Bisherige Verfahren und ihre Schwächen

Die Abscheidung von CO₂ kann auf chemischer oder physikalisch-adsorptiver Basis erfolgen. Üblich sind Verfahren wie die Rauchgaswäsche bei Punktquellen oder die direkte Luftabscheidung, auch Direct Air Capture (kurz DAC). Chemische Verfahren weisen jedoch große Herausforderungen auf, insbesondere den hohen Energiebedarf bei der Regeneration. Hier setzen die Projektpartner an.

Das Projektteam um Dr. Thomas Schiestel, Gruppenleiter Membranen am Fraunhofer IGB, richtet seine Aufmerksamkeit darauf, neue thermoresponsive Membranadsorber zu entwickeln, die eine hohe CO₂-Kapazität aufweisen, langfristig stabil sind und bei denen eine Regeneration bei niedrigen Temperaturen erfolgt. Dabei setzt das Institut auf seine über 40-jährige Erfahrung in der Membranentwicklung. *Unser Ziel ist, Membranadsorber auf Polymerbasis als strukturiertes Adsorberbett zu entwickeln*, erklärt Tobias Götz, verantwortlicher Wissenschaftler am IGB. Der Einsatz von Membranen sorgt ihm zufolge für einen minimierten Druckabfall bei der Luft-Durchströmung und somit bei der CO₂-Adsorption. Darüber hinaus reduzieren die Forschenden den Energiebedarf, indem sie das volle Potenzial von thermoresponsiven CO₂-Adsorbentien durch die Einbettung in eine offenporöse Membran nutzen. *Davon profitieren*

wir doppelt; wir reduzieren den Energieaufwand und leisten einen Beitrag im Kampf gegen den Klimawandel, indem wir zurückgewonnenes CO₂ wieder nutzbar machen

Intelligente Module mit thermoresponsiven Polymersystemen als CO₂-Adsorber

Der Arbeitsschwerpunkt von Götz und seinen Kolleginnen und Kollegen liegt in der Entwicklung der porösen Strukturen und dem Moduldesign. Die darin verwendeten Adsorbentien stammen vom Institut für Polymerchemie der Universität des Saarlandes. *Für die Membranmodule werden wir die thermoresponsiven CO₂-Adsorber in Form von Mikrogel- und Kern-Schale-Partikeln herstellen*, erläutert Prof. Dr.-Ing. Markus Gallei. Sein Spezialgebiet liegt bei den sogenannten *intelligenten Polymeren*, also Materialien, die auf externe Reize aus ihrer Umwelt reagieren können, etwa auf Veränderungen im Lösungsmittel, der Temperatur, dem Lichteinfall oder des pH-Werts sowie auf mechanische, elektrische oder magnetische Stimuli. *Unsere im Rahmen von SAFE-CO₂ eingesetzten Materialien reagieren auf Temperaturveränderungen. Durch den dabei erzeugten thermischen Phasenübergang können die Bindungseigenschaften von CO₂ beeinflusst werden*. So ließen sie sich in den IGB-Membranmodulen als Schalter zwischen Adsorption und Desorption einsetzen, um die CO₂-Abscheidung effizient zu steuern. Weiterer Arbeitsschritt im Rahmen von SAFE-CO₂ ist die Charakterisierung der verwendeten Membranadsorber. Hierfür steuert das ZSW, Stuttgart, seine Expertise bei. Das ZSW forscht seit über 30 Jahren an Technologien zur direkten CO₂-Abscheidung aus der Atmosphäre. Neben der Entwicklung einer eigenen flüssigkeitsbasierten DAC-Technologie betreibt das ZSW mit dem *DACLab* ein Testlabor, in dem unterschiedliche DAC-Ansätze technologieoffen und unter verschiedensten klimatischen Bedingungen weltweit untersucht und bewertet werden. Ähnlich wie die Fraunhofer-Gesellschaft sieht sich das Zentrum dabei als Brückenbauer zwischen Grundlagenforschung und industrieller Praxis. *Unser Beitrag zu SAFE-CO₂ besteht darin, dass*



Membranadsorber auf Polymerbasis
(© Fraunhofer IGB)



Am Fraunhofer IGB werden Membranadsorber mithilfe eines Nassspinnprozesses hergestellt
(© Fraunhofer IGB)

wir die eingesetzten Materialien ausgiebig testen und bewerten, wie umweltfreundlich und wirtschaftlich sie im Vergleich zu bestehenden Lösungen sind, so Dr. Marc-Simon Löffler, Fachgebietsleiter für Regenerative Energieträger und Verfahren am ZSW.

Ausblick: Langfristiger Beitrag zum Klimaschutz

Das Projekt SAFE-CO₂ hat eine Laufzeit bis 2029. Bis dahin wollen die Beteiligten nachweisen, dass die direkte CO₂-Entnahme aus der Luft nicht nur technisch machbar ist, sondern dass dies auch mit geringem Energieeintrag möglich und die entwickelte Lösung über eine längere Dauer nutzbar ist. Laut Götz wollen die Forschenden langfristig mit ihrer Technologie dabei helfen, unvermeidbare Emissionen auszugleichen. *Dabei wollen wir auf nachhaltige Wertschöpfungsketten setzen, die klimaneutrale Prozesse fördern und den Übergang zu einer umweltverträglichen Wirtschaft unterstützen.*

➔ www.igb.fraunhofer.de

Effiziente Herstellung von Wasserstoff und chemischen Produkten

Grüner Wasserstoff gilt als Schlüsseltechnologie für die Dekarbonisierung der Industrie. Der Durchbruch scheiterte bislang an Effizienz, Kosten und Skalierbarkeit bei der Herstellung. Dr. Mihails Kusnezoff, Dr. Stefan Megel und Dr. Sindy Mosch vom Fraunhofer-Institut IKTS in Dresden haben nach Mitteilung des Instituts einen Hochtemperaturelektrolyse-Stack entwickelt, der Maßstäbe setzt: Er erzeugt Wasserstoff mit bislang unerreichter Effizienz, kann ebenso als Brennstoffzelle arbeiten und ist für die industrielle Serienfertigung ausgelegt. Dafür wurden die drei Forschenden mit dem Joseph-von-Fraunhofer-Preis 2026 ausgezeichnet.

Die Hochtemperaturelektrolyse ist ein hoch-effizientes Verfahren zur Wasserstoffherstellung. Dabei wird Wasserdampf in einer Elektrolysezelle in Wasserstoff und Sauerstoff zerlegt. Der Vorteil: Dank der hohen Temperaturen kann industrielle Abwärme direkt als Spaltungsenergie genutzt werden. Das spart teuren Strom, beschleunigt die elektrochemischen Reaktionen und optimiert so den Wirkungsgrad.

Neuer wissenschaftlich-methodischer Ansatz des Fraunhofer IKTS

Die Forschenden am Fraunhofer IKTS verfolgen seit mehr als zwei Jahrzehnten eine äußerst anspruchsvolle Vision: Die Hochtemperaturbrennstoffzellen und -elektrolyseure so leistungsfähig, robust und wirtschaftlich zu machen, dass sie die Energiewende nicht nur unterstützen, sondern entscheidend beschleunigen könnten. *Unser Ziel war von Anfang an, eine Brücke zwischen Elektronen und Molekülen zu schaffen*, sagt Dr. Mihails Kusnezoff, Abteilungsleiter Werkstoffe und Komponenten und Leiter des Geschäftsfelds Energie am Fraunhofer IKTS. Dabei unterscheidet sich der Ansatz des Fraunhofer-IKTS-Teams von vielen Wettbewerbern: Statt separate Konzepte für Elektrolyseure und Brennstoffzellen zu verfolgen, entwickelten die Forschenden ein System, das beide Betriebswelten gleichermaßen abdeckt. *Eine große Herausforderung, denn während in der Brennstoffzelle niedrige Widerstände und hohe Spannungen gefragt sind, erfordert die Elektrolyse einen langzeitstabilen, nahezu thermoneutralen Betrieb mit minimalen Temperaturgradienten*, erklärt Dr. Kusnezoff.

Massenproduktionsfähiger, universell einsetzbarer Stack

Im Labor entwickelten die Forschenden neue Materialien für Elektrolyt und Elektroden, optimierten Mikrostrukturen und bauten damit hochleistungsfähige Zellen. *Erst die Kombi-*

nation vieler Zellen schafft den sogenannten Stack – das Herzstück des Systems, erläutert Dr. Sindy Mosch, Forscherin in der Arbeitsgruppe Werkstoffe für gedruckte Systeme am Fraunhofer IKTS. Er ermögliche die nötige Skalierung, um Wasserstoff in industriellen Mengen zu erzeugen. Der technische Durchbruch gelang schließlich durch eine Kombination aus Materialinnovation, Designoptimierung und konsequenter Industrialisierung. Die Forschenden mussten laut Mosch lernen, elektrochemische, thermische und mechanische Effekte als Gesamtsystem zu denken. *Erst durch das präzise Zusammenspiel von Mikrostruktur, Sinterverhalten und Schutzschichten konnten wir eine Zelle entwickeln, die sowohl im harten Elektrolysebetrieb als auch im Brennstoffzellenmodus über Jahre zuverlässig funktioniert*, so Dr. Sindy Mosch. Der Fraunhofer-IKTS-Stack arbeitet stabil in einem erweiterten Temperaturfenster von 750 °C bis 850 °C, ein entscheidender Faktor für die Lebensdauer eines Elektrolyseurs. In diesem Betriebstemperaturbereich lassen sich nicht nur Wasserdampf und CO₂ in Synthesegas über Elektrolyse umwandeln, sondern auch verschiedene Brennstoffe wie Erdgas, Biogas, Methanol, Ethanol oder sogar grünes Ammoniak im Brennstoffzellenmodus für die Stromerzeugung nutzen.

Vom Labor in die Fabrik: Pilotfertigung in Arnstadt

Parallel adressierte das Team die industrielle Skalierung, indem es die metallische Bipolarplatte für eine effiziente Herstellung in einem einzigen Pressschritt neu auslegte und skalierbare Beschichtungsverfahren für Elektroden sowie Kontakt- und Schutzschichten entwickelte. *Für uns war klar: Eine Technologie ist erst dann ein Beitrag zur Energiewende, wenn sie in der Fabrik und nicht nur im Labor funktioniert*, betont Dr. Stefan Megel, Gruppenleiter Keramische Energiewandler am Fraunhofer IKTS.



Dr. Stefan Megel, Dr. Sindy Mosch und Dr. Mihails Kusnezoff (v. l.)
(© Fraunhofer / Piotr Banczerowski)

Die industrielle Reife der Technologie überzeigte auch die Industrie: thyssenkrupp nucera identifizierte den entwickelten Stack als besonders effiziente und vielversprechende Lösung im Bereich der Hochtemperaturelektrolyse. Innerhalb von nur 14 Monaten errichtete das Fraunhofer IKTS am Standort Arnstadt eine erste teilautomatisierte Pilotfertigungslinie als Basis für die weitere Hochskalierung zusammen mit dem Industriepartner thyssenkrupp nucera. Die Pilotfertigung zeigt nach Aussage von Stefan Megel, *dass unsere Stacks nicht nur wissenschaftlich führend, sondern auch industriell beherrschbar und wirtschaftlich produzierbar sind – bis hin zur Gigawatt-fähigen Fabrik*.

Schlüsseltechnologie für die industrielle Dekarbonisierung

Die Stack-Entwicklung am Fraunhofer IKTS hat nicht nur neue Maßstäbe in Effizienz und technologischer Einsatzflexibilität gesetzt, sondern bildet auch die Grundlage für die industrielle Nutzung von Strom und Abwärme für die hocheffiziente Wasserstoff- und Synthesegaserzeugung. Damit leistet das Team des Fraunhofer IKTS einen direkten Beitrag zur globalen Energiewende und stärkt zugleich die Wettbewerbsfähigkeit des Standorts Deutschland.

➔ www.ikts.fraunhofer.de

LCF-Lebensdauer hochbeanspruchter Bauteile in Wasserstoffatmosphäre

Die Ermüdungslebensdauer von hochbeanspruchten Bauteilen in Wasserstoffatmosphäre lässt sich bislang nur mit großen Unsicherheiten abschätzen. Klassische bruchmechanische Berechnungen fallen dabei häufig zu konservativ aus und liefern zu geringe Lebensdauern. Forschende des Fraunhofer IWM haben nun erstmals ein Anriss basiertes Lebensdauermodell entwickelt, mit dem die Lebensdauer unter Low Cycle Fatigue (LCF) und Wasserstoffeinfluss physikalisch begründet berechnet werden kann. Damit lassen sich nach Mitteilung des Instituts die Lebensdauer von Bauteilen unter anderem in Wasserstoffturbinen und -triebwerken in frühen Entwicklungsphasen zuverlässig vorhersagen, teure Versuche reduzieren und Sicherheitsfaktoren realistischer gestalten.

Die Nachfrage nach Gasturbinen ist enorm. Im Kraftwerksbereich kompensieren Gasturbinen Fluktuationen bei der erneuerbaren Stromerzeugung, der KI-Boom benötigt dringend Turbinen zur Stromerzeugung und auch im Flugzeugbau wird an effizienteren Triebwerken gearbeitet. Viele Hersteller setzen zunehmend auf wasserstoffbetriebene Turbinen, da die CO₂-Emissionen damit drastisch reduziert werden können. Die Entwicklungs- und Qualifizierungsprozesse sind zeit- und kostenintensiv, da sich die Beanspruchung der Bauteile und der eingesetzten Werkstoffe bei der Verbrennung von Wasserstoff verändern und bereits in der Entwicklung die Effizienz gewährleistet und die Lebensdauer abgesichert werden müssen.

Herausforderung Lebensdauervorhersage bei Wasserstofftechnologien

Für valide Lebensdauervorhersagen müssen viele Einflussfaktoren berücksichtigt werden: Wasserstoffdruck, Gasreinheit, Temperatur, Material- und Oberflächenbedingungen, mechanische Belastung. Allerdings lässt sich deren Zusammenwirken nicht in einem Versuch experimentell darstellen, was zum hohen Entwicklungsaufwand beiträgt, da viele Versuche nötig sind. Hinzu kommt, dass im Werkstoff, nicht zuletzt wasserstoffinduziert, zeitgleich unterschiedliche Degradations- und Schädigungsprozesse ablaufen, die zu Materialermüdung führen und Lebensdauer kosten. Je besser und vor allem, je vollständiger diese Prozesse beschrieben und simuliert werden können, umso besser können die Leistungsgrenzen der Werkstoffe ausgeschöpft und die Bauteilsicherheit eingestellt werden. Die Entstehung und das Wachstum kurzer Risse von circa 20 µm bis zum technischen Anriss von circa 1 mm machen bis zu 90 Prozent der tatsächlichen Bauteillebensdauer aus. Man spricht hier von der sogenannten Kurzzeitfestigkeit (engl.: Low Cycle Fatigue, LCF). Wasserstoff kann das Risswachstum um Faktor 100 und mehr erhöhen. Dieser

Einfluss von Wasserstoff auf kurze Risse kann jedoch bislang nicht auf Basis von physikalischen Grundlagen abgebildet werden. Deshalb müssen Bauteile sehr konservativ mit hohen Sicherheitsfaktoren ausgelegt werden.

Ermüdung unter Wasserstoffeinfluss erstmals simulierbar

Wissenschaftler am Fraunhofer-Institut für Werkstoffmechanik IWM haben nun ein Simulationsmodell entwickelt, das den Einfluss von Wasserstoff auf das Ermüdungsverhalten erstmals anhand physikalischer Zusammenhänge abbildet. Wie das Institut berichtet, kann dadurch das Modell ein breites Spektrum von Einflussfaktoren wie Temperatur, Wasserstoffdruck, Belastungsfrequenz und mechanische Lastschwingbreite berücksichtigen und die Lebensdauer für hochbeanspruchte Bauteile, beispielsweise in Gasturbinen und Triebwerken, vorhersagen.

Das Modell beschreibt das wasserstoffbeeinflusste Kurzrissswachstum von circa 20 µm bis 1 mm auf Basis der elastisch-plastischen Bruchmechanik. Als zentraler Schädigungsmechanismus wird der HELP-Effekt (engl.: Hydrogen Enhanced Localized Plasticity) berücksichtigt: Wasserstoff, der zur Rissspitze gelangt, besetzt dort Versetzungen im Metallgitter und erhöht so die lokale Plastizität, was das Risswachstum beschleunigt. Bei Temperaturen über 400 °C wird ergänzend Sauerstoffdiffusion entlang von Korngrenzen als zusätzlicher Schädigungsbeitrag berücksichtigt.

Komponenten, die in Wasserstoffatmosphäre eingesetzt werden, sind einer Vielzahl unterschiedlicher Betriebsbedingungen ausgesetzt, die sich aus Kombinationen von Wasserstoffdruck, Temperatur und wechselnden Belastungszyklen zusammensetzen, erklärt Fabien Ebling, Projektleiter am Fraunhofer IWM. Es sei in der Regel nicht machbar, jedes mögliche Szenario experimentell abzudecken. Unser Simulationsmodell ist in der Lage, diese Komplexität mathematisch



Experimentelle Untersuchung der Ermüdungslebensdauer an Hohlproben bei Temperaturen von bis zu 1000 °C und einem Wasserstoffinnendruck von bis zu 250 bar; die Untersuchungsergebnisse dienen der Validierung des am Fraunhofer IWM entwickelten LCF-Lebensdauermodells für hochbeanspruchte Bauteile im Kontakt mit Wasserstoff

(Bild: Fraunhofer IWM / Kai Wudtke)

zu erfassen und die Lebensdauer selbst unter extremen Betriebsbedingungen zuverlässig abzuschätzen.

Das Modell basiert nicht auf Erfahrungswerten, sondern erklärt die physikalische Ursache der Schädigung, das heißt Wasserstoffatome, die Versetzungen im Metallgitter mobilisieren und so das Risswachstum beschleunigen. Damit soll die aufwändige und teure Prüfung von Bauteilen in Wasserstoff-Prüfständen drastisch reduziert werden. Besonders wertvoll ist das Modell in frühen Entwicklungsphasen, wenn Bauteilgeometrien und Betriebskonzepte noch nicht feststehen. So können bereits vor dem ersten Prototypen Parameterstudien durchgeführt, Druckgrenzen definiert oder der Einfluss der Prüffrequenz auf die Schädigung bewertet werden.

Förderung

Die Forschungsergebnisse entstanden im Rahmen der vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWE) geförderten Projekte AdHyBau (20M1904E) und AdHyBau2 (20M2202C).

➔ www.iwm.fraunhofer.de

Nachbehandlung additiv gefertigter Metallbauteile jetzt berechenbar

Bis zu 40 Prozent mehr Ermüdungsfestigkeit

Eine neue, modellgestützte Optimierungsstrategie des Fraunhofer IWM erlaubt erstmals die gezielte Auslegung von mechanischen Oberflächennachbehandlungen für AM-Bauteile aus Metall. Die Basis dazu bildet ein Lebensdauernachweis nach den weit verbreiteten FKM-Richtlinien. In diesem können auch die Effekte der Oberflächennachbehandlung mittels Kugelstrahlen, Glätten oder Festwalzen berücksichtigt werden, berichtet das Fraunhofer IWM. Darüber hinaus können Prozessparameter mit einer Simulation des Herstellprozesses und geeigneter Werkstoffmodelle besonders schnell angepasst werden. Die Optimierungsstrategie hilft Unternehmen, die additiv gefertigte Bauteile in hoch beanspruchten Bereichen einsetzen wollen, bei denen insbesondere eine hohe Ermüdungsfestigkeit gefordert ist.

Additiv gefertigte Metallbauteile versprechen konstruktive Freiheit und hohe Individualisierung. In sicherheitsrelevanten Anwendungen, beispielsweise in der Luftfahrt, im Automotive-Bereich oder in der Energietechnik, scheitert ihr Einsatz bislang häufig an unzureichender Ermüdungsfestigkeit: Oberflächenrauheit, Zugeigenspannungen und Gefügedefekte wie zum Beispiel Gas-Poren oder mangelnde Anbindung (Lack of Fusion, LOF) wirken als Rissstarter und können zu vorzeitigem Bauteilversagen führen.

Mechanische Oberflächenbehandlungsverfahren wie Kugelstrahlen, Festwalzen und Glätten können diese Schwachstellen gezielt beseitigen oder vermindern: Sie verdichten die Randschicht, reduzieren die Defektdichte und bringen Druckeigenspannungen ein. Bislang fehlte aber ein praxistaugliches Berechnungsmodell für deren gezielten Einsatz bei AM-Bauteilen. Forscher des Fraunhofer-Instituts für Werkstoffmechanik IWM haben diese Lücke jetzt geschlossen.

Berechnungskette von Beanspruchungsanalyse zur Lebensdauervorhersage

Im Rahmen eines vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWE) geförderten Projekts wurde eine modellgestützte Berechnungskette entwickelt und an den AM-Werkstoffen AlSi10Mg, 316L und Ti6Al4V (Herstellprozesse: Laser Powder Bed Fusion (LPBF) und Cold Metal Fusion (CMF)) validiert. Die Berechnungskette verknüpft laut Fraunhofer IWM drei Schritte:

- Bauteilbewertung und Verfahrensauswahl: Je nach Bauteilgeometrie und Lage der höchstbeanspruchten Stellen wird das geeignete Nachbehandlungsverfahren bestimmt.

- Prozesssimulation: Randschichteigenschaften wie Eigenspannungen, Rauheit und Verfestigung werden in Abhängigkeit der Prozessparameter (z. B. Strahldruck, Anpressdruck, Bahnüberlappung) vorhergesagt und optimiert.

- FKM-basierte Lebensdauerbewertung: Die Lebensdauervorhersage erfolgt in Anlehnung an die bei Konstrukteuren und in kleinen und mittleren Unternehmen (KMU) etablierten FKM-Richtlinien und lässt sich direkt in bestehende Entwicklungsprozesse integrieren. Der FKM-Lebensdauernachweis wurde dazu für die gedruckten und nachbehandelten Materialien AlSi10Mg, 316L, Ti6Al4V angepasst.

Das Ergebnis in den Modellversuchen ist eine Steigerung der Schwingfestigkeit um bis zu 40 Prozent sowie eine Verlängerung der Lebensdauer um mehrere Dekaden. Die Berechnungsergebnisse wurden durch Ermüdungsexperimente auf Proben- und Bauteilebene experimentell validiert. Die Projektergebnisse entstanden in dem vom BMWE geförderten Projekt *Mechanische Oberflächennachbehandlung additiv gefertigter, metallischer Komponenten zur gezielten Steigerung der Ermüdungsfestigkeit – AM Oberfläche* (Förderkennzeichen: IGF 22833 N) und wurden anschließend erweitert und ausgebaut.

Ein gewichtiger Grund dafür, dass Nachbehandlungsverfahren bei AM-Bauteilen bisher kaum zum Einsatz kommen, ist nach Aussage von Projektleiter Dr. Sascha Fliegner vom Fraunhofer IWM das fehlende Verständnis der Wirkungskette von den Prozessparametern bis zur Lebensdauersteigerung und der fehlende Lebensdauernachweis. *Mit unserer Methode eröffnen wir jetzt Spielräume für neue Anwendungen.*



Zyklische Belastungsprüfung eines additiv gefertigten Metallbauteils nach einer mechanischen Oberflächenbehandlung an den hochbeanspruchten Zonen zur Ermittlung des Lebensdauererfolgs durch die Nachbehandlung
(Bild: Fraunhofer IWM / Kai Wudtke)

Mehrwert für Konstruktion und Produktentwicklung

Die Methode lässt sich bereits in der Vorentwicklung einsetzen und ermöglicht den rechnerischen Vergleich von verschiedenen Nachbehandlungsstrategien, bevor der erste Bauteiltest stattfindet. Ein weiterer Vorteil: Da Bauteile überwiegend von der Oberfläche ausgehend versagen, kann eine maßgeschneiderte Nachbehandlung prozessbedingte Streuungen im AM-Druckprozess teilweise kompensieren. Auf der Basis von grundlegenden Werkstoffkennwerten wie Streckgrenze und Zugfestigkeit lassen sich die Effekte auch auf neue Werkstoffe übertragen. Damit steht erstmals eine rechnergestützte Auslegungshilfe für die mechanische Oberflächennachbehandlung von additiv gefertigten Metallbauteilen zur Verfügung.

➔ www.iwm.fraunhofer.de

Leichtbau Frachtschiffe: Nie wäre er so wertvoll wie heute

Sandwich-Bauweise mit Aluminiumschaum für Schiffswände und -decks

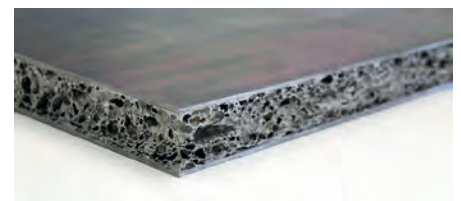
Niedrige Pegelstände an Rhein, Donau und Elbe setzen der Binnenschifffahrt schwer zu und haben umso deutlichere Auswirkungen auf die konjunkturelle Entwicklung, je länger sie anhalten. Weiter vertiefte Fahrrinnen sind wegen ihrer ökologischen Auswirkungen umstritten, eine Rückverlagerung von Schwertransporten auf die Straße ist bei vielen Gütern nicht möglich und würde insbesondere hochbelasteten Brücken und sanierungsbedürftigen Straßenabschnitten weiter zusetzen. Nachhaltiger ist es, bei der Konstruktion von Schiffen anzusetzen: Reduziertes Gewicht bedeutet weniger Tiefgang und damit die Option, auch dann noch Güter zu transportieren, wenn andere Schiffe auf Grund zu laufen drohen, wie das Fraunhofer-Institut für Werkzeugmaschinen und Umformtechnik IWU schildert.

Schiffswände und Decks in Sandwich-Bauweise könnten beispielsweise deutliche Gewichtseinsparungen ermöglichen, die bei einem Niedrigwasser die Zuladungsfähigkeit gegenüber dem Nettoschiffsgewicht um bis zu 30 Prozent erhöhen – oder bei gleicher Zuladung niedrigere Pegelstände vertragen.

Sandwich-Bauweise mit leichtem Kern aus Aluminiumschaum

In einer solchen Sandwich-Bauweise wird Aluminiumschaum zwischen zwei dünne Stahl- oder Aluminiumplatten platziert. Aluminiumschaum ist ein ultraleichter metallischer Strukturwerkstoff mit einer Dichte von deutlich unter einem Gramm pro Kubikzentimeter. Das Grundprinzip der Herstellung von Aluminiumschaum ist ähnlich wie beim Aufschäumen eines Kuchenteigs: Einem Aluminiumpulver wird ein Treibmittelpulver (z. B. Titanhydrid) zugegeben, das bei Erwärmung Gas freisetzt, meist Wasserstoff. Die entstehenden Gasblasen verteilen sich im flüssigen Aluminium und blähen es zu einer schaumartigen Struktur auf. Im Schäumprozess ver-

bindet sich der Aluminiumschaum mit den metallischen Deckblechen im metallischen Stoffschluss. Für die Verbundfertigung wird kein Klebstoff benötigt – ein großer Vorteil bei der späteren Wiederverwertung. Anschließend wird der Schaum abgekühlt und erstarrt, sodass die poröse Struktur dauerhaft erhalten bleibt. Das Ergebnis ist ein Werkstoff mit vielen eingeschlossenen Poren, der sehr leicht ist. Am Fraunhofer IWU werden Konstruktionen mit Aluminiumschaum beispielsweise für Werkzeugmaschinen oder Gehäuse von Traktionsbatterien in E-Autos entwickelt. Dr. Jörg Hohlfeld, Leiter der Gruppe Metallschaum am Fraunhofer IWU in Chemnitz, unterstreicht, dass solche Sandwiches auch für Schiffsaußenhülle und Schiffsaufbauten bestens geeignet sind: *Bei etwa 30 Prozent Mindergewicht gegenüber herkömmlichem Schiffbaustahl stehen sie bisherigen Stahlplatten an Steifigkeit keineswegs nach.* Der leichte und schubsteife Aluminiumschaumkern hat die Aufgabe, die Bleche auf konstantem Abstand zu halten und damit die Biegesteifigkeit des Sandwiches zu erhalten. Die



Dünne Deckbleche, leichter Schaumkern: typische Sandwich-Bauweise mit Aluminium- oder Stahlblech als Deckmaterial (© Fraunhofer IWU)

außen liegenden Bleche nehmen die angreifenden Lasten auf und leiten diese ab. Fertigungstechnisch sehen die Forschenden keine unlöslichen Hürden: Die gleichmäßige Verteilung der Porenstruktur im Schaumkern ist inzwischen auch bei großvolumigen Bauteilen gut beherrschbar; reproduzierbare Eigenschaften können sichergestellt werden. Die Sandwiches lassen sich in größeren Abmessungen (z. B. 2,0 m x 1,5 m) vorfertigen und mit gängigen Schweißverfahren (z. B. MAG) zu großen Baugruppen fügen. Etwas höhere Material- und Prozesskosten bei der Herstellung der Sandwiches gegenüber konventionellen Stahlplatten dürften im Schiffbau gerade durch die wirtschaftlichen und ökologischen Vorteile mehr als ausgeglichen werden, denn Perioden mit wenig Niederschlag und niedrigen Pegelständen haben in den vergangenen Jahren deutlich zugenommen.

Das Leichtbaukonzept für Binnencontainerschiffe mit Aluminiumschaum-Sandwiches entstand im Rahmen eines Projekts mit den Partnern SMK Ingenieure GmbH & Co. KG (Chemnitz), SET Schiffbau- und Entwicklungsgesellschaft Tangermünde mbH (Genthin), Krafotec GmbH (Wittenberg), IFF Engineering & Consulting GmbH (Leipzig), Fraunhofer IFF (Magdeburg) und wurde gefördert vom BMW (Projekträger Jülich).

➔ www.iwu.fraunhofer.de



Prototyp eines Laderaumbereichs (eine Hälfte) für ein Container-Binnenschiff; die verwendeten Sandwiches haben ein Abmaß von 2 m x 1 m mit Dicken von 14 mm bis 28 mm (© Fraunhofer IWU)

Laser verleihen 3D-gedruckten Metallbauteilen neue Funktionen

Europäisches Forschungskonsortium unter Koordination der TU Dresden entwickelt neue Verfahren für die Nachbearbeitung komplexer 3D-gedruckter Metallbauteile

Im Rahmen des Horizon-Europe-Projekts CLASCO – *Climate Neutral and Digitalised Laser Based Surface Functionalisation of Parts with Complex Geometry* haben Forschende unter der Leitung der TU Dresden (TUD) einen neuen Ansatz für die Nachbearbeitung von komplexen 3D-gedruckten Metallbauteilen entwickelt. Im Mittelpunkt der dreieinhalbjährigen Projektarbeit stand die Entwicklung einer Prozesskette: Die Forschenden kombinierten nach Mitteilung der TU Dresden Laserpolieren, Lasermikrostrukturierung, Prozessüberwachung, digitale Zwillinge und künstliche Intelligenz zu einem integrierten Fertigungskonzept. Die entwickelten Technologien erprobten sie an Bauteilen für die Luft- und Raumfahrt sowie für medizinische Anwendungen.

Die additive Fertigung von Metallen ermöglicht leichte Bauteile mit Geometrien, die sich mit herkömmlichen Verfahren nur schwer oder gar nicht herstellen lassen. Allerdings weisen 3D-gedruckte Metallbauteile häufig vergleichsweise raue Oberflächen auf. Für anspruchsvolle Anwendungen müssen Hersteller diese Oberflächen deshalb zunächst gezielt bearbeiten.

Die Forschenden kombinierten zwei sich ergänzende Laserverfahren in einem Fertigungssystem. Zunächst glättete das Laserpolieren die raue Oberfläche berührungslos. Anschließend erzeugte das Verfahren Direct Laser Interference Patterning (DLIP) präzise definierte Mikrostrukturen auf ausgewählten Bereichen des Bauteils. Mit diesen Strukturen konnten die Forschenden die Oberflächeneigenschaften gezielt an die jeweilige Anwendung anpassen.

Mit CLASCO haben wir gezeigt, dass wir die Oberfläche komplexer 3D-gedruckter Metallbauteile bedarfsrecht gestalten und gleichzeitig den Bearbeitungsprozess digital überwachen können. Damit schaffen wir eine wichtige Grundlage, um solche Bauteile künftig effizienter für anspruchsvolle industrielle Anwendungen nutzbar zu machen, sagt Prof. Andrés Fabián Lasagni, Inhaber der Professur für Laserbasierte Fertigung an der TUD und Koordinator des CLASCO-Projekts.

Auch die Möglichkeiten des Leichtbaus standen im Fokus des Projekts. Die Forschenden nutzten bereits bei der Konstruktion der Bauteile die Gestaltungsfreiheit der additiven Fertigung, um Material und Gewicht einzusparen. Bei zwei Demonstratoren für die Luft- und Raumfahrt erzielten sie mithilfe einer Topologieoptimierung deutliche Gewichteinsparungen. Das Gewicht eines A350-Befestigungswinkels reduzierten sie um rund 53 Prozent und einen entsprechenden Hebel konnten sie um rund 38 Prozent leichter auslegen.

Nach der additiven Fertigung bearbeiteten die Forschenden die Oberflächen mit der neu entwickelten laserbasierten Prozesskette. Das Laserpolieren reduzierte die typische Oberflächenrauheit direkt nach dem 3D-Druck von etwa zehn bis 30 Mikrometern auf weniger als ein Mikrometer. In einem zweiten Bearbeitungsschritt erzeugte DLIP regelmäßige Strukturen im Mikrometerbereich. Damit konnten die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler Eigenschaften wie Benetzbarkeit, Korrosionsverhalten oder die Wechselwirkung von Implantatoberflächen mit biologischen Materialien gezielt verändern.

Auch die Nachhaltigkeit des entwickelten Fertigungswegs stand bei CLASCO im Fokus. Die Untersuchungen machten deutlich, dass additive Fertigung nicht automatisch nachhaltiger ist, nur weil sie bei der Herstellung eines Bauteils Material einsparen kann. Für eine fundierte Bewertung müssen vielmehr alle Schritte der Prozesskette einbezogen werden. So beeinflussen unter anderem die Herstellung des Metallpulvers, dessen Rückgewinnung und Wiederverwendung, die Bearbeitungszeit, der Energiebedarf und der Verbrauch von Inertgasen die Gesamtbilanz.

Das Projekt zeigte, dass insbesondere die Wiederverwendung von Metallpulver und eine effiziente Nachbearbeitung wichtige Faktoren für eine nachhaltigere additive Metallfertigung sind. Die Ergebnisse liefern damit nicht nur neue Fertigungstechnologien, sondern auch Erkenntnisse darüber, unter welchen Bedingungen sich diese Technologien besonders ressourceneffizient einsetzen lassen.



(©Deutsche Gesellschaft für Materialkunde e.V.)

Mit dem formalen Abschluss von CLASCO endet die Arbeit an den entwickelten Technologien nicht. Die Projektpartner wollen die Ergebnisse weiter in die Praxis bringen und für industrielle Systeme, Bearbeitungsdienstleistungen, Technologielizenzen, Auftragsforschung und Folgeprojekte nutzen.

Die nächsten Schritte zielen darauf ab, die Prozesse robuster und effizienter zu machen und die entwickelten Verfahren auf weitere industrielle Anwendungen zu übertragen. Neben der Luft- und Raumfahrt sowie der Medizintechnik könnte der Ansatz überall dort zum Einsatz kommen, wo komplexe, hochwertige Metallbauteile Oberflächen mit genau definierten Eigenschaften benötigen.

Über CLASCO:

Das Projekt CLASCO lief vom 1. Januar 2023 bis zum 30. Juni 2026 und verfügte im Rahmen von Horizon Europe über ein Gesamtbudget von rund 4,83 Millionen Euro. Das Konsortium vereinte 13 Partner aus sechs europäischen Ländern und wurde von der TU Dresden unter der Leitung von Prof. Andrés Lasagni koordiniert.

Zum Konsortium gehörten die TU Dresden, CATEC, SYLAS, New Infrared Technologies, Z Prime, ABCircular, Airbus Defence and Space, CT Ingenieros, die Deutsche Gesellschaft für Materialkunde, SurFunction, DePuy Ireland, Steinbeis 2i und nLIGHT.

Weitere Informationen finden Interessierte unter <https://clasco-project.eu/>

Kontakt

Prof. Andrés Fabián Lasagni, Professur für Laserbasierte Fertigung, E-Mail: andres_fabian.lasagni@tu-dresden.de
 www.tu-dresden.de

DigiChrom – Fortschrittsbericht zur Digitalisierung der Materialwissenschaft am Beispiel der dreiwertigen Verchromung

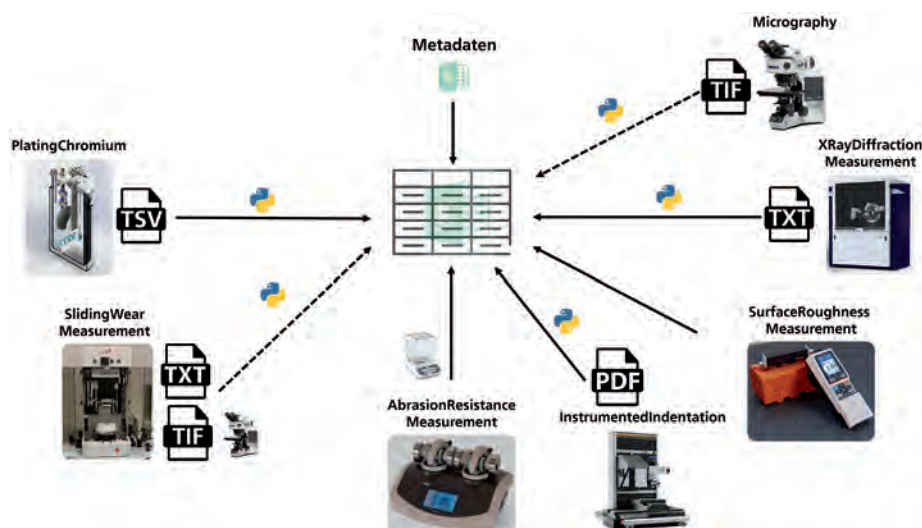
Von Katja Feige und Andreas Waibel, Fraunhofer IPA

Seit dem Projektstart im Dezember 2023 hat sich im Verbundvorhaben *DigiChrom* viel bewegt. Aus den zunächst grundlegenden Arbeiten an gemeinsamen Workflows, Datenstrukturen und ontologischen Begriffen ist eine breite experimentelle Basis entstanden. Labor- und Technikumsversuche liefern nun belastbare Daten, mit denen sich die Zusammenhänge zwischen Prozessführung, Schichtstruktur und Eigenschaften von Hartchromschichten auf Basis von Chrom(III)-verbindungen deutlich gezielter untersuchen lassen.

Am Fraunhofer IPA werden dafür Hartchromschichten aus Chrom(III)elektrolyten unter

definierten Bedingungen abgeschieden und umfassend charakterisiert. Die Untersuchungen reichen vom Labormaßstab mit zehn Litern Elektrolytvolumen bis hin zum 400-Liter-Technikum und schlagen damit die Brücke zwischen grundlegenden Effekten und industrienäheren Prozessbedingungen. Der aktuelle Versuchsstand umfasst rund 300 Experimente, in denen unter anderem Temperatur, Stromdichte, Elektrolytzusammensetzung, Strommodulation und Wärmebehandlung systematisch variiert wurden.

Dabei zeichnen sich zwei besonders interessante Bereiche ab. Im erweiterten Prozessfenster steigen Härte und Eindringmodul mit



Workflow zur Schichtcharakterisierung: Zusammenführung heterogener Prozess-, Mess- und Bilddaten in einer zentralen Datenstruktur (Bild: Fraunhofer IPA)



Wir produzieren Zukunft

Das Fraunhofer IPA entwickelt und implementiert nachhaltige Produktionstechnologie. Im Bereich der Oberflächenverfahren, -technik und Materialien ist ein Team aus Forschenden mit seinen fachlichen Kompetenzen und einer umfassenden Infrastruktur speziell auf galvanische und andere Beschichtungen ausgerichtet. Seit Jahrzehnten werden aktuelle Fragestellungen der Branche entlang der gesamten industriellen Produktionskette für Beschichtungsunternehmen bearbeitet und Lösungen von der Entwicklung neuer Schichtwerkstoffe und den dazugehörigen Prozessketten über Anlagentechnik bis hin zur Schadensfallanalyse mit tiefgehendem Know-how zur Verfügung gestellt. In dieser Serie zeigen Forschende, wie den Herausforderungen in der Beschichtungstechnik in Zukunft begegnet werden kann.

Ansprechpartner

Katja Feige, Forschungsteamleiterin
Funktionale Beschichtungen und Analytik,
Klaus Schmid, Forschungsteamleiter
Beschichtungsanlagen und
Applikationstechnik
Direktorat Oberflächen und Materialien
Dr. Oliver Tiedje

➔ www.ipa.fraunhofer.de/loesungen/beschichtungen-und-multifunktionale-materialien.html

Steckbrief Verbundvorhaben

Titel	Digitale Werkzeuge zur Verbesserung galvanischer Schichten am Beispiel chrom(III)basierter Prozesse (kurz DigiChrom)
Laufzeit	1. Dezember 2023 bis 31. November 2026 (Verlängerung beantragt)
Partner	Industrie (alphabetisch): Atotech Deutschland GmbH & Co. KG; Betz-Chrom GmbH; DiTEC Dr. Siegfried Kahlich & Dierk Langer GmbH; Hansgrohe SE; IPT International Plating Technologies GmbH; PlanB. GmbH Forschung (alphabetisch): Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und Automatisierung (IPA), Abteilung Galvanotechnik; Hochschule Aalen, Zentrum Elektrochemische Oberflächentechnik; Hochschule Offenburg, Institute for Digital Engineering and Production IDEeP; TU Ilmenau, Fachgebiet Elektrochemie und Galvanotechnik; Universität Bayreuth, Lehrstuhl für Wirtschaftsinformatik und Data Science
Budget	Projektvolumen circa 4 Millionen Euro, Förderung circa 3,2 Millionen Euro; gefördert vom Bundesministerium für Forschung, Technologie und Raumfahrt, FKZ 13XP5195(A-K)

höherer Temperatur und geringerer Stromdichte an; gleichzeitig verbessert eine reduzierte Rissbildung die tribologischen Eigenschaften. Als vorteilhaft erwies sich ein Bereich um 60 °C und 60 A/dm². Bei hohen Stromdichten und niedrigen Temperaturen zeigt sich dagegen ein sprunghafter Härteanstieg, der vermutlich mit einem Wechsel der Kristallstruktur von röntgenamorph zu kristallin zusammenhängt. Diese Schichten sind jedoch zugleich rauer und erscheinen matter.

OBERFLÄCHEN

Auch die Wärmebehandlung macht deutlich, wie vielschichtig die Optimierung ist. Temperaturen oberhalb von etwa 150 °C erhöhen die Härte der Schicht, während ab rund 270 °C ein struktureller Übergang sichtbar wird. Gleichzeitig zeigt sich, dass hohe Härte allein keine Garantie für bessere Abriebbeständigkeit ist. Für die Entwicklung leistungsfähiger chrom(III)basierter Hartchrom-

schichten müssen daher mehrere Zielgrößen gemeinsam betrachtet werden. Ein weiterer Baustein ist die automatisierte Auswertung von Oberflächenbildern. Die Hochschule Offenburg hat zu diesem Zweck ein Tool zur Risszählung entwickelt, das derzeit validiert wird und künftig eine objektive Bewertung der Schichtmorphologie unterstützen soll.

Die experimentellen Ergebnisse fließen außerdem in einen *Plating Assistant* ein. Dieses interaktive Dashboard macht Prozessdaten nutzbar und setzt Methoden wie Random Forest und Gradient Boosting ein, um Schichteigenschaften aus Prozessparametern abzuleiten und zentrale Einflussgrößen sichtbar zu machen. Erste Validierungen sind für die Schichtdicke vielversprechend. Härte und Abriebbeständigkeit bleiben aufgrund von Strukturänderungen, Randbereichen und komplexen Wechselwirkungen anspruchsvoller, liefern aber gerade dadurch wertvolle Ansatzpunkte für die weitere Modellierung. Einen Ausblick auf die weiteren Arbeiten gibt das DigiChrom-Konsortium auf den ZVO-Oberflächentagen 2026 in Karlsruhe. Am Donnerstag, 17. September, stellen sechs Projektpartner in den Vortragsessions *Digitalisierung in der Oberflächentechnik I und II* aktuelle Ergebnisse aus dem Verbundvorhaben vor. Der Beitrag um 10:50 Uhr mit dem Titel *Ontologie-basierte Schichtentwicklung in der Galvanotechnik: Fallbeispiel Hartchrom* zeigt, wie Prozess-Struktur-Eigenschafts-Beziehungen mithilfe einer ontologischen Struktur systematisch beschrieben werden können.



The banner features a background image of a modern industrial facility with large tanks and machinery. Overlaid on this is a dark blue rectangular area containing white and light blue text. At the top right, a URL is provided. The main title 'GALVANEXT 2026' is in large, bold, white letters. Below it, a subtitle describes the event as a practice-oriented future forum. The bottom section of the banner highlights the focus on AI and digitalization in electroplating technology, with the dates of the event.

<https://s.fhg.de/GALVANEXT>

GALVANEXT 2026

Praxisorientiertes Zukunftsforum für Entscheider und Fachleute der Galvanotechnik

KI & Digitalisierung in der Galvanotechnik

3. und 4. November 2026

Veranstalter: **GALVANICUS** Wir fördern Zukunft. Kooperationspartner: **Fraunhofer IPA**

Sager + Mack auf den ZVO-Oberflächentagen 2026



Auch 2026 ist Sager + Mack wieder auf den ZVO-Oberflächentagen in Karlsruhe vertreten. Besuchen Sie das Unternehmen an Stand 34 und informieren Sie sich über ihre aktuellen Lösungen und Entwicklungen für die Oberflächentechnik.

Besonderes Interesse gilt derzeit der Produktinnovation JETMack – Preisträger des Leipziger Galvanopreises 2026 – die bereits auf der Surface Technology 2026 auf große Resonanz gestoßen ist. Das innovative System überzeugte zahlreiche Fachbesucher und sorgte für eine starke Nachfrage sowie viele interessante Gespräche mit den Teilnehmern der Tagung. Das Team Sager + Mack freut sich darauf, diesen erfolgreichen Austausch auf den ZVO-Oberflächentagen fortzusetzen und Sie persönlich am Stand 34 begrüßen zu dürfen.



➔ <http://www.sager-mack.com>

≡ Verschleißschutz für hochbeanspruchte Oberflächen – mittels Laserpulsabscheidung hergestellte superharte Multischichtsysteme mit verbesserter Haftung

Von Daniel Metzner, Philipp Rebentrost, Eric Syrbe, Steffen Weißmantel; Hochschule Mittweida, Laserinstitut Hochschule Mittweida, Fachgebiet für Laserpulsabscheidung dünner Schichten und Lasermikrostrukturierung

Superharte diamantähnliche Beschichtungen (Diamond Like Carbon, DLC) bieten einen wirkungsvollen Schutz vor Reibung und Verschleiß. Ihre hohe Steifigkeit, geringe plastische Verformbarkeit und begrenzte Haftfestigkeit können den Einsatz auf mechanisch beanspruchten Bauteilen jedoch einschränken. Einen Lösungsansatz bieten DLC-Multischichtsysteme, in denen plastisch besser verformbare Teilschichten aus amorph gebundenem Kohlenstoff (a-C) mit superharten Teilschichten aus tetraedrisch amorph gebundenem Kohlenstoff (ta-C) kombiniert werden. Die Schichtsysteme wurden mittels Laserpulsabscheidung hergestellt, wobei die superharten ta-C-Teilschichten bereits während des Schichtwachstums durch gepulstes Lasertempera von ihren Druckeigenstressungen entlastet wurden. Untersucht wurde insbesondere der Einfluss der Teilschichtdicke und der Anzahl der Grenzflächen auf Härte, Haftung sowie Reibungs- und Verschleißverhalten. Durch den Einsatz von a-C/ta-C-Multischichtsystemen blieb die Härte auf dem Niveau superharter ta-C-Einzelschichten erhalten, während sich die Haftfestigkeit mit zunehmender Anzahl der Grenzflächen deutlich verbesserte. Gleichzeitig wurden niedrige Reibungskoeffizienten und Verschleißraten erreicht. Damit eröffnen a-C/ta-C-Multischichtsysteme neue Möglichkeiten für den Verschleißschutz hochbeanspruchter Werkzeuge und Bauteiloberflächen.

1 Einleitung

Reibung und Verschleiß beeinflussen nicht nur die Lebensdauer von Werkzeugen und Maschinenkomponenten, sondern haben auch eine erhebliche wirtschaftliche und ökologische Bedeutung. Nach einer globalen Abschätzung sind etwa 23 Prozent des weltweiten Energieverbrauchs tribologischen Kontakten zuzuordnen. Davon werden rund 20 Prozentpunkte zur Überwindung von Reibung aufgewendet, während weitere drei Prozentpunkte auf die Wiederaufarbeitung und den Ersatz verschlissener Bauteile und Anlagen entfallen [1]. Verschleißbedingte Werkzeugwechsel, Bauteilausfälle und Produktionsunterbrechungen verursachen darüber hinaus zusätzliche Kosten und einen erhöhten Ressourcenverbrauch. Eine wirksame Möglichkeit zur Verringerung dieser Belastungen ist die Funktionalisierung mechanisch hochbeanspruchter Oberflächen durch verschleißbeständige Beschichtungen.

Neben keramischen Hartstoffschichten kommen hierfür kohlenstoffbasierte Beschichtungen zum Einsatz. Insbesondere diamantähnliche Kohlenstoffschichten, die unter der Sammelbezeichnung *Diamond-like Carbon*, kurz DLC, zusammengefasst werden, verbinden hohe Härte und Verschleißbeständigkeit mit niedrigen Reibungskoeffizienten und einer guten Beständigkeit gegenüber korrosiven Medien [2, 3]. Dadurch ergeben sich vielfältige Anwendungsmöglichkeiten, beispielsweise

se für Zerspanungs- und Umformwerkzeuge, Gleit- und Lagerkomponenten sowie tribologisch hochbeanspruchte Bauteile im Maschinen- und Fahrzeugbau. DLC bezeichnet keine einzelne Schichtart, sondern eine Werkstofffamilie amorpher Kohlenstoffschichten. Ihre Einteilung erfolgt anhand des Anteils graphitähnlicher sp^2 - und diamantähnlicher sp^3 -Bindungen sowie des Wasserstoffgehalts [4]. Die verschiedenen Schichttypen und ihre ungefähren Zusammensetzungsbereiche sind schematisch in *Abbildung 1* dargestellt. Im vorliegenden Beitrag werden ausschließlich die wasserstofffreien Schichttypen amorpher Kohlenstoff, kurz a-C, und tetraedrisch amorpher Kohlenstoff, kurz ta-C, betrachtet. Eigenschaften der Kohlenstoffschichten werden wesentlich durch das Verhältnis der unterschiedlichen Bindungsformen bestimmt.

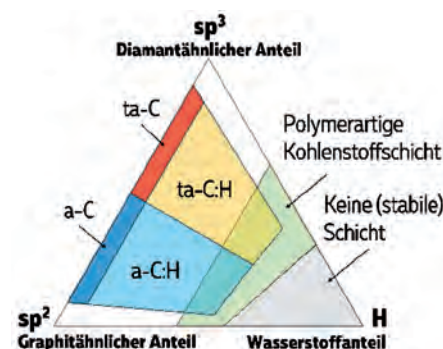


Abb. 1: Schematische Einteilung der DLC-Schichttypen anhand ihres sp^2 -, sp^3 - und Wasserstoffanteils

Die a-C-Schichten besitzen einen vergleichsweise hohen Anteil sp^2 -hybridisierter Bindungen und weisen daher eine geringere Härte, aber eine höhere plastische Verformbarkeit auf. Die ta-C-Schichten enthalten dagegen einen hohen Anteil tetraedrisch angeordneter sp^3 -Bindungen. Mit zunehmendem sp^3 -Anteil steigen Härte und Steifigkeit deutlich an, während die plastische Verformbarkeit abnimmt [4, 5]. Ab einer Härte von etwa 40 GPa werden solche Schichten üblicherweise dem Bereich der superharten Werkstoffe zugeordnet [6].

Gerade die hohe Härte von ta-C-Schichten ist für den Verschleißschutz von großem Interesse. Gleichzeitig ist sie jedoch mit werkstofftechnischen Herausforderungen verbunden. Während der Schichtherstellung entstehen insbesondere in ta-C-Beschichtungen hohe innere Druckeigenstressungen, die mehrere Gigapascal erreichen und die Haftung auf dem Grundwerkstoff erheblich beeinträchtigen können [7]. Hinzu kommt häufig ein ausgeprägter Unterschied zwischen der hohen Steifigkeit der Beschichtung und der größeren Verformbarkeit des Substrats. Wird das beschichtete Bauteil elastisch oder plastisch verformt, kann sich die superharte Schicht dieser Beanspruchung nur begrenzt anpassen. Dadurch können Risse entstehen, die Haftfestigkeit abnehmen und im ungünstigsten Fall können Teile der Beschichtung oder die gesamte Schicht abgelöst werden.

OBERFLÄCHEN

Zur Verringerung dieser inneren Spannungen und zur Optimierung der mechanischen Schichteigenschaften wurden unterschiedliche Lösungsansätze untersucht. Hierzu zählen gradierte Schichtaufbauten, die Einbringung zusätzlicher Zwischen- oder Pufferschichten sowie eine thermische Behandlung während oder nach der Schichtherstellung [8, 9]. Eine länger andauernde thermische Behandlung kann jedoch die Kohlenstoffstruktur verändern und eine zunehmende Graphitisierung hervorrufen. Die Spannungsreduzierung geht dann häufig mit einem Verlust der ursprünglich hohen Härte einher. Für einen wirksamen Verschleißschutz müssen daher die Haftung und die mechanische Belastbarkeit verbessert werden, ohne die vorteilhaften Eigenschaften des superharten ta-C wesentlich zu beeinträchtigen.

Eine Möglichkeit zur gezielten Verringerung der Druckeigenspannungen bietet die Kombination aus Laserpulsabscheidung und gepulstem Lasertempn. Bei der Laserpulsabscheidung, auch als *Pulsed Laser Deposition* oder PLD bezeichnet, wird ein Festkörpertarget durch kurze Laserpulse lokal abgetragen (Abb. 2). Die hierbei freigesetzten Teilchen werden auf dem gegenüberliegenden Substrat abgeschieden und bilden dort die Beschichtung. Während des Schichtwachstums wird die ta-C-Schicht wiederholt durch einen zweiten Laser kurzzeitig getempert. Die zur Spannungsrelaxation erforderlichen Temperaturfelder bestehen dabei lediglich für wenige Nanosekunden. Bei geeigneter Prozessführung können die Druckeigenspannungen dadurch weitgehend abgebaut werden, ohne die superharte Schichtstruktur dauerhaft thermisch zu belasten [10].

Neben der gezielten Spannungsrelaxation stellen Multischichtsysteme einen vielversprechenden Ansatz zur Verbesserung des mechanischen Verhaltens dar. Dabei werden weiche und plastisch verformbare Teilschichten mit harten beziehungsweise superharten Teilschichten kombiniert. Frühere Untersuchungen zeigen, dass wechselnde weiche und harte Kohlenstoffschichten die Haftfestigkeit, das Schädigungsverhalten und die Verschleißbeständigkeit beeinflussen können [11–13]. Die weichen Teilschichten können lokale Verformungen aufnehmen und die Ausbreitung von Schädigungen begrenzen, während die harten Teilschichten die erforderliche Tragfähigkeit und Verschleißbeständigkeit bereitstellen.

Die bisher untersuchten Multischichtsysteme wurden überwiegend mittels Lichtbogen-

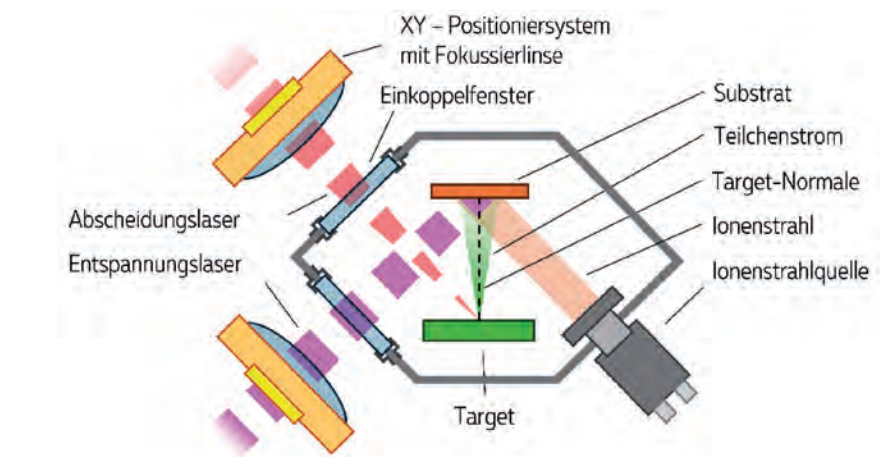


Abb. 2: Schematischer Aufbau der Dual-PLD-Anlage mit Ionenquelle zur Substratreinigung sowie KrF-Excimerlasern zur Schichtabscheidung und zum gepulsten Lasertempn

verdampfung, Magnetronspuiten oder chemischer Gasphasenabscheidung hergestellt. Teilweise kamen zusätzlich metallische oder keramische Zwischenschichten zum Einsatz. Auch mittels Laserpulsabscheidung wurden bereits unterschiedliche DLC-Multischichtsysteme erzeugt [14]. Die dabei erreichten Härten lagen jedoch häufig unter den Werten von superharten ta-C-Einzelschichten. Die gezielte Herstellung vollständig kohlenstoffbasierter, superharter a-C/ta-C-Multischichtsysteme mit zuvor spannungsrelaxierten ta-C-Teilschichten ist bislang nur unzureichend untersucht worden.

Vor diesem Hintergrund wurden in der vorliegenden Arbeit wasserstofffreie a-C/ta-C-Multischichtsysteme auf Hartmetallsubstraten hergestellt. Die Schichtsysteme bestehen aus abwechselnd angeordneten, vergleichsweise weichen a-C-Teilschichten und superharten ta-C-Teilschichten. Die ta-C-Teilschichten wurden bereits während der Herstellung durch gepulstes Lasertempn spannungsrelaxiert. Die Aufgabe der weichen a-C-Teilschichten besteht daher nicht vorrangig in der Kompensation der Druckeigenspannungen, sondern insbesondere in der Verbesserung der mechanischen Verformbarkeit und der Haftung des gesamten Schichtverbunds. Untersucht wurde, wie sich die Dicke der einzelnen Teilschichten und die daraus resultierende Anzahl der Grenzflächen auf Härte, Steifigkeit und Haftfestigkeit auswirken. Ergänzend wurden die Reibungs- und Verschleißigenschaften der Multischichtsysteme bestimmt. Ziel war die Entwicklung eines Schichtaufbaus, der die hohe Härte und Verschleißbeständigkeit einer ta-C-Beschichtung weitgehend beibehält und gleichzeitig eine verbesserte Haftfestigkeit gegenüber

einer vergleichbaren ta-C-Einzelschicht erreicht.

2 Experimenteller Teil

2.1 PLD und Schichtentspannung

Die Kohlenstoffschichten wurden in einer Hochvakuumkammer abgeschieden (Abb. 2). Vor Beginn der Beschichtung wurden die zu beschichtenden Substrate mithilfe einer Argonionenquelle gereinigt, um oberflächen-nahe Verunreinigungen zu entfernen und die Voraussetzungen für eine gute Schichthaftung zu schaffen.

Für die Schichtabscheidung wurde ein KrF-Excimerlaser mit einer Wellenlänge von 248 nm und einer Pulsdauer von 30 ns eingesetzt, dessen Strahlung auf ein rotierendes Graphittarget gerichtet war. Die dabei abgetragenen schichtbildenden Teilchen breiteten sich überwiegend senkrecht zur Targetoberfläche in Richtung des gegenüberliegenden Substrats aus und lagern sich dort als Kohlenstoffschicht ab. Über die Energiedichte der Laserstrahlung auf der Targetoberfläche, die sogenannte Fluenz, wurde gezielt eingestellt, ob eine weichere a-C- oder eine superharte ta-C-Teilschicht entstand. Die zur Herstellung der beiden Schichttypen erforderlichen Laserparameter waren aus vorangegangenen Prozessuntersuchungen bekannt.

Zur Verringerung der Druckeigenspannungen in den superharten ta-C-Teilschichten war die Anlage mit einem zweiten KrF-Excimerlaser ausgestattet. Während des schrittweisen Schichtaufbaus wurden die abgeschiedenen ta-C-Teilschichten wiederholt durch gepulstes Lasertempn entspannt. Die weichen a-C-Teilschichten wurden dagegen ohne diesen zusätzlichen Temperprozess hergestellt. Durch den Wechsel zwischen Schichtabschei-

und Lasertempern konnten spannungsrelaxierte ta-C-Teilschichten gezielt in das Multischichtsystem integriert werden.

2.2 Aufbau und Auswahl der a-C/ta-C-Multischichtsysteme

Die Multischichtsysteme wurden auf polierten Hartmetallsubstraten aus Wolframcarbid und Cobalt (WC-Co) abgeschieden. Vor dem eigentlichen Aufbau der Kohlenstoffschichten wurde eine dünne WC-Haftschrift aufgebracht, um die Anbindung des Schichtsystems an das Hartmetallsubstrat zu verbessern. Das Multischichtsystem bestand aus einer wiederkehrenden Folge zweier Teilschichten (Abb. 3). Eine Doppelschicht setzte sich aus einer weicheeren a-C-Teilschicht mit einer Härte von etwa 20 GPa sowie einer superharten ta-C-Teilschicht mit einer Härte von etwa 60 GPa zusammen. Die ta-C-Teilschicht bildete jeweils den oberen Abschluss einer Doppelschicht, sodass auch die Oberfläche des vollständigen Multischichtsystems aus ta-C bestand.

Für die untersuchten Multischichtsysteme wurde ein konstantes Dickenverhältnis aus a-C- und ta-C-Teilschichten von 1:1 gewählt. Die Dicke der beiden Teilschichten wurde in einem Bereich zwischen 25 nm und 1 µm variiert. Mit abnehmender Teilschichtdicke wurde die Anzahl n der übereinander angeordneten Doppelschichten entsprechend erhöht, sodass die Gesamtdicke aller untersuchten Multischichtsysteme konstant etwa 2 µm betrug. Auf diese Weise blieben sowohl die Gesamtschichtdicke als auch das Verhältnis von a-C zu ta-C unverändert, während die Dicke der einzelnen Teilschichten und die Anzahl der Grenzflächen gezielt variiert wurden. Als Referenz wurden zusätzlich einzelne ta-C-Schichten mit einer vergleichbaren Gesamtschichtdicke von 2 µm hergestellt.

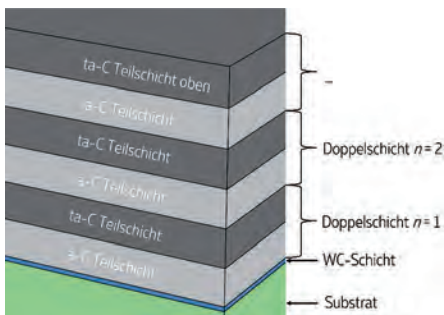


Abb. 3: Schematischer Aufbau der a-C/ta-C-Multischichtsysteme auf einem WC-Co-Hartmetallsubstrat mit WC-Haftschrift; eine Doppelschicht besteht aus einer weicheeren a-C- und einer superharten ta-C-Teilschicht

2.3 Mechanische und tribologische Prüfung

Die mechanischen Eigenschaften der hergestellten Multischichtsysteme wurden mittels Nanoindentation bestimmt. Dabei wurden die Eindringhärte H_{it} und der Eindringmodul E_{it} ermittelt. Die Eindringtiefe wurde so gewählt, dass sie weniger als 10 % der Gesamtschichtdicke betrug. Dadurch wurde der Einfluss des Hartmetallsubstrats und der Wolframcarbid-Haftschrift auf die Messwerte weitgehend vermieden.

Zur Bewertung der Schichthaftung wurden Rockwell-C-Ritztests mit einer konischen Diamantspitze durchgeführt, die einen Spitzenradius von 50 µm und einen Kegelwinkel von 120° aufwies. Die aufgebrachte Normalkraft wurde über eine Ritzstrecke von 8 mm linear von 0 N auf 8 N erhöht. Anhand der entstehenden Schädigungen wurden drei charakteristische Lasten bestimmt: L_{c1} kennzeichnet den Beginn erster sichtbarer Risse oder Schichtschädigungen, L_{c2} den Beginn des Haftversagens und L_{c3} die vollständige Ablösung der Beschichtung.

Das Reibungs- und Verschleißverhalten wurde mithilfe von Pin-on-Disk-Prüfungen ohne Schmierstoff untersucht. Als Gegenkörper kamen Kugeln aus dem Wälzlagerstahl 100Cr6 sowie aus Wolframcarbid (WC) zum Einsatz. Die Prüfungen wurden mit Normalkräften von 4 N und 10 N, einer Gleitgeschwindigkeit von 10 cm/s und einer gesamten Gleitstrecke von 8000 m durchgeführt. Bestimmt wurden die Reibwerte (Coefficient of Friction, COF) sowie die Verschleißraten der Multischichtsysteme k_s und der jeweiligen Gegenkörper k_k .

3 Ergebnisse und Diskussion

Die mechanischen Eigenschaften der ta-C-Einzelschicht und der a-C/ta-C-Multischichtsysteme sind in *Tabelle 1* zusammengefasst. Für die etwa 2 µm dicke ta-C-Einzelschicht wurden Eindringhärten H_{it} zwischen 58 GPa und 60 GPa sowie Eindringmodulwerte E_{it} zwischen 650 GPa und 680 GPa ermittelt. Die Multischichtsysteme erreichten über den gesamten untersuchten Bereich an Teilschichtdicken Eindringhärten H_{it} von 57 GPa bis 63 GPa und Eindringmodulwerte E_{it} von 630 GPa bis 710 GPa. Damit überlappen die Wertebereiche beider Schichttypen weitgehend.

Eine systematische Abnahme der mechanischen Kennwerte mit abnehmender Teilschichtdicke beziehungsweise zunehmender Anzahl der Doppelschichten ist nicht erkennbar. Dies ist insbesondere deshalb bemerk-

Tab. 1: Wertebereiche der Eindringhärte H_{it} und des Eindringmoduls E_{it} der ta-C-Einzelschicht und der a-C/ta-C-Multischichtsysteme

Schichtsystem	Eindringhärte H_{it}	Eindringmodul E_{it}
ta-C Einzelschicht	58–60 GPa	650–680 GPa
Multischichtsystem	57–63 GPa	630–710 GPa

enswert, weil die Multischichtsysteme zu gleichen Dickenanteilen aus den weicheeren a-C- und den superharten ta-C-Teilschichten bestehen. Die Integration der etwa 20 GPa harten a-C-Teilschichten führt somit nicht zu einer relevanten Verringerung der Gesamthärte. Vielmehr bleibt der superharte Charakter der Beschichtung über den gesamten untersuchten Parameterbereich erhalten. Die ermittelten Werte liegen zugleich in der für superharte ta-C-Einzelschichten berichteten Größenordnung. Abhängig von Herstellungsverfahren, Schichtunterbau und Prüfbedingungen werden in der Literatur Härten von etwa 50 GPa bis 70 GPa sowie Eindringmodulwerte von mehreren hundert Gigapascal beschrieben [10, 15, 16].

Da Eindringhärte und Eindringmodul der untersuchten Systeme auf einem vergleichbaren Niveau liegen, können Unterschiede im Ritzverhalten im Wesentlichen mit dem Multischichtaufbau und der zunehmenden Anzahl der Grenzflächen in Verbindung gebracht werden. Als Referenz wurden für die ta-C-Einzelschicht kritische Lasten von $L_{c1} = 2,8$ N, $L_{c2} = 4,1$ N und $L_{c3} = 5,8$ N bestimmt (Abb. 4).

Das Multischichtsystem mit jeweils 500 nm dicken a-C- und ta-C-Teilschichten sowie $n = 2$ Doppelschichten zeigte nahezu identische Werte. Bei dieser geringen Zahl von Grenzflächen war somit noch keine Verbesserung der Haftung erkennbar. Mit einer Verringerung der Teilschichtdicke auf jeweils 100 nm und einer Erhöhung auf $n = 10$ Doppelschichten verschoben sich die kritischen Lasten deutlich zu höheren Werten. Der Beginn erster sichtbarer Schädigungen trat erst bei $L_{c1} = 4,7$ N auf, der Beginn des Haftversagens bei $L_{c2} = 5,8$ N und die vollständige Ablösung der Beschichtung bei $L_{c3} = 7,8$ N. Eine weitere Verbesserung wurde bei jeweils 25 nm dicken Teilschichten und $n = 40$ Doppelschichten festgestellt. Hier wurden $L_{c1} = 5,2$ N und $L_{c2} = 6,4$ N erreicht. Eine vollständige Delamination trat innerhalb des untersuchten Lastbereichs bis 8 N nicht mehr auf.

Die Ergebnisse zeigen, dass weniger die Dicke einer einzelnen Teilschicht als vielmehr

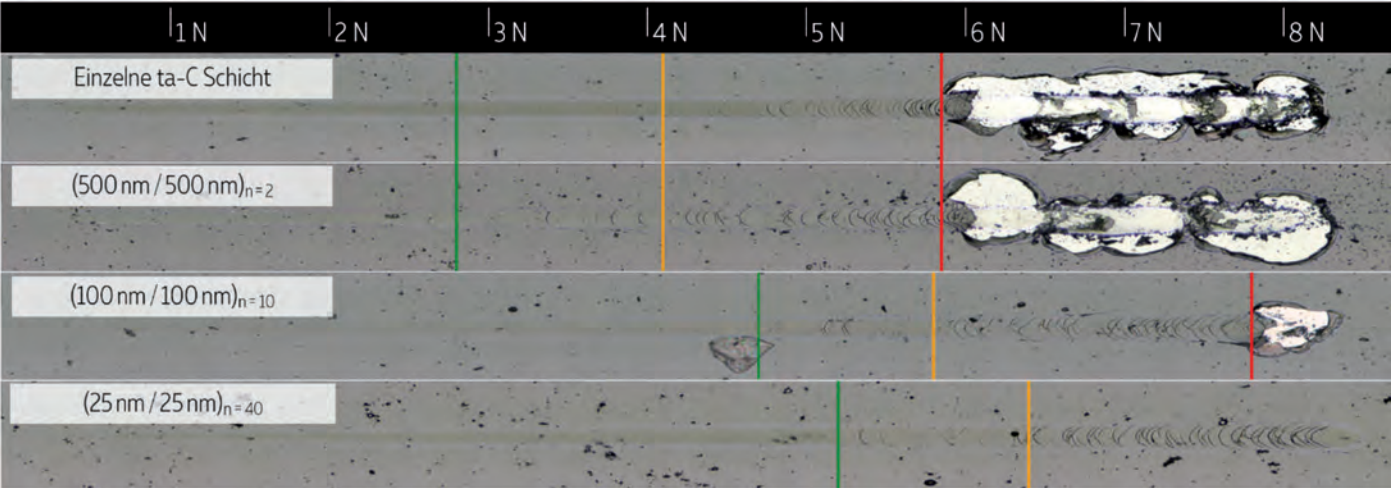


Abb. 4: Ritzspuren auf einer ta-C-Einzelschicht sowie auf a-C/ta-C-Multischichtsystemen mit konstantem a-C/ta-C-Teilschichtdickenverhältnis und variierender Doppelschichtanzahl. Die Messungen wurden mittels Rockwell-C-Ritztest mit einer konusförmigen Diamantspitze (Spitzenradius: 50 µm, Kegelwinkel: 120°) durchgeführt und die farblichen Markierungen kennzeichnen die kritischen Lasten L_{c1} (grün), L_{c2} (orange) und L_{c3} (rot)

die zunehmende Unterteilung des Schichtsystems und die damit verbundene Zahl der Grenzflächen für die verbesserte Haftung entscheidend sind. Die Grenzflächen können lokale Spannungen innerhalb des Schichtsystems verteilen und die Ausbreitung von Rissen über die gesamte Schichtdicke behindern. Dadurch werden sowohl der Beginn der Schädigung als auch das nachfolgende Haftversagen zu höheren Belastungen verschoben. Da Härte und Eindringmodul gleichzeitig nahezu unverändert bleiben, wird die verbesserte Haftung nicht durch einen Verlust der superharten mechanischen Eigenschaften erkauft. Die tribologischen Eigenschaften der ta-C-Einzelschicht und der Multischichtsysteme sind für beide Kugelmaterien und Prüfkraften in Tabelle 2 gegenübergestellt. Über sämtliche Prüfkonfigurationen wurden Reibungskoeffizienten zwischen 0,08 und 0,21 ermittelt. Die Wertebereiche der Einzelschicht und der Multischichtsysteme überlappen weitgehend. Ein systematischer Einfluss der Teilschichtdicke oder der Anzahl der Doppelschichten auf den Reibungskoeffizienten lässt sich daher nicht erkennen. Bei Verwendung der 100Cr6-Kugel lagen die Reibungs-

koeffizienten der Multischichtsysteme zwischen 0,08 und 0,12 bei 4 N sowie zwischen 0,08 und 0,17 bei 10 N. Für die Wolframcarbidkugel wurden Werte von 0,08 bis 0,20 beziehungsweise 0,12 bis 0,21 bestimmt. Diese Ergebnisse entsprechen dem für wasserstofffreie ta-C-Schichten unter trockenen Umgebungsbedingungen typischen Bereich von etwa 0,1 bis 0,2. Auch bei den spezifischen Verschleißraten zeigen Einzelschicht und Multischichtsysteme weitgehend überlappende Wertebereiche. Der Verschleiß der Beschichtungen lag über alle Prüfkonfigurationen hinweg zwischen $2 \mu\text{m}^3/\text{Nm}$ und $49 \mu\text{m}^3/\text{Nm}$. Eine Erhöhung der Prüfkraft von 4 N auf 10 N führte erwartungsgemäß zu einer Zunahme des Schichtverschleißes. Besonders bei Verwendung der härteren WC-Kugel wurden unter 10 N für die Multischichtsysteme Werte bis $49 \mu\text{m}^3/\text{Nm}$ erreicht. Ein eindeutiger Nachteil des Multischichtaufbaus gegenüber der ta-C-Einzelschicht ist daraus jedoch nicht abzuleiten, da sich die jeweiligen Wertebereiche auch hier deutlich überschneiden. Stärkere Unterschiede zeigen sich beim Verschleiß der Gegenkörper.

Bei einer Prüfkraft von 10 N erreichten die 100Cr6-Kugeln Verschleißraten zwischen $170 \mu\text{m}^3/\text{Nm}$ und $450 \mu\text{m}^3/\text{Nm}$. Die deutlich härteren Wolframcarbidkugeln wiesen unter denselben Bedingungen dagegen lediglich Werte zwischen $20 \mu\text{m}^3/\text{Nm}$ und $45 \mu\text{m}^3/\text{Nm}$ auf. Während der weichere Stahlgegenkörper somit bevorzugt verschlissen wurde, blieb der Verschleiß der Wolframcarbidkugel wesentlich geringer. Gleichzeitig wurde bei Verwendung der Wolframcarbidkugel tendenziell ein größerer Anteil der Beanspruchung auf die Beschichtung übertragen, was die teilweise höheren Schichtverschleißraten erklärt. Insgesamt sind die tribologischen Eigenschaften der Multischichtsysteme in Bezug auf Verschleiß und Reibung mit denen der Einzelschicht vergleichbar. Sowohl die Reibungskoeffizienten als auch die Verschleißraten liegen in derselben Größenordnung wie bei der ta-C-Referenzschicht. Der wesentliche Vorteil der a-C/ta-C-Multischichtsysteme besteht damit nicht in einer weiteren Verringerung des bereits niedrigen Reibungs- und Verschleißniveaus. Entscheidend ist vielmehr, dass superharte a-C/ta-C-Multischichtsysteme die hohe Härte und Verschleißbeständigkeit konventioneller ta-C-Einzelschichten mit einer deutlich verbesserten Haftung verbinden können. Insbesondere eine Verringerung der Teilschichtdicke und die damit verbundene Erhöhung der Grenzflächenzahl reduziert die Entstehung und Ausbreitung von Schädigungen, während Eindringhärte, Eindringmodul sowie Reibungs- und Verschleißverhalten weitgehend erhalten bleiben. Damit eröffnet der Multischichtansatz die Möglichkeit, Beschichtungsarchitekturen ge-

Tab. 2: Wertebereiche des Reibungskoeffizienten COF sowie der spezifischen Verschleißraten von Schicht k_s und Gegenkörper k_g für unterschiedliche Kugelmaterien und Prüfkraften

100Cr6-Kugel	Prüfkraft 4 N			Prüfkraft 10 N		
	COF	k_s	k_g	COF	k_s	k_g
Schichtsystem						
ta-C Einzelschicht	0,09–0,20	3–10 $\mu\text{m}^3/\text{Nm}$	20–80 $\mu\text{m}^3/\text{Nm}$	0,10–0,20	6–20 $\mu\text{m}^3/\text{Nm}$	190–450 $\mu\text{m}^3/\text{Nm}$
Multischicht	0,008–0,12	2–11 $\mu\text{m}^3/\text{Nm}$	17–77 $\mu\text{m}^3/\text{Nm}$	0,08–0,17	4–28 $\mu\text{m}^3/\text{Nm}$	170–430 $\mu\text{m}^3/\text{Nm}$
WC-Kugel						
ta-C Einzelschicht	0,10–0,20	3–20 $\mu\text{m}^3/\text{Nm}$	5–30 $\mu\text{m}^3/\text{Nm}$	0,11–0,20	12–34 $\mu\text{m}^3/\text{Nm}$	20–40 $\mu\text{m}^3/\text{Nm}$
Multischicht	0,08–0,20	2–27 $\mu\text{m}^3/\text{Nm}$	5–33 $\mu\text{m}^3/\text{Nm}$	0,12–0,21	12–49 $\mu\text{m}^3/\text{Nm}$	20–45 $\mu\text{m}^3/\text{Nm}$

zielt an unterschiedliche Substratwerkstoffe, mechanische Belastungen und tribologische Kontakte anzupassen. Künftige Schichtdesigns könnten beispielsweise linear oder exponentiell veränderte Teilschichtdicken, graduelle Übergänge sowie a-C-reichere Bereiche in Substratnähe und ta-C-reichere Funktionszonen an der Oberfläche umfassen. Dadurch ließen sich mechanische Anpassungsfähigkeit, Haftung und Verschleißschutz innerhalb eines einzigen Schichtsystems gezielt miteinander kombinieren.

Für eine industrielle Übertragung sind insbesondere Untersuchungen unter anwendungsnahen Bedingungen, etwa bei zyklischer Belastung, Schmierung, erhöhten Temperaturen und auf komplex geformten Werkzeug- oder Bauteiloberflächen von Bedeutung. Solche maßgeschneiderten Multischichtsysteme bieten das Potenzial, die Standzeiten hochbeanspruchter Komponenten zu verlängern und damit Wartungsaufwand, Materialverbrauch und Stillstandszeiten zu reduzieren.

Literaturverzeichnis

- [1] K. Holmberg, A. Erdemir: Influence of tribology on global energy consumption, costs and emissions; Friction 5 (3) (2017)
- [2] D. K. Rajak, A. Kumar, A. Behera, P. L. Menezes: Diamond-like carbon coatings: Classification, properties, and applications; Applied Sciences 11 (10) (2021)
- [3] A. Erdemir, J. M. Martin: Superior wear resistance of diamond and DLC coatings; Current Opinion in Solid State and Materials Science 22 (6) (2018)
- [4] J. Robertson: Diamond-like amorphous carbon; Materials Science and Engineering R: Reports 37 (4-6) (2002)
- [5] C. A. Charitidis: Nanomechanical and nanotribological properties of carbon-based thin films: A review; International Journal of Refractory Metals and Hard Materials 28 (1) (2010)
- [6] S. Vepřek: The search for novel, superhard materials; Journal of Vacuum Science & Technology A 17 (5) (1999)
- [7] Y. Pauleau: Residual stresses in DLC films and adhesion to various substrates; in: Tribology of Diamond-Like Carbon Films: Fundamentals and Applications (2008)
- [8] A. A. Voevodin, J. S. Zabinski: Superhard, functionally gradient, nanolayered and nanocomposite diamond-like carbon coatings for wear protection; Diamond and Related Materials 7 (2) (1998)
- [9] R. Wächter, A. Cordery: Effects of post-deposition annealing on different DLC films; Diamond and Related Materials 8 (2-5) (1999)
- [10] S. Weißmantel, G. Reißer, D. Rost: Preparation of superhard amorphous carbon films with low internal stress; Surface and Coatings Technology 188 (2004)
- [11] Y. Lin, A. W. Zia, Z. Zhou, P. W. Shum, K. Y. Li: Development of diamond-like carbon coatings with alternate soft and hard multilayer architecture for enhancing wear performance at high contact stress; Surface and Coatings Technology 320 (2017)
- [12] M. S. Kabir, Z. Zhou, Z. Xie, P. Munroe: Designing multilayer diamond-like carbon coatings for improved mechanical properties; Journal of Materials Science & Technology 65 (2021)
- [13] X. Han, J. Zhu, J. Han, M. Tan, Z. Jia, C. Jiang: Stress, mechanical and adhesion properties of multilayer tetrahedral amorphous carbon films; Applied Surface Science 255 (2) (2008)
- [14] Y. Lu, G. Huang, S. Wang, L. Xi, G. Qin, J. Tan, C. Tan: Pulsed laser deposition of multilayer diamond-like carbon film grown on stainless steel; Diamond and Related Materials 120 (2021)
- [15] K. Wätje, B. Schey, G. Thorwarth, M. Kuhn, B. Stritzker, Laser deposited and annealed ta-C films on different types of steel substrates, Plasma Process. Polym. 4 (S1) (2007)
- [16] M. Bonelli, A. Ferrari, A. Fioravanti, A. Li Bassi, A. Miotello, P.M. Ossi, Structure and mechanical properties of low stress tetrahedral amorphous carbon films prepared by pulsed laser dep.; Eur. Phys. J. B 25 (2002)

MUNK
WE HAVE THE POWER!

MUNK SiC TECHNOLOGY
– BE SMART, STAY AHEAD

PSP BOXEN

PSP TOWER

POWERCABINET

SiC UMPOLER



MUNK GmbH

Gewerbepark 8+10 | D-59069 Hamm-Rhynern
Tel.: +49 2385 74-0 | Mail: vertrieb@munk.de
www.munk.de | [f](#) [in](#) [v](#)

ZVO-OBERFLÄCHENTAGE
OT KARLSRUHE
16.-18.9.2026

STAND NR.:
11

EHLA bringt Ruhe ins Elektrofahrzeug

Der südkoreanische Automobilzulieferer ILJIN suchte eine Lösung für ein störendes Ping-Noise-Phänomen an der Schnittstelle zwischen Radlager und Antriebswelle. Gemeinsam mit dem Fraunhofer ILT entwickelte ILJIN dafür eine EHLA-basierte Funktionsschicht, die nun den Weg in die Massenproduktion schafft. Die Anwendung zeigt nach Mitteilung des Fraunhofer ILT, wie aus einem konkreten Industrieproblem ein serienfähiger Laserprozess entsteht. Sie zeigt auch, warum die Lösung nicht im Werkstoff allein liegt, sondern in der funktionsgerechten Auslegung von Bauteil, Oberfläche und Prozess.

Ein Elektroauto fährt fast lautlos an. Die starke Geräuschreduktion der Antriebstechnologie macht akustische Phänomene hörbar, die zuvor unbemerkt blieben. Knacken, Knirschen oder metallisches Klicken fallen im Innenraum deutlich stärker auf, gerade an Schnittstellen der Kraftübertragung, etwa zwischen Radlagereinheit und Antriebswelle.

Adam Dmytryszyn ist Wheel Bearing R&D Director Europe beim südkoreanischen Automobilzulieferer und Radlagerspezialisten ILJIN. Sein Entwicklungsteam unterstützt Projekte für europäische Kunden und sucht ständig nach neuen Fertigungsverfahren mit Potenzial für die Serienfertigung. Bei ILJIN rückte dabei das sogenannte Ping-Noise-Phänomen in den Fokus: ein NVH-Problem (Noise, Vibration, Harshness), das bei vielen modernen Fahrzeugen auftritt.

ILJIN zählt zu den weltweit größten Anbietern von Radlagern und fertigt solche Komponenten in hochautomatisierten Linien in Millionenstückzahlen. Ausgehend von den Anforderungen und in enger Abstimmung mit ILJIN entwickelte das Fraunhofer-Institut für Lasertechnik ILT eine EHLA-Beschichtung, welche die Kontaktbedingungen an der Radlagereinheit gezielt verändert. EHLA steht für Extremes Hochgeschwindigkeits-Laserauftragschweißen. Das Fraunhofer ILT hat diese besonders wirtschaftliche und materialschonende Beschichtungstechnologie entwickelt.

Ursache an der Radlagereinheit-Antriebswellen-Schnittstelle

Das Geräusch entsteht laut Adam Dmytryszyn nicht, weil ein Bauteil bricht oder sich löst, was manche vermuten, wenn sie es hören. *Es entsteht, weil an der Kontaktfläche zwischen Radnabe und Gleichlaufgelenk sehr hohe Kräfte auftreten*, erklärt Dmytryszyn. Beim Anfahren oder Rekuperieren wirkt bei Elektrofahrzeugen ein sehr hohes Drehmoment; es verformt die Antriebswelle minimal. Dadurch haften die beiden Stahlflächen an der Schnittstelle zunächst aneinander, gleiten dann ruckartig und haften wieder. Dieser

Stick-Slip-Effekt setzt in Sekundenbruchteilen Energie frei, die im Fahrzeug wahrnehmbare Vibrationen und Geräusche erzeugt.

Technisch handelt es sich nur um eine winzige Relativbewegung. Im Fahrzeug klingt sie jedoch wie ein hartes metallisches Knacken, also wie Ping-Noise. Bei Elektrofahrzeugen tritt dieser Effekt stärker in den Vordergrund. Sie liefern hohe Drehmomente schon aus dem Stand und fahren zugleich so leise, dass selbst kurze Impulse aus dem Fahrwerk stören.

Genau hier stoßen klassische Gegenmaßnahmen an Grenzen. Schmierfette mindern das Reiben kurzfristig, werden aber im Betrieb verdrängt und verlieren mit der Zeit ihre Wirkung, erläutert der Radlager-Experte. *Zusätzliche Scheiben mit reibarmen Beschichtungen bringen neue Bauteile in eine ohnehin enge Schnittstelle, erhöhen Aufwand und Kosten und verändern den Bauraum. Zusätzlich können sie PFAS-haltige Materialien enthalten, die als umweltschädlich gelten.*

Für ein Radlager, das millionenfach gebaut wird und zugleich sicherheitsrelevant ist, reicht ein Ansatz nicht aus, der nur im Versuch funktioniert oder einzelne Störgeräusche überdeckt. ILJIN suchte daher eine Lösung, die den hohen Qualitäts- und Kostenansprüchen entspricht und sich nahtlos in die bestehende Produktion einfügt. Aus einem akustischen Problem der Kunden wurde damit eine Frage von Design, Werkstoff und Prozess: Welche Funktionsschicht verändert die Kontaktfläche so, dass das Geräusch verschwindet, ohne das Bauteil selbst zu schwächen?

Fraunhofer ILT und ILJIN starten Entwicklungsprojekt

Den entscheidenden Impuls bekam Adam Dmytryszyn nicht in einem klassischen Automotive-Projekt, sondern beim Blick über den eigenen Tellerrand. Auf der Hannover Messe 2023 sah er eine EHLA-Anwendung des Fraunhofer ILT, bei der eine dünne metallische Schicht mit hoher Präzision aufgetragen und simultan zerspanend nachbearbeitet wurde. Eigentlich ging es dort um ein Gleitlager für



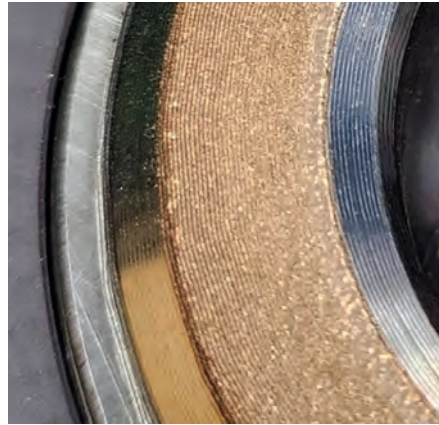
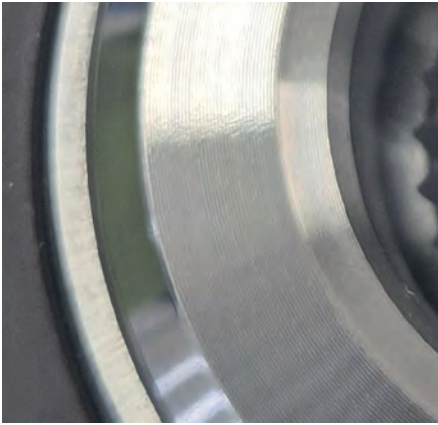
Bei EHLA wird Metallpulver im Laserstrahl aufgeschmolzen und als dünne Funktionsschicht auf das Bauteil aufgetragen. Für die Anwendung am Radlager war entscheidend, dass der Beschichtungsprozess kostengünstig und effizient ist und nur wenig Wärme in das Grundmaterial einbringt (© Fraunhofer ILT)



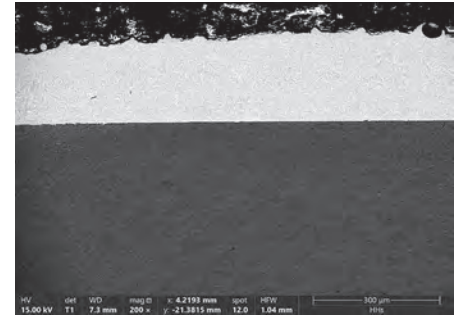
Die fertig beschichtete Generation 3-Radlagereinheit von ILJIN mit EHLA-Funktionsschicht auf der Ringfläche, an der im Fahrzeug die Schnittstelle zur Antriebswelle entsteht. Sie verändert die Kontaktfläche gezielt, ohne ein zusätzliches Bauteil in den engen Bauraum einzubringen (© ILJIN GmbH)

Windkrafträder. Für ihn zählte aber sofort der technische Kern: eine dünne, belastbare Schicht mit geringer Oberflächenrauheit, metallisch angebunden, mit sehr geringer Wärmeeinwirkung und hoher Prozessgeschwindigkeit. Genau diese Mischung passte zum Problem an der Radlager-Schnittstelle.

Aus dem Messekontakt entstand ein Entwicklungsprojekt. ILJIN brachte das Bauteil, das Systemwissen und die Anforderungen aus der Automobilproduktion ein. Aus der funktionellen Definition des Anwendungsfalls leiteten ILJIN und das Fraunhofer ILT gemein-



Die Kontaktfläche des Radlagers vor (l.) und nach (r.) der EHLA-Beschichtung. Die raue Struktur der Funktionsschicht ist gezielt erwünscht, da sie Schutz- und Schmierstoffe aufnehmen kann und so dazu beiträgt, die Kontaktfläche zwischen Radnabe und Antriebswelle dauerhaft zu stabilisieren (© ILJIN GmbH)



Die EHLA-Beschichtung soll metallisch fest angebunden sein, den Lagerstahl darunter aber nur minimal thermisch beeinflussen; dies wird mit dem gewählten Verfahren für die Anwendung erreicht, wie der Blick in die Randzone bei der mikroskopischen Untersuchung erkennen lässt (© Fraunhofer ILT)

sam Randbedingungen für die Beschichtung ab: Werkstoff, Schichtdicke, Wärmeeinflusszone und Oberflächenqualität.

Am Fraunhofer ILT in Aachen übernahmen Viktor Glushych, Gruppenleiter Beschichtung LMD und Wärmebehandlung, und Projektleiter Eduard Weisser die Aufgabe, daraus einen robusten und effizienten EHLA-Prozess zu entwickeln. Das ILJIN-Team konnte mit technischen Fragen direkt auf das ILT-Team zugehen, Prozessverständnis aufbauen und die nächsten Schritte von der Musterteilfertigung bis zur seriennahen Anwendung gemeinsam mit den Aachener Fachleuten ableiten.

In der Machbarkeitsstudie zeigte sich schnell, dass der Ansatz nicht nach dem Prinzip Werkstoff auswählen, Schicht auftragen, Problem gelöst funktioniert. Eine metallische Schicht auf ein Bauteil aufzubringen, ist nur der erste Schritt. Entscheidend war die fachliche Tiefe, mit der das Team des Fraunhofer ILT den Prozess auf die konkrete Anwendung

auslegte: auf das Bauteil, die Oberfläche, den Pulverwerkstoff, die Prozessparameter, die Schichtdicke und die Energiebilanz. Erst aus diesem Zusammenspiel entstand eine Beschichtung, die nicht nur haftet, sondern unter realen Lasten funktioniert und sich für einen industriellen Prozess eignet. Das Fraunhofer ILT-Team untersuchte systematisch verschiedene Schichtvarianten, prüfte die Anbindung an den Lagerstahl, ermittelte Härte und Wärmeeinflusszone und übertrug den Prozess Schritt für Schritt vom einfachen Muster auf das reale Radlager.

ILJIN testete und verglich die vom Institut hergestellten Versuchsmuster. Dafür verfügt das Unternehmen in Deutschland über ein Prüffeld, in dem es unter fahrzeugnahen Bedingungen testet. Die Ergebnisse der ersten Funktionstests flossen in die finale Prozessauslegung ein.

Gerade weil der betroffene Bereich sicherheitsrelevant ist, stellte ILJIN besonders hohe

Anforderungen an den Beschichtungsprozess. Die Beschichtung brauchte eine fehlerfreie stoffschlüssige Anbindung, durfte den darunterliegenden Stahl aber nicht durch thermische Einwirkung schädigen. Zugleich musste sie sich unter hoher Flächenpressung so verhalten, dass die Kontaktfläche über die gesamte Lebensdauer eines Fahrzeugs ihre Funktion erfüllt.

Geräusch verschwindet, Schnittstelle bleibt stabil

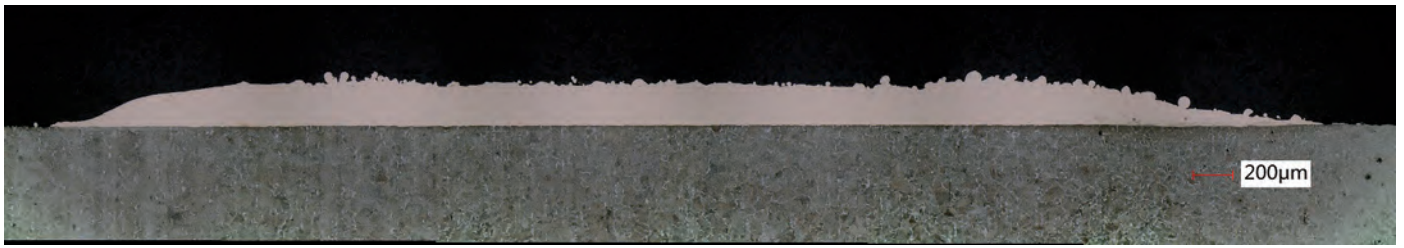
Für diese Anwendung war EHLA deshalb interessant, weil sich sehr kurze Prozesszeiten, niedrige Stückkosten und eine einfache Integration in bestehende Produktionslinien verbinden lassen, sagt Viktor Glushych. Gleichzeitig entsteht eine metallisch angebundene, PFAS-freie Funktionsschicht, die auf die Anforderungen von ILJIN an diese Schnittstelle abgestimmt ist und bestehenden Lösungen in vielen Aspekten überlegen ist.

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** – Beizentfetter 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



Im Querschliff wird die geringe Dicke der aufgetragenen Funktionsschicht sichtbar; in der Machbarkeitsstudie untersuchte das Fraunhofer ILT verschiedene Beschichtungswerkstoffe, Prozessstrategien und Verfahrensparameter, um die Beschichtung an das sicherheitskritische Radlager anzupassen (© Fraunhofer ILT, Aachen)

Beim Extremen Hochgeschwindigkeits-Laserauftragschweißen trifft das Metallpulver nicht kalt auf die Oberfläche. Der Laserstrahl schmilzt es bereits vor dem Auftreffen auf das Bauteil auf. Dadurch verbindet das Verfahren hohe Beschichtungsraten mit einem geringen Wärmeeintrag in das Grundmaterial. Für das Radlager war genau das entscheidend. Die Oberfläche musste gezielt funktionalisiert werden, der Stahl darunter aber seine mechanischen Eigenschaften behalten. So entstand eine dünne Funktionsschicht, die nicht als zusätzliches Bauteil in die Schnittstelle kommt, sondern direkt Teil der Radlageroberfläche wird. Das macht den Ansatz nach Aussage von Glushych besonders für Anwendungen interessant, bei denen hohe Anforderungen an Performance und Bauteilsicherheit auf strenge Kosten- und Qualitätskriterien treffen. Für ILJIN zählte dabei nicht nur die technische Machbarkeit, sondern auch der Weg in die Fertigungslinie. Ein Radlager ist kein Labordemonstrator, sondern ein Bauteil, das in sehr hohen Stückzahlen, mit strengem Takt entsteht. Die Beschichtung musste deshalb am komplett montierten Radlager gelingen,

sich in einen bestehenden hochautomatisierten Ablauf einfügen und die Fertigungstaktung einhalten. Nach dem Fügen, Montieren und Prüfen durfte kein langsamer, aufwändiger Spezialprozess folgen, der die ganze Linie ausbremst.

Das Team des Fraunhofer ILT arbeitete deshalb von Anfang an mit dem Ziel, die Schicht in wenigen Sekunden am fertig montierten Radlager aufzubringen. Durch eine passende Prozessauslegung entfiel die anschließende mechanische Nachbearbeitung. Auch die Beschichtungsoberfläche selbst wurde Teil der Lösung: Ihre Rauheit erwies sich nicht als Nachteil, sondern half dabei, Schutz- und Schmierstoffe aufzunehmen und die Kontaktfläche zwischen Radnabe und Antriebswelle zusätzlich zu stabilisieren.

Aus dem Labor in die Automotive-Serie

Tests auf Prüfständen und im Fahrzeug sollten zeigen, ob der Ansatz wirklich trägt. Dort zählt nicht nur, ob eine EHLA-Schicht die in der Machbarkeitsstudie festgelegten werkstofftechnischen Kriterien erfüllt. Entscheidend ist, ob sie nach Montage, Lastwechseln, Korrosion, Schmutz, Temperaturwechseln und vielen Fahrzyklen noch immer ihre Funktion erfüllt.

Die beschichtete Kontaktfläche hielt stand. *Bei allen Langzeittests, die wir intern und mit unseren Kunden bisher durchgeführt haben, gab es keine Probleme mit der aufgetragenen Schicht*, beschreibt Dmytryszyn. Sie ließ die Relativbewegung zu, ohne dass sich die Gegenfläche so stark beschädigte wie zuvor. Das störende Ping-Geräusch sei verschwunden, die Schnittstelle blieb funktionsfähig. *Wegen der geringen Schichtdicke eignet sich die Lösung für viele existierende Designs unserer Kunden direkt, ohne dass angrenzende Komponenten modifiziert werden müssen.* Auch für das Fraunhofer ILT markiert die Anwendung einen wichtigen Meilenstein im Technologietransfer. Nach bereits etablier-

ten EHLA-Anwendungen, etwa bei der Beschichtung von Bremscheiben, gelingt damit ein weiterer Transfer aus Aachen in die Serienfertigung der Automobilindustrie. Umfangreiche Tests und intensive Prüfungen haben inzwischen dazu geführt, dass ein erster Kunde die Serienfertigung beauftragt hat. ILJIN setzt die beschichteten Radlager nun für die Massenproduktion in Millionenstückzahlen um. Das Team des Fraunhofer ILT begleitet diesen Schritt weiter und unterstützt das Unternehmen dabei, den Prozess stabil, wiederholbar und qualitätsgesichert in die Fertigung zu übertragen.

Das ist alles andere als selbstverständlich. Gerade bei sicherheitsrelevanten Automotive-Komponenten reichen gute Versuchsergebnisse nicht aus. Der Prozess braucht kundenseitige Freigaben, dauerhaft beherrschbare Qualität und kurze Taktzeiten. Dass dieser Weg gelungen ist, zeigt, wie weit die Arbeit von Viktor Glushych, Eduard Weisser und dem ILJIN-Team über eine klassische Machbarkeitsstudie hinausging.

Mit der Serienanwendung am Radlager haben wir gezeigt, dass EHLA auch unter sehr anspruchsvollen Automotive-Bedingungen funktioniert, sagt Glushych. Jetzt gehe es darum, dieses Wissen auf weitere Produkte zu übertragen – nicht als Standardlösung, sondern als Ausgangspunkt für neue, anwendungsspezifische Funktionsschichten.

Die Anwendung bei ILJIN zeigt den erfolgreichen Transfer aus dem Fraunhofer ILT in die industrielle Serie. Aus einem Geräuschproblem an einer Schnittstelle entstand ein Laserprozess, der den Sprung in die Massenfertigung der Automobilindustrie schafft. ILJIN möchte EHLA künftig auch für Funktionsschichten in anderen Produktbereichen einsetzen, etwa in der Robotik sowie bei Fahrwerk- und Antriebskomponenten. Überall dort, wo gezielt angepasste Kontakteigenschaften Vorteile bringen.

➔ www.ilt.fraunhofer.de



Adam Dmytryszyn, Wheel Bearing R&D Director Europe bei ILJIN, stellte auf dem AKL 2026 in Aachen die Ergebnisse der durchgeführten Arbeiten vor (© Fraunhofer ILT)

Großes Interesse an neuen Technologien und Verfahren der Oberflächentechnik Teil 2



[Zum online-Artikel](#)

Die Vorträge auf dem ExpertForum der Surface Technology GERMANY 2026 zeigten, dass die Digitalisierung auch in der Oberflächentechnik in zunehmendem Maße zum Einsatz kommt und für den Nutzer deutliche Vorteile bringt. Zudem ist erkennbar, dass durch künstliche Intelligenz weitere deutliche Steigerungen bei der Effizienz und Qualität der Beschichtungsvorgänge zu erwarten sind. Dies ist insbesondere darauf zurückzuführen, dass die Zusammenhänge in der Oberflächenbehandlung und -beschichtung relativ komplex sein können. Sowohl mittels galvanischer als auch durch das breite Feld der physikalischen Beschichtungen können und müssen Spezialanforderungen aus der Industrie erfüllt werden. Physikalische Beschichtungen legen den Fokus auf hohe Härte bei guter Haftung und die Verfahrenstechnik strebt abnehmende Beschichtungszeiten an. Innovative galvanische Beschichtungen erfüllen die Anforderungen in der Energieerzeugung und Verwendung in Zusammenhang mit Wasserstoff als Energieträger.

Fortsetzung aus WOMag 6/2026

KI-Unterstützung

KI-gestützte Datenanalyse zur Reduktion der CO₂-Emissionen

Tim Straub hat bei der B+T, einem innovativen Unternehmen für die Oberflächenbehandlung und -beschichtung, die Aufgabe, auf Basis der umfangreichen Datenbasis aus der Fertigung, die Reduzierung der CO₂-Emissionen zu optimieren. Dabei kommen eigen entwickelte Systeme auf Basis künstlicher Intelligenz zum Einsatz, die den Menschen bei ihren Arbeiten zur Erreichung des Emissionsziels unterstützen sollen. Zu den Kerngeschäften der B+T zählen das Härten von Metallteilen und die galvanische Beschichtung, beides Prozesse mit hohem Energieverbrauch. Die dafür benötigte Energie wird seit 2024 aus grünem Strom bezogen, wodurch die vorgelagerten Emissionen auf Null reduziert werden konnten. Bei den direkten ergeben sich Einsparungsmöglichkeiten durch Optimierung der Logistik und Nutzung von Elektrofahrzeugen beziehungsweise Hybridfahrzeugen einschließlich Kompensation durch Aufforstungen in Deutschland. Diese beiden Bereiche werden nach dem Green House Gas Protocol Scope 1 und Scope 2 zugeordnet. Bei Scope 2 konnten die CO₂-Emissionen von 2900 Tonnen (2023) auf Null verringert werden und bei Scope 1 von 1144 Tonnen auf 148 Tonnen. Verbesserungen bestehen noch bei den Emissionen nach Scope 3, die seit 2023 etwa halbiert werden konnten und 2025 bei 2185 Tonnen lagen. Bis 2035 soll nach Aussage von Straub Klimaneutralität erreicht werden.

Die Analytik gehört an die Maschine

Oliver Brenscheidt verfügt über langjährige und umfangreiche Erfahrungen auf dem

Gebiet der galvanischen Beschichtung. Nach seiner Erfahrung befindet sich die Arbeitsweise in galvanischen Fertigungen in einem deutlichen Wandel: In früheren Jahren gehörte es häufig zum kostenfreien oder kostengünstigen Service der Chemielieferanten, durch Analysendienstleistungen den optimalen Betrieb der unterschiedlichen Arbeitsmedien und Elektrolyte zu gewährleisten. Dieser Service wird heute kaum noch geboten. Dadurch stehen die Mitarbeiter in einer galvanischen Fertigung vor der Herausforderung, die notwendigen Analysen und Interpretationen der erhaltenen Daten selbst durchführen zu müssen. Dazu müssen die Mitarbeiter mit geeigneten Geräten und dem notwendigen Know-how zur Bedienung ausgestattet werden.

Oliver Brenscheidt sieht hier gute Chancen, den Verbrauch an Energie und Materialien zu minimieren. Dies führt er unter anderem darauf zurück, dass Fachkräfte in der Produktion über die besten Kenntnisse der Prozesse verfügen und kurzfristig auf auftretende Veränderungen reagieren können. Moderne Analysengeräte bieten umfangreiche Leistungen unter Nutzung von moderner Datentechnik, um eine schnelle und effiziente Analytik mit optimaler Aussagekraft bezüglich Anpassungen der Prozesse zu gewährleisten.

KI-Algorithmen in der Produktionsplanung

Bei der Bearbeitung von Bauteilen unterschiedlichster Geometrie durch galvanische Beschichtung stellt die Verschleppung von Medien über die verschiedenen Prozessstufen hinweg eine Herausforderung dar. Durch Verschleppung gehen Chemikalien und Rohstoffe verloren und die Zusammensetzung

von Prozessmedien wird verändert; beides wirkt sich auf die Bearbeitungsdauer und die Kostenstruktur in einer galvanischen Fertigung aus.

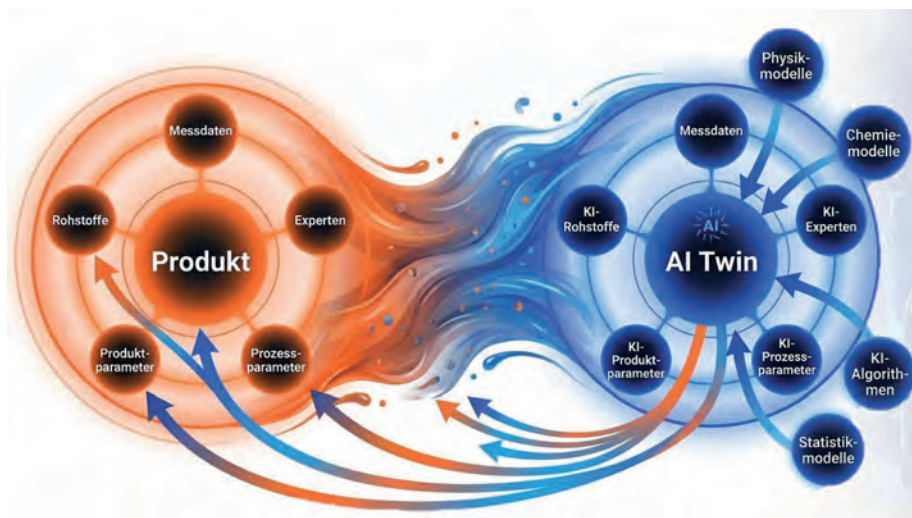
Alexander Windhab, Softec, befasst sich mit den Möglichkeiten, die Verschleppung durch Erfassung und Verarbeitung der Bauteilgeometrie in die Prozessplanung mit einzubeziehen. Hierzu wird eine Software darauf trainiert, aus einer mittels 3D-Scanner erfassten Geometrie die Verschleppung und damit zusammenhängende Kenngrößen wie beispielsweise die Abtropfzeit abzuschätzen. Dadurch wird es möglich, bereits im Vorfeld der Beschichtung die Bearbeitungsdauer oder die anfallenden Kosten für die Bearbeitung zu ermitteln und in die Auftragsplanung einzubeziehen.

KI-Formulierungen

Die Verwendung von Chemikalien, etwa in der Oberflächentechnik, wird von einer Reihe von Faktoren beeinflusst – von der Gesetzgebung über den Energiebedarf, die Rohstoffbeschaffung, den Fachkräftemangel bis hin zur Nachhaltigkeit. Dr. Mathias Huck, ai predict, erarbeitet KI-Lösungen zur Optimierung der verschiedenen Einflussgrößen.

Eingangs betonte er, dass die Komplexität der Zusammenhänge das eigentliche Problem darstellt und im Chemiebereich bislang noch keine weite Verbreitung des KI-Einsatzes festzustellen ist. Darüber hinaus scheuen aber auch viele Kunden den Einsatz von künstlicher Intelligenz, da hierfür die Nutzung unternehmensspezifischer Daten unerlässlich ist. Es besteht die Befürchtung, durch die Bereitstellung von Daten wichtiges Know-how zu verlieren. Der Vortragende wies darauf hin, dass bei den von ihm erarbeiteten Lösungen

OBERFLÄCHEN



Beispiel für eine Multitargetoptimierung

(Bild: Dr. Huck)

zwar genau diese Daten und deren Auswertung genutzt wird, aber die Oberhoheit über die Verwendung der Daten und die daraus gewonnenen Ergebnisse beim jeweiligen Anwender verbleiben. Dadurch wird es möglich, für jeden Anwendungsfall die optimale Lösung zu erhalten und damit eine deutliche Verbesserung der Abläufe und wirtschaftlichen Ergebnisse zu erzielen. Realisiert wurden bereits Lösungen für den Einsatz von Beschichtungen, Klebstoffen oder Reaktionsgeneratoren.

Digitalisierung in der Praxis

Digitale Galvanotechnik – Anwendung und Trends

In den letzten zehn Jahren sind in Deutschland die Lohnstückkosten wesentlich stärker gestiegen als die Arbeitsproduktivität. Die Entwicklung von neuen Technologien für die Produktion sollte diese unerwünschte Entwicklung mindern. Dr. Peter Schwanzer vom

Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und Automatisierung IPA befasst sich mit der Entwicklung und Umsetzung digitaler Technologien in der Galvanotechnik, um hier einen Innovationsschub möglich zu machen.

Die Unterstützung durch neue Technologien kann für unterschiedliche Teilbereiche einer Fertigung angegangen werden: bezogen auf die Maschinen, die Steuerung von Prozessen, die Prozesstechnik, den Warentransport in einem Fertigungsablauf oder auch die Vertriebsstruktur. Eine relativ hohe Komplexität weist in der Regel die galvanische Prozesstechnik auf, da zahlreiche Faktoren für die Schichtherstellung eine Rolle spielen. Einige der Faktoren, wie beispielsweise Temperatur oder Elektrolytströmung, werden durch geeignete Messsysteme automatisiert erfasst, einige weitere wie die Konzentration von Komponenten in Elektrolyten oder auch die Schichtkennwerte müssen durch zeitaufwendige Analysen ermittelt werden. Aus dieser Fülle an relevanten Daten werden Abhängig-

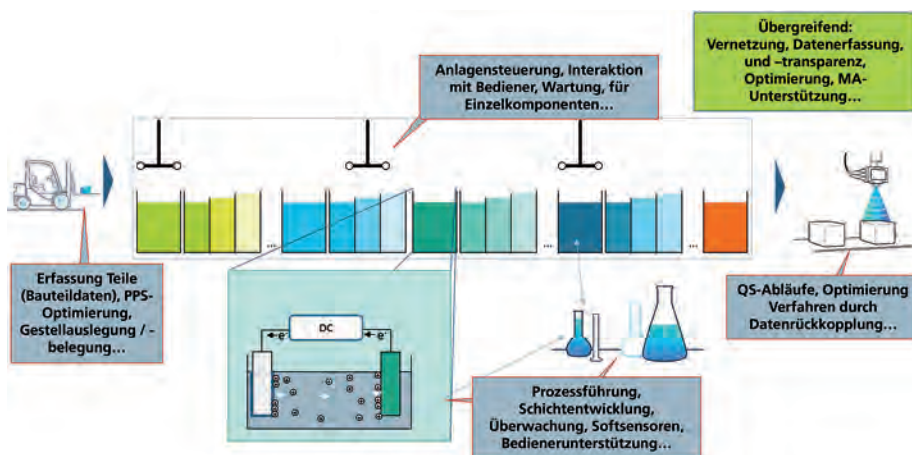
keiten ermittelt. Hier können moderne KI-Verfahren Unterstützung leisten, soweit ausreichend Datensätze zur Verfügung stehen. Das Fraunhofer IPA kann dazu auf eine Lerngalvanik zurückgreifen, in der zum Beispiel reale Bauteile mit Zink beschichtet werden. Die mithilfe von KI-Verfahren entstandenen Modelle des Beschichtungsprozesses helfen dabei, die natürlichen Schwankungen bei der Verzinkung von Teilen in einer Lohngalvanik abzubilden und dadurch die Effektivität der Fertigung zu verbessern.

Digitalisierung in Produktionsanlagen

Die Bearbeitung von großen Stückzahlen an Bauteilen erlaubt es, einen Fertigungsprozess bestmöglich auf Effizienz zu optimieren. Damit ist auch die Grundlage für eine umfangreiche Digitalisierung mit den daraus möglichen Verbesserungen gegeben. Dr. Milan Pilaski beschäftigt sich bei der Bosch Manufacturing Solutions (BMG) mit der Digitalisierung galvanischer Fertigungsverfahren zur Maximierung von Qualität und Effizienz. Zu diesem Zweck werden die entsprechenden Anlagen speziell auf eine Produktart und mit umfangreichen Systemen zur Erfassung und Archivierung der jeweiligen Anlagendaten und der Fertigungsergebnisse, also den Schicht- beziehungsweise Oberflächendaten, ausgestattet. Der Einsatz von künstlicher Intelligenz soll hier die Verbindungen zwischen den zahlreichen Prozessparametern und den sich daraus ergebenden Oberflächeneigenschaften aufzeigen.

Umgesetzt wurde die Technologie für die Hartverchromung, die Nickelabscheidung, das Anodisieren von Aluminiumteilen sowie für das Beizen von Metallteilen. Die vollautomatisch arbeitende Anlage zum selektiven Hartverchromen besteht aus vier Prozessmodulen mit 104 Einzelreaktoren und erreicht eine Abscheidegeschwindigkeit von 3 µm/min. Sie ermöglicht eine 100%ige Bauteilverfolgung und eine vollständige Inline-Schichtdickenmessung bei einem Durchsatz von 28 Millionen Teilen pro Jahr. Die Ausschussrate der Anlage beträgt bei einer vollständigen Regelung aller verfügbaren Einrichtungen etwa 0,2 Prozent.

Die Anlage zur Nickelabscheidung ermöglicht eine partielle Vernickelung einschließlich Innenbeschichtung von mehr als 20 Teiltypen aus unterschiedlichen Materialien und Geometrien auf Gestellen. Die erforderliche hohe Qualität wird durch eine Regelung der Elektrolytzusammensetzung erreicht. Auch die Anodisierung erfolgt selektiv für die funk-



Beispiel für potenzielle Ansatzpunkte zur Nutzung von künstlicher Intelligenz in einer galvanischen Fertigung

(Bild: Dr. Schwanzer)

tionsrelevanten Bereiche mit einer Jahreskapazität von etwa 1,8 Millionen Teilen. Mit der Anlagentechnik ist eine durchgängige bauteilgenaue Datenerfassung und Rückverfolgbarkeit gewährleistet. Das selbe gilt für die Anlage zum Beizen von Metallen. Alle Anlagen erreichen nach Angaben von Dr. Pilaski die für Bosch geforderte Qualität bei gleichzeitig geringem Aufwand für die Bedienung.

Oberflächen für die Energietechnik

Anodenkatalysatoren für die PEM-Wasserelektrolyse

Aktuell steht Wasserstoff als Energieträger im Fokus der Energiewirtschaft. Erzeugt wird Wasserstoff unter anderem durch Elektrolyse von Wasser, idealerweise unter Einsatz von erneuerbaren Energien. Bei der Wasserzerersetzung entstehen an der Anode Sauerstoff und Wasserstoffionen, weshalb hier durch den sehr niedrigen pH-Wert eine aggressive Lösung entsteht. Um die ausreichende Beständigkeit des Anodenmaterials zu gewährleisten, wird bisher Iridiumoxid als Anodenmaterial gearbeitet.

Dr. Stefan Kölle, Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und Automatisierung IPA, befasst sich mit der Entwicklung von Ano-

denoberflächen, die eine vergleichbare Effizienz bei deutlich geringeren Materialkosten besitzen. Ansatzpunkt hierfür ist die Reduzierung des Iridiumgehalts bei vergleichbaren elektrischen und katalytischen Eigenschaften zu geringeren Kosten. Basis für entsprechende Anoden ist Titan in Form von Streckmetall oder Titanfilz, die beide große Oberflächen aufweisen. Versuche haben gezeigt, dass die Iridiummenge gesenkt werden kann, wenn im ersten Schritt eine Bindschicht aus Platin aufgebracht wird und darauf direkt Iridiumoxid abgeschieden wird. Die ersten auf diese Weise hergestellten Anoden zeigen gute Ergebnisse in der praktischen Anwendung.

Elektroden für Energiespeicher

Carsten Glanz vom Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und Automatisierung IPA, befasst sich mit der Herstellung von Elektroden für Akkumulatoren, die heute in unterschiedlichsten Formen und Größen als wichtigster Speicher für elektrische Ladungen unerlässlich sind.

Grundsätzlich geht es hierbei um die Fertigung zweier Elektroden, getrennt durch einen Separator, durch den die aktiven Ionen, derzeit in erster Linie Lithiumionen, wandern und so für den Ladungstransport sorgen. Die

speicherbare Ladungsmenge hängt vor allem von der Größe der wirksamen Oberfläche der Elektroden ab. Dazu wird die Oberfläche aus Partikeln aufgebaut, die von Elektrolyt umgeben sind.

Die Elektrodenfertigung bestimmt die Wirtschaftlichkeit und Leistungsfähigkeit von Batteriezellen und gilt als aufwendigster und sensibelster Schritt im gesamten Prozess. Die Herstellung der Elektroden erfolgt mit einem nass oder einem trocken arbeitendem Beschichtungsverfahren. Bei der Nasstechnologie werden die aktiven Partikel mit einem Lösemittel zu einer Paste vermischt und auf das Elektrodensubstrat aufgetragen; anschließend wird das Lösemittel verdampft.

Lesen Sie weiter unter womag-online.de

WOMag-online-Abonnenten steht der gesamte Beitrag zum Download zur Verfügung. Im Weiteren werden Inhalte von weiteren zwei Vorträgen aus dem Bereich Energietechnik sowie von drei Vorträgen des Themenbereichs der physikalischen Oberflächentechnik zusammengefasst. Der Gesamtumfang des Beitrags beträgt etwa 4,5 Seiten mit 6 Abbildungen.

SYSTEME UND ANLAGEN FÜR DIE OBERFLÄCHENTECHNIK

LSR GmbH

Galvano- und Umwelttechnik



**ANLAGENBAU
STEUERUNGSTECHNIK
SCHALTSCHRANKBAU
PLANUNG UND BERATUNG
WARTUNG UND SERVICE
RETROFIT UND ANLAGENERWEITERUNGEN**

WE KNOW HOW

LSR GmbH

Galvano- und Umwelttechnik



info@LSR-GmbH.de | www.LSR-GmbH.de



≡ Dünne Schichten, starke Leistung

Empa Spin-off Swiss Cluster gewinnt den Swiss Economic Award

Das Empa-Spin-off Swiss Cluster hat den **Swiss Economic Award 2026** in der Kategorie **Produktion/Gewerbe** erhalten. Das junge Unternehmen entwickelt Geräte für vakuumbasierte Beschichtungsverfahren. Damit lassen sich komplexe Bauteile schützen oder funktionale Dünnschichten von unvergleichlicher mechanischer und thermischer Widerstandsfähigkeit erstellen. Swiss Cluster beliefert Forschungsinstitutionen auf der ganzen Welt; aber auch die Uhrenindustrie, die Optikbranche und Elektronikhersteller gehören zu den Kunden.

Die malerische Gemeinde Spiez am Ufer des Thunersees mutet wie eine alpine Idylle an. Unter einem ihrer Giebedächer stößt man auf einen Aspekt der *Swissness*, der zwar selten auf Postkarten zu sehen ist, aber genauso zur Schweiz gehört, wie die Alpen: Hightech-Innovation. Hier ist Swiss Cluster zuhause, ein Spin-off der Empa, das sich auf neuartige Systeme zur Herstellung von Dünnschichten spezialisiert hat. Gegründet wurde Swiss Cluster Ende 2020 an der Empa in Thun vom Materialforscher Carlos Guerra und dem Elektronikingenieur Kevin Lücke im Labor *Mechanics of Materials and Nanostructures* unter der Leitung von Johann Michler. Die beiden Mitgründer forschten an der Empa daran, Dünnschichten robuster und widerstandsfähiger zu machen.

Das Anliegen ist für viele Industriezweige zentral; Dünnschichten haben zahlreiche Anwendungen. Sie schützen empfindliche Bauteile vor Verschleiß und Korrosion. In der Optik entspiegeln sie Linsen und ermöglichen Spezialfilter. Dekorative Dünnschichten verleihen Uhrenkomponenten ein besonderes Farbenspiel. Beschichtete medizinische Implantate werden besser vom Körper angenommen. Und in der Mikroelektronik sind Dünnschichttechnologien gar das A und O: Transistoren, Computerchips und Displays bestehen aus präzisen Abfolgen von mikro- und nanometerdünnen Materiallagen.

Zwei Verfahren im Tandem

Ein verbreitetes Verfahren zur Herstellung von Dünnschichten ist die physikalische Gasphasenabscheidung (engl.: physical vapor deposition, PVD). Dabei wird das Ausgangsmaterial, meist ein Metall oder ein Metalloxid, in einer Vakuumkammer verdampft und kondensiert sich auf dem zu beschichtenden Bauteil, dem Substrat. Dieses etablierte Verfahren kombiniert Swiss Cluster mit dem wesentlich neueren vakuumbasierten Prozess namens Atomlagenabscheidung (engl.: atomic layer deposition, ALD). Anders als bei PVD werden beim ALD-Verfahren abwechselnd gasförmige Ausgangsstoffe in die Vakuumkammer hinzugefügt. Daraus bildet sich das Beschichtungsmaterial in einer chemischen Reaktion auf dem Substrat – mit atomarer Präzision bei der Dicke der Schicht.

ALD ermöglicht sehr dünne, homogene Schichten, die ausgezeichneten Schutz gegen Korrosion und Oxidation bieten. PVD liefert hingegen sehr harte Schichten, erklärt der CEO von Swiss Cluster, Carlos Guerra. *Durch die Kombination der beiden Verfahren können wir Dünnschichten herstellen, die außerordentlich widerstandsfähig sind: hart und duktil zugleich, thermisch robust und resistent gegen Korrosion.*

Die Kombination der beiden Dünnschichtverfahren ist komplex. Das Substrat aus einem Gerät rausnehmen und ins nächste stecken



Bryan Dousse (l.) und Carlos Guerra, zwei der Tüftler hinter den Beschichtungsgeräten von Swiss Cluster
(Bild: Empa)

liefert nicht das gewünschte Resultat: An der Luft wird die Oberfläche oxidiert und verunreinigt, was die Anhaftung der nächsten Schichten verschlechtert. Für Laborexperimente an der Empa bestand laut Guerra ein frühes System aus je einer Vakuumkammer für ALD und PVD. Ein Doktorand musste das Substrat für jede einzelne Schicht manuell zwischen den Kammern verschieben, ohne das Vakuum zu unterbrechen, erinnert er sich. Um diesen Prozess zu verbessern entstand, teils aus Unternehmerteil, teils aus eigenem Bedarf, die erste Maschine von Swiss Cluster. Sie kombiniert die Vorrichtungen für ALD und PVD in einer einzigen Vakuumkammer. Nanogeschichtete Strukturen, für die der Forscher im Labor eine Woche gebraucht hat, entste-



Funktionaler Glanz: Das Spin-off Swiss Cluster ermöglicht neuartige Beschichtungsverfahren
(Bild: Empa)

Über die Swiss Cluster AG

Swiss Cluster wurde im November 2020 als Spin-off der Empa in Thun gegründet. Das Unternehmen entwickelt Systeme zur Beschichtung von Komponenten mittels unterschiedlicher Dünnschichtverfahren und bietet sowohl die Geräte selbst als auch Beschichtungsdienstleistungen an. Es wird geführt von den Mitgründern Carlos Guerra (CEO) und Kevin Lücke (CTO), sowie den Late Co-Founders Gabriela Sanchez (COO) und Bryan Dousse (CPO). Das Unternehmen ist in Spiez angesiedelt und umfasst heute 15 Mitarbeitende in der Schweiz.

➔ <https://swisscluster.com>

hen darin innerhalb von wenigen Stunden. *Als wir den Prototypen im Labor bauten, erkannten wir, dass daraus ein Produkt werden könnte,* sagt Guerra. Swiss Cluster war geboren.

Innovation zugänglicher machen

Swiss Cluster ist nicht das erste Unternehmen, das PVD und ALD kombiniert. Das *Power-Duo* hat bereits in der Halbleiterindustrie Fuß gefasst. Die Halbleiterhersteller verwenden das kombinierte Verfahren nach Aussage von Guerra auf eine sehr spezifische Art, die sich schlecht auf andere Industriezweige übertragen lässt. *Wir wollen uns stattdessen auf den restlichen Markt fokussieren.*

Denn dünne, robuste und funktionale Schichten sind überall gefragt – von der Uhrenindustrie bis hin zur Herstellung von optischen Komponenten, Batterien, Implantaten und Mikroelektronik. Und für diejenigen Kunden, die Interesse am aufstrebenden ALD-Verfahren allein haben, bietet Swiss Cluster ein weiteres Gerät an. Es ermöglicht sogenanntes *Batch ALD*: eine Variante von Atomlagenabscheidung, die schneller ist und die gleichzeitige Beschichtung mehrerer Komponenten oder von großen und komplexen Bauteilen ermöglicht.

ALD sei ein relativ neues Verfahren und werde erst seit rund 20 Jahren in der Industrie eingesetzt, sagt Guerra. *Wir sind überzeugt, dass es weiter an Bedeutung gewinnen und zusätzliche Sektoren erobern wird.* Obwohl vakuumbasierte Verfahren häufig kostspielig sind, liefern sie hochpräzise Ergebnisse, was ihnen für viele Anwendungen einen Vorteil verschafft.

Anders als die in der Halbleiterindustrie üblichen Gerätschaften sind die Maschinen von Swiss Cluster nach eigenen Angaben kompakt und verhältnismäßig einfach zu installieren und zu betreiben. *Wir machen diese High-Tech-Verfahren zugänglicher,* führt der Gründer aus. Im eigenen Labor in Spiez bietet das Start-up außerdem Beschichtungen auch als Dienstleistung an. *Wir arbeiten gemeinsam mit unseren Kunden, um geeignete Beschichtungen für ihre Anwendungen zu finden.* Das helfe, die eigenen Geräte weiter zu verbessern – und der Kunde könne sich vom Verfahren überzeugen, ohne sich gleich eine neue Maschine anschaffen zu müssen.

Was in einem Labor an der Empa in Thun mit zwei Tüftlern und einem Prototyp begann, ist heute eine erfolgreiche Jungfirma geworden. 15 Mitarbeitende arbeiten für die Firma in Spiez, unterstützt von einem Partnernetzwerk auf der ganzen Welt. Swiss Cluster-Maschinen stehen in Forschungsinstitutionen und bei Firmen in der Schweiz, den USA und Großbritannien. Lieferungen nach Frankreich, Brasilien, Italien und China stehen kurz bevor.

Hier setzt sich Swiss Cluster von vielen anderen Hightech-Start-ups ab: Die junge Firma startete seit Tag eins mit einem Kunden an Bord und wuchs bis jetzt mehrheitlich organisch, über den Verkauf von Geräten und Dienstleistungen. *Unsere erste Investition hatten wir erst 2025,* sagt Guerra. Ein Erfolg, aber auch eine Herausforderung: *Wir mussten es von Anfang an richtig machen,* schmunzelt der Mitgründer. Auch deswegen seien sie sehr froh gewesen um die anfängliche Unterstützung, die sie als Spin-off von der Empa erhalten haben. Nun wurde das Unternehmen vom Swiss Economic Forum mit dem begehrten *Swiss Economic Award* in der Kategorie *Produktion/Gewerbe* ausgezeichnet. Die Jury lobte die Kombination aus wissenschaftlicher Exzellenz, Industrieverständnis und unternehmerischer Umsetzung, die das Spin-off an den Tag legt.

Anna Ettlin

www.empa.ch

Galvanikanlagen für dekorative und funktionelle Oberflächen.



Gestellanlagen
Trommelanlagen
Tischgalvanikanlagen
Einzelwannen
Ionenaustauscheranlagen

OT

ZVO-OBERFLÄCHENTAGE

KARLSRUHE

16.-18.9.2026

Kongress für Galvano- und Oberflächentechnik

Wir stellen aus

Stand Nr.:

18

www.walterlemmen.de

THE
SURFACE
EXPERTS

Galvanikanlagenbau für perfekte Oberflächen

f in @
@walterlemmengmbh

Walter Lemmen GmbH

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

Leiterplattentechnik
Galvanotechnik
Medizintechnik
Wafer Technik
Automatisierung
Filtertechnik
Apparatebau

Glatte Kohlenstoffschichten der neuen Generation

Ultradicke ta-C-Schichten und Plasmafiltertechnik erweitern Anwendungsmöglichkeiten

Hohe mechanische und abrasive Belastungen verkürzen die Lebensdauer von Werkzeugen und Bauteilen deutlich. Beschichtungen aus tetraedrisch-amorphem Kohlenstoff (ta-C) reduzieren Reibung und schützen Oberflächen wirkungsvoll. Das Fraunhofer-Institut für Werkstoff- und Strahltechnik IWS hat nach eigenen Angaben kürzlich zwei Durchbrüche erzielt, die den industriellen Einsatz von ta-C-Schichten deutlich erweitern können. Forschende aus Dresden entwickelten danach eine Plasmafiltertechnologie für das Laser-Arc-Verfahren, um Defekte gezielt zu reduzieren. Erstmals gelang es darüber hinaus, ultradicke ta-C-Schichten bis 100 Mikrometer prozesssicher zu realisieren und somit die Tür zum Schutz mechanisch höchst belasteter Oberflächen zu öffnen, berichtet das Fraunhofer IWS.

Tetraedrisch-amorpher Kohlenstoff stellt die härteste Form diamantartiger Kohlenstoffschichten dar. Ein hoher Anteil sp^3 -hybridisierter Diamantbindungen erzeugt die hohe Härte und ausgeprägte Verschleißbeständigkeit. Gleichzeitig senkt ta-C die Reibung in tribologischen Systemen deutlich. Industrieunternehmen nutzen diese Eigenschaften seit Jahren, um Reibverluste zu reduzieren und Bauteile unter anspruchsvollen Einsatzbedingungen zu schützen.

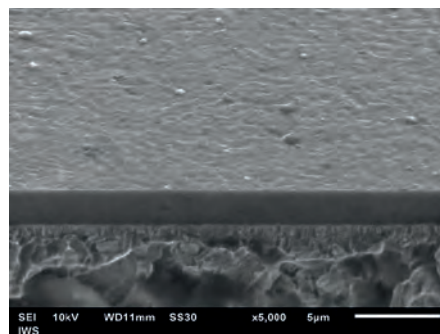
Die industrielle Herstellung von ta-C-Schichten erfordert kontrollierte Vakuumbogenprozesse. Dabei entstehen unvermeidlich partikelartige Tröpfchen, sogenannte Droplets. Sie lösen sich aus der Kathode, gelangen in den Plasmastrahl und lagern sich in der wachsenden Schicht ab. Diese Defekte erhöhen die Rauheit und erfordern häufig aufwändige, nachgelagerte Glättungsschritte. Gleichzeitig begrenzen hohe Druckeigenspannungen die erreichbare Schichtdicke, da sie das Risiko von Schichtversagen erhöhen. Die umfassende industrielle Verbreitung von ta-C-Schichten hängt entscheidend davon ab, ob sich diese Herausforderungen überwinden lassen. Das Fraunhofer IWS entwickelt das Laser-Arc-Verfahren konsequent für den industriellen Einsatz weiter. Hohe Abscheideraten und stabile Prozesse gehören zu den wesentlichen Vorteilen dieser Technologie. Gemeinsam mit Industriepartnern überführten die Forschenden das Verfahren in Serienanwendungen für tribologische Schutzschichten auf Motoren- und Maschinenkomponenten sowie Werkzeugen.

Ultrahohe Schichtdicken und glatte Oberflächen gezielt realisieren

Parallel zur Industrialisierung des Laser-Arc-Verfahrens adressierte das Fraunhofer IWS zwei zentrale Herausforderungen der ta-C-Herstellung durch eine gezielte Weiterent-

wicklung: die Abscheidung mehr als 20 Mikrometer dicker Schichten mit geringen Eigenstressungen sowie die Herstellung glatter, defektfreier ta-C-Schichten. Die Forschenden passten dafür die Puls-Stromquellen-technik sowie die Schichtarchitektur an und senkten die Druckeigenspannungen auf ein unterkritisches Niveau, ohne Einbußen an der Schichthärte zu erleiden.

Parallel optimierte das Team die Langzeitstabilität der Laser-Arc-Technik bei hoher Abscheiderate. Anlagen arbeiten heute über Zeiträume von mehr als 24 Stunden stabil und ermöglichen reproduzierbare Prozesse für große Schichtdicken. Ergänzend entwickelte das Fraunhofer IWS spezifische Haftsichschichtsysteme, angepasst an den jeweiligen Werkstoff. Diese ermöglichen die sichere Abscheidung von ta-C-Schichten bis 100 Mikrometer auf technischen Substraten wie Wälzlagerstahl, Hartmetall, Gusswerkstoffen und ausgewählten Kunststoffen. Zusätzlich integrierten die Forschenden eine Plasmafiltertechnik in das Laser-Arc-Verfahren. Ein 90-Grad-Umlenkfilter trennt nun den Ionenstrom



Mittels 90-Grad-Plasmafilterung hergestellte, etwa 2,5 μm dicke ta-C-Schicht (Schrägsicht auf die Bruchfläche im REM); die Partikelabtrennung führt zu einer glatten, defektarmen Oberfläche und steigert die Lebensdauer belasteter Komponenten

(© Fraunhofer IWS)



Dank industrienaher Fertigung am Fraunhofer IWS gelangen ta-C-Schichten schnell von der Forschung in die Praxis. Laser-Arc-Anlagen können diese Beschichtungen herstellen, die besonders unter hohen mechanischen oder tribologischen Belastungen ideale Eigenschaften liefern, wodurch Reibverluste reduziert und Bauteile vor Verschleiß geschützt werden
(© Jürgen Jeibmann/Fraunhofer IWS)

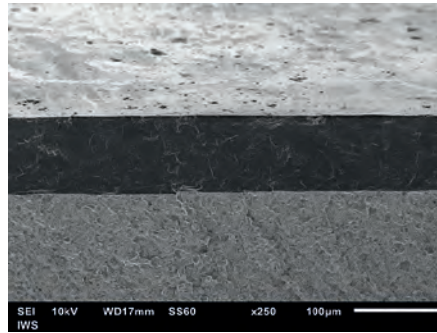
gezielt von Partikeln. Die Schicht wächst dadurch gleichmäßig und weist eine besonders geringe Defektdichte auf, während eine hohe Abscheiderate des Verfahrens erhalten bleibt. Unsere Laser-Arc-Technik kombiniert hohe Abscheideraten mit stabilen Prozessen für qualitativ hochwertige ta-C Schichten, sagt Dr. Volker Weihnacht, Abteilungsleiter Dünnschichttechnik am Fraunhofer IWS. Die gezielte Absenkung der Eigenstressungen, die hohe Langzeitstabilität und angepasste Haftsichschichtkonzepte ermöglichen ihm zufolge erstmals die industrielle Abscheidung von ultradicken Schichten – ein echter Durchbruch für klassische Dünnschichtsysteme, die bei

hoher Belastung oftmals durch den *Eierschaleneffekt* versagen würden. *Unsere "dicken" ta-C-Schichten bringen nun selbst die erforderliche Stützwirkung mit, die für hohe Belastungen erforderlich sind.*

Industrieller Nutzen dank hochbelastbarer Schichtstrukturen

Die Anwendung entscheidet über die Auslegung des Schichtsystems. Hohe Schichtdicken kommen dort zum Einsatz, wo starke abrasive oder erosive Belastungen auftreten. Die Schicht wirkt selbsttragend und vermeidet den Eierschaleneffekt, also ein frühzeitiges Schichtversagen, durch lokale Überlastung. Schichtdicken von bis zu 100 Mikrometern ermöglichen dadurch einen zuverlässigen und dauerhaften Schutz, wenn extreme Einsatzbedingungen dies erfordern.

Für Anwendungen mit harten Grundwerkstoffen genügen Schichtdicken von einem bis fünf Mikrometern. Die Plasmafiltertechnik ermöglicht dabei die Abscheidung von glatten, defektarmen ta-C-Schichten. Die Filterung entfernt Droplets aus dem Plasmastrahl und ermöglicht homogene Schichten mit glatter Oberfläche. Das erhöht die Oberflächenqualität der Bauteile und verbessert die Stabilität tribologischer Systeme im Betrieb. Typische Einsatzfelder sind Gleitlager, Wellen, Führungen sowie Werkzeuge für die Zerspanung und Umformung. Die angepasste Schichtauslegung erlaubt es, das System gezielt auf die jeweilige Belastung und Funktion abzustimmen. *Die Erweiterung des Laser-Arc-Verfahrens um ultradicke und glatte ta-C-Schichten stärkt unseren Beitrag zur Lebensdaueroptimierung industrieller Systeme,* erklärt Prof. Christoph Leyens, Institutsleiter des Fraunhofer IWS.



Ultradicke ta-C-Schicht von etwa 100 µm Schichtdicke nach Glättung; Schrägansicht auf die Bruchfläche im REM; im Gegensatz zu normalen diamantartigen Kohlenstoffschichten mit wenigen Mikrometern Dicke, hält diese ta-C-Schicht auch lokalen Überlastungen stand, z. B. abrasiven Staub- oder Sandpartikeln
(© Fraunhofer IWS)

Die Neuentwicklung reduziere Verschleiß noch weiter, stabilisiere Produktionsprozesse und helfe der Industrie, Ressourcen sparsam und gezielt einzusetzen.

Reibungsreduzierung zur Verbesserung der Energieeffizienz

Neben dem Verschleißschutz nutzen ta-C-Schichten eine weitere Eigenschaft: ihre nahezu universell niedrige Reibung. Unter unterschiedlichsten Mediensmierungen – von Motoröl und Maschinenöl über Fette und Wachse bis hin zu wasserbasierten Medien sowie Säuren und Basen – zeigen selbst einseitig mit ta-C beschichtete Reibpaarungen ein stabiles Reibverhalten mit Reibwerten von 0,1 bis 0,2. Selbst unter ungünstigen Betriebsbedingungen bleibt das tribologische System stabil. Mangelschmierung oder ein

vorübergehender Ausfall der Schmierung führen nicht unmittelbar zu Schädigungen der Kontaktflächen. Diese Robustheit erweitert die Einsatzmöglichkeiten von der Lebensmittelverarbeitung über Anwendungen im Trinkwasserumfeld und in der Medizintechnik bis hin zu Implantatbeschichtungen.

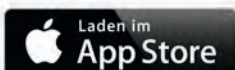
Ein weiteres Potenzial eröffnen ta-C-Schichten bei der Supraschmierung, einem Zustand mit nahezu nicht mehr messbaren Reibwerten. Forschende des Fraunhofer IWS untersuchen gemeinsam mit Partnern aus Wissenschaft und Industrie seit Jahren, wie sich dieser Effekt auf reale Maschinenkomponenten übertragen lässt. Einen wichtigen Fortschritt erzielte das vom Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz geförderte Forschungsprojekt *CHEPHREN*: Erstmals erreichten glatte, mittels Plasmafiltertechnik hergestellte ta-C-Schichten unter anwendungsnahen Bedingungen den Zustand der Supraschmierung. Der langzeitstabile Effekt dieser Reibungsreduktion besitzt ein erhebliches volkswirtschaftliches Potenzial. Er steigert die Energieeffizienz von Antriebs- und Maschinenelementen und senkt den Energieverbrauch von Motoren, Pumpen und Anlagen um bis zu zehn Prozent. *ta-C bietet großes Potenzial für den Verschleißschutz und zur Energieeinsparung in zahlreichen Industrieanwendungen. Die weiterentwickelte Laser-Arc-Technik erweitert dieses Einsatzspektrum, indem sie ultradicke und besonders glatte ta-C-Schichten ermöglicht,* fasst Dr. Volker Weihnacht zusammen. *Damit werden Anwendungen realisierbar, die bislang technisch nicht umsetzbar waren.*

➔ www.iws.fraunhofer.de

WOMag-App

Online und offline auf mobilen Geräten

- ➔ mobil und bequem nutzen
- ➔ Suche nach Stichworten und mit Kategorien
- ➔ Schnellsuche mit Bildgalerien
- ➔ umfangreiche Verlinkungen nutzen
- ➔ Nachrichtendienst zu interessanten Neuheiten
- ➔ ... und mehr



WOMAG
Werkzeugmaschinen und Maschinentechnik

FILTERSYSTEME VOM PROFI

PROZESSOPTIMIERT.
BEDIENERFREUNDLICH.
EFFIZIENT.

Sager Mack

Leading the way in pumps and filters

Facebook Instagram LinkedIn YouTube

www.sager-mack.com

ALLE AUSGABEN

Zehn Jahre Lohnreinigung bei der Richard Geiss GmbH

Von der Hotelbar in die Produktionshalle: Wie eine spontane Idee zum erfolgreichen Geschäftsfeld wurde

Mit einem losen Gespräch an der Hotelbar hat es einst angefangen, heute hat sich das Geschäftsfeld der Lohnreinigung bei der Richard Geiss GmbH in Offingen (Landkreis Günzburg) nach Mitteilung des Unternehmens längst zu einer wichtigen Säule im Dienstleistungsportfolio des Familienunternehmens entwickelt. Innerhalb der vergangenen zehn Jahre liefen knapp 100.000 Tonnen an unterschiedlichen Bauteilen aus Stahl und Edelstahl durch die Lohnreinigung bei der Richard Geiss GmbH. Das Unternehmen, das sich auf das Recycling von Lösemitteln spezialisiert hat, gehört zu den führenden Anbietern in ganz Europa.

Es ist schon verrückt, was hier entstanden ist und dass wir jetzt eine zehnjährige Erfolgsgeschichte der Lohnreinigung feiern können, die mittlerweile von über 150 Kunden genutzt wird, sagt Bastian Geiss, der geschäftsführende Gesellschafter der Richard Geiss GmbH. Die Idee kam ihm abends an einer Hotelbar im Schwarzwald: Ein Kunde hatte seine Firma aufgegeben und uns seine Entfettungsanlage zum Kauf angeboten. Irgendwann haben wir gesagt: Okay, die kaufen wir.

Die ursprüngliche Idee war, die Anlage am Firmensitz in Offingen aufzubauen und lediglich für interne Schulungen sowie für Versuche zu nutzen, um weitere Erfahrungen im Umgang mit unterschiedlichen Lösemitteln und Stabilisatoren zu sammeln. Bis ein befreundeter Unternehmer aus der Metallindustrie von der Installation erfuhr und eine erste Gitterbox nach Offingen zum Testen schickte. Das Ergebnis war laut Geiss so gut, dass er uns immer mehr Bauteile zukommen ließ, weil sich die von uns gereinigten Teile viel besser in die nachfolgenden Prozesse integrieren ließen als die, die sie selbst entfettet hatten.

Start im Mai 2016

Ab diesem Zeitpunkt war für Bastian Geiss und sein Team klar: *Da könnte was gehen.* Also baute das Unternehmen eine neue Halle und installierte im Mai 2016 eine R5 Reinigungsanlage von Pero. Das war der offizielle Startschuss für den neuen Geschäftsbereich. Die ersten Kunden für die Lohnreinigung kamen über Mund-zu-Mund-Propaganda und irgendwann wurde das Angebot zum Selbstläufer und damit auch zur unverzichtbaren Säule im Rundum-Service von Richard Geiss, die seit 2025 sogar unter einer eigenen Marke – *RG4Clean Parts* – läuft.

Kunden sparen sich Investitionen

Reinigungsprozesse in der Metallindustrie sind laut Geiss stets eine heikle Sache. Für viele Unternehmen lohne es sich nicht mehr, eigene Anlagen zu betreiben. *Die sind dann dankbar dafür, dass wir Ihnen diese Arbeit abnehmen,* so Geiss. So war es auch bei einem Automotive-Zulieferer aus dem Allgäu, der Probleme mit seiner bestehenden Anlage und darüber hinaus einen Kapazitätsengpass hatte. Statt in neue Technik zu investieren, nutzt das Unternehmen nun seit vielen Jahren den Lohn-

reinigungsservice der Richard Geiss GmbH für circa drei Millionen Bauteile pro Jahr. Der Prozess ist nach dem VDA-Standard 6.3 zertifiziert.

Nicht nur bei Kapazitätsengpässen, sondern gerade auch bei Qualitätsproblemen in ihren eigenen Entfettungsprozessen profitieren die Kunden vom Outsourcing-Angebot der Richard Geiss GmbH. In der industriellen Fertigung kann sich nach Aussage von Bastian Geiss niemand leisten, dass die Produktion stillsteht und Bauteile nicht ausgeliefert werden können. *Wir helfen unseren Kunden, dass sie ihre Lieferfähigkeit garantieren können – selbst, wenn es im Inhouse-Reinigungsprozess haken sollte.* Immer mehr Unternehmen nutzen das Lohnreinigungsangebot auch als Puffer, zum Beispiel bei geplanten Wartungsarbeiten an den eigenen Anlagen.

Volle Flexibilität

Die Kunden von Richard Geiss GmbH können Geiss zufolge frei wählen, ob die gereinigten Bauteile wieder zu ihnen zurück ins Werk geschickt werden sollen oder direkt weiter zu ihren Kunden. Die Art der Gebinde ist ebenfalls frei wählbar. Blisterverpackungen sind eben-



Vor zehn Jahren installierte die Richard Geiss GmbH die Pero-Anlage für die Lohnreinigung (Bild: Richard Geiss)



Knapp 100.000 Tonnen unterschiedlicher Bauteile durchliefen in den vergangenen zehn Jahren die Lohnreinigung (Bild: Richard Geiss)

so möglich wie die Lieferung im genormten KLT-Behälter. Wir richten auch den Logistikprozess genau auf die Bedürfnisse unserer Kunden aus, so Geiss.

Alleinstellungsmerkmal

Mit dem High-End-Lohnreinigungsservice im Portfolio verfügt die Richard Geiss GmbH über ein Alleinstellungsmerkmal in ganz Europa: *Wir sind der einzige Anbieter, der alle Felder bedient: Wir sind Lösemittelrecycler, Lösemittelentwickler, Lösemittelanbieter und gleichzeitig auch Anwender.* Über das eigene Labor kann das Unternehmen auch sämtliche Dienstleistungen, wie beispielsweise die Restschmutzanalysen vornehmen. *Diese Kombination aus Prozess, Analytik und Qualitätssicherung ist wirklich einzigartig,* erklärt Bastian Geiss.

Diese Einzigartigkeit hat mittlerweile einen Namen: *RG4Chemicals* steht für den Anspruch des Unternehmens, ihren Kunden alles aus einer Hand anzubieten: von der Destillation, über den Vertrieb der Produkte, Labor- und Beratungsleistungen, bis hin zur fachgerechten Entsorgung der Altware und eben auch dem Service der Bauteilreinigung in Offingen.

Über die Richard Geiss GmbH

Die Richard Geiss GmbH ist einer der europaweit führenden Spezialisten im Bereich Lösemittelrückgewinnung mit Sitz in Offingen



Über 150 Kunden nutzen das Know-how und den Service der Lohnreinigung bei der Richard Geiss GmbH (Bild: Richard Geiss)

im Landkreis Günzburg. Das Unternehmen produziert aus Lösemittelabfällen hochreine Destillate durch destillative Aufarbeitung. Es liefert Lösemittel in die industrielle Oberflächenreinigung, in die Textilreinigung, für die Analyse von Asphalt, in den Dentalbereich, sowie in die chemische und pharmazeutische Industrie. Die Lohnreinigung rundet das Leistungsspektrum als sechstes Geschäftsfeld ab. Die Richard Geiss GmbH beschäftigt in Offingen nach eigenen Angaben circa 110



Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter. Das Unternehmen hat eine genehmigte Aufbereitungskapazität von 50.000 Tonnen Lösemittel pro Jahr, die zu hochreinen Destillaten aufbereitet werden. Es ist nach ISO 9001, ISO 14001, ISO 45001, ISO 50001 sowie als Entsorgungsfachbetrieb zertifiziert. Die Richard Geiss GmbH wurde 1959 von Richard Geiss gegründet; heute führt Bastian Geiss das Familienunternehmen in dritter Generation. jm
➔ www.geiss-gmbh.de

25. Werkstofftechnisches Kolloquium in Chemnitz

Das Institut für Werkstoffwissenschaft und Werkstofftechnik (IWW) der Technischen Universität Chemnitz lädt zum 25. Werkstofftechnischen Kolloquium (WTK) unter dem Leitthema *Nachhaltigkeit durch innovative Werkstofftechnik* ein. Am 17. und 18. März 2027 erwartet die Teilnehmer und Teilnehmerinnen ein vielfältiges Programm mit aktuellen Forschungsthemen. Die Veranstaltung bietet eine einzigartige Gelegenheit für einen anregenden Erfahrungsaustausch sowie die Vernetzung zu Experten und Expertinnen aus Forschung und Industrie.

Das Programm des 25. WTK umfasst unter anderem die Bereiche Werkstofftechnik, Oberflächentechnik, Füge- und Fertigungstechnik, Additive Verfahren, Wasserstofftechnologien und nachhaltige Antriebssysteme, Verbundwerkstoffe und hybride Werkstoffe, Werkstoffverhalten und -analytik sowie wissens-

und datenbasierte Modellierung und der Einsatz künstlicher Intelligenz. Konferenzsprache ist Englisch, Beiträge in deutscher Sprache sind ebenfalls möglich. Ergänzt wird das Tagungsprogramm durch eine begleitende Industrieausstellung.

Call for abstracts

Das Institut für Werkstoffwissenschaft und Werkstofftechnik lädt Expertinnen und Experten ein, Abstracts zu folgenden Themen einzureichen und das Tagungsprogramm aktiv mitzugestalten:

- Oberflächentechnik
- Werkstoffentwicklung
- Füge- und Fertigungstechnik
- Additive Verfahren
- Wasserstofftechnologien und nachhaltige Antriebssysteme
- Verbundwerkstoffe und hybride Werkstoffe



– Werkstoffverhalten und -analytik
– Wissens- und datenbasierte Modellierung
– Einsatz künstliche Intelligenz
Abstracts (max. 200 Wörter) können bis **30. Oktober 2026** eingereicht werden. Kontakt: wtk-iww@mb.tu-chemnitz.de
Weitere Informationen finden Interessierte unter
➔ www.tu-chemnitz.de/mb/iww/wtk/index.php

Interaktiver VOA-Labor-Workshop für Beschichter

Der Verband für die Oberflächenveredelung von Aluminium e. V. (VOA) hat sein Weiterbildungsangebot erfolgreich erweitert: Der zweitägige Labor-Workshop für Beschichter am 30. Juni und 1. Juli 2026, den der Verband gemeinsam mit dem fem Forschungsinstitut in Schwäbisch Gmünd durchführte, brachte Fachkräfte aus Produktion, Labor und Qualitätssicherung zusammen, um sich intensiv mit den Anforderungen moderner Beschichtungsprozesse auseinanderzusetzen.

Im Mittelpunkt des Workshops standen nicht nur Fachvorträge zu den Themen Vorbehandlung, Beschichten, Einbrennen und Qualitätskontrolle, sondern vor allem die praktische Arbeit in kleinen Gruppen. Die Teilnehmer beschäftigten sich intensiv mit Themen wie Oberflächenvorbereitung, Prozessparameter, Pulverlacksysteme, Schadensanalytik, Korrosionsprüfungen und moderne Messverfahren. Dabei konnten sie die vorgestellten Methoden direkt selbst anwenden und zahlreiche nützliche Tipps für die Arbeit im Unternehmen mitnehmen, denn ein wesentliches Merkmal des Workshops war das Konzept des interaktiven, gemeinsamen Lernens.

In drei Laborgruppen wurden die einzelnen Prozessschritte praxisnah erarbeitet. Eigene Fragestellungen und Fehlerbilder waren ausdrücklich erwünscht und wurden in die Übungen mit den Experten des fem Forschungsinstituts und Branchenkollegen integriert. Dadurch entstand ein offener Erfahrungsaustausch, von dem sowohl erfahrene Fachleute als auch Nachwuchskräfte profitierten. Die Teilnehmer nutzten während der beiden Veranstaltungstage die Gelegenheit, unterschiedliche Herangehensweisen zu vergleichen, über Herausforderungen zu diskutieren und gemeinsam nach Lösungen zu suchen. Die Diskussionen zeigten eindrucksvoll, wie wertvoll der fachliche Austausch innerhalb der Beschichtungsbranche ist.



Selbst machen statt zusehen – Gruppenphase während des Labor-Workshops



(Bild: fem)



Die Teilnehmenden des Labor-Workshops für Beschichter

(Bild: fem)



VOA-Geschäftsführerin Kathrin Lämmermann mit Dr. Christof Langer, Abteilungsleiter Leichtmetall-Oberflächentechnik, fem (Bild: VOA)

Wieder zurück im Veranstaltungssaal verband der Workshop Grundlagenwissen mit hochaktuellen Themenstellungen. So ging es unter anderem um die Auswirkungen von recyceltem Aluminium auf die Beschichtungsqualität, um aktuelle Entwicklungen in Bezug auf das internationale Qualitätszeichen Qualicoat sowie um Digitalisierung und künstliche Intelligenz.

Der Labor-Workshop des VOA zeigt erneut, dass praxisorientierte Weiterbildung, persön-

licher Austausch und gemeinsames Arbeiten an realen Fragestellungen einen wichtigen Beitrag zur Weiterentwicklung nicht nur der Mitarbeiter im Unternehmen, sondern auch der ganzen Branche leisten können. Hierfür bot die Veranstaltung die ideale Plattform und setzte neue Impulse für die Qualifizierung von Mitarbeitern und Mitarbeiterinnen entlang der gesamten Prozesskette der Beschichtung.

➔ www.voa.de

Nicht-Einsatz von Chrom(VI) – wirtschaftliche Folgen

Eine von ZVO und VECCO initiierte sozioökonomische Untersuchung zeigt erstmals auf Basis konkreter Unternehmensdaten, welche wirtschaftlichen Folgen der Nicht-Einsatz von Chrom(VI) für Unternehmen und nachgelagerte Wertschöpfungsketten haben könnte. Das Ergebnis ist deutlich: Die tatsächlichen Kosten reichen weit über die unmittelbar betroffenen Oberflächenbetriebe hinaus. Für die untersuchte Stichprobe summieren sich die potenziellen Auswirkungen auf rund 1,65 Milliarden Euro, berichtet der ZVO.

Im laufenden europäischen REACH-Restriktionsverfahren zu Chrom(VI) kommt der Bewertung der sozioökonomischen Folgen eine zentrale Bedeutung zu. Vor diesem Hintergrund haben der Zentralverband Oberflächentechnik e. V. (ZVO) und VECCO e. V. das Beratungsunternehmen EPPA mit einer Untersuchung der wirtschaftlichen Folgen beauftragt, die mit einem möglichen Nicht-Einsatz von Chrom(VI) verbunden wären.

Grundlage der Untersuchung sind aggregierte Unternehmensdaten von 35 teilnehmenden Unternehmen aus Deutschland und Österreich. Diese beschäftigen zusammen rund 6.000 Vollzeitäquivalente und erzielten 2025 einen kombinierten Umsatz von rund 625,8 Millionen Euro. Mehr als 3.300 Kunden werden von diesen Unternehmen mit chrombeschichteten Bauteilen beliefert; rund 79 Prozent davon sind kleine und mittlere Unternehmen.

1,65 Milliarden Euro potenzielle Gesamtkosten

Die Untersuchung betrachtet nicht nur die unmittelbar bei den Beschichtungsunternehmen entstehenden wirtschaftlichen Belastungen. Berücksichtigt werden vier wesentliche Kostenblöcke:

- 252 Millionen Euro wirtschaftliche Auswirkungen, insbesondere durch erwartete EBIT-Verluste
- 57 Millionen Euro soziale Kosten, insbesondere infolge möglicher Arbeitsplatzverluste
- 18 Millionen Euro Netto-Kosten für Rückbau und Stilllegung von Anlagen sowie
- rund 1,3 Milliarden Euro Auswirkungen bei nachgelagerten Unternehmen und Wertschöpfungsketten.

Insgesamt ergeben sich damit für die untersuchte Stichprobe potenzielle Kosten von rund 1,65 Milliarden Euro.

Besonders bemerkenswert ist dabei die Größenordnung der Downstream-Effekte. Die Oberflächentechnik steht nicht am Ende einer Wertschöpfungskette. Sie ist vielmehr integraler Bestandteil von industriellen Produktionsprozessen und liefert funktionale Ober-

flächen unter anderem für Maschinenbau, Verteidigung, Medizintechnik, Lebensmittelindustrie und zahlreiche weitere Anwendungen. Die untersuchten Unternehmen sind in mehr als 20 unterschiedlichen Sektoren aktiv. Die Untersuchung macht damit zugleich auf eine grundlegende Schwäche einer zu eng gefassten sozioökonomischen Betrachtung aufmerksam. Unter Einbeziehung der Auswirkungen entlang der Lieferkette ergeben sich rechnerisch Kosten von rund 5,4 Millionen Euro je unmittelbar exponiertem Beschäftigten. Die Studie stellt diesem Wert einen Kostenansatz von 0,13 Millionen Euro pro Arbeitnehmer im SEAC-Ansatz gegenüber. Damit liegen die in der Untersuchung ermittelten Kosten entlang der Wertschöpfungskette um den Faktor 41,5 höher. Gerade dieser Unterschied zeigt, warum die sozioökonomische Bewertung einer Chrom(VI)restriktion nicht an den Werkstoren der Galvanikunternehmen enden darf.

Galvanische Oberflächen sind häufig nur ein kleiner Teil des wirtschaftlichen Werts eines Bauteils; für dessen Funktion, Lebensdauer, Korrosions- und Verschleißbeständigkeit können sie jedoch entscheidend sein. Fällt die entsprechende Beschichtung aus, können die wirtschaftlichen Folgen deshalb ein Vielfaches des eigentlichen Beschichtungswerts erreichen.

Produktionsverlagerungen statt Risikoreduktion?

Die Studie zeigt darüber hinaus ein weiteres industriepolitisches Risiko. Die befragten Unternehmen nennen Werksschließungen und die Verlagerung von Produktion in Staaten außerhalb des europäischen Wirtschaftsraums als wahrscheinliche Szenarien im Falle einer entsprechenden REACH-Restriktion. Besonders kritisch ist dies bei Anwendungen für strategisch relevante Branchen wie Verteidigung, Energie, Pharma und Lebensmittelindustrie. Eine Verlagerung solcher Produktionskapazitäten aus Europa würde nicht nur Wertschöpfung und Beschäftigung treffen, sondern könnte zugleich die industrielle Re-



Eine neue Studie zu Chrom(VI) ergab, dass die Restriktionskosten für die industrielle Wertschöpfungsketten massiv unterschätzt werden
(Bild: ZVO)

silienz und strategische Autonomie Europas schwächen.

Die Untersuchung weist zudem ausdrücklich darauf hin, dass die ermittelten Werte als Untergrenze zu verstehen sind. Eine größere Unternehmensstichprobe sowie die Berücksichtigung von weiteren Kostenbestandteilen würden den ermittelten wirtschaftlichen Gesamteffekt voraussichtlich weiter erhöhen.

Regulierung muss die gesamte Wertschöpfungskette berücksichtigen

Für den ZVO ist klar: Der Schutz von Beschäftigten und Umwelt vor Chrom(VI)expositionen hat eine hohe Bedeutung. Eine europäische Regulierung muss jedoch zugleich technisch umsetzbar, verhältnismäßig und industriepolitisch verantwortbar sein. Die nun vorliegende Studie liefert dafür eine wichtige zusätzliche Datengrundlage. Sie verdeutlicht insbesondere, dass die gesellschaftlichen und wirtschaftlichen Folgen von regulatorischen Entscheidungen nicht allein anhand der unmittelbar mit Chrom(VI) arbeitenden Beschäftigten oder der einzelnen Beschichtungsunternehmen bewertet werden können. Wer die sozioökonomischen Folgen einer Chrom(VI)restriktion realistisch beurteilen will, muss die gesamte industrielle Wertschöpfungskette betrachten. Denn Oberflächentechnik ist keine isolierte Branche. Sie ist ein unverzichtbarer Bestandteil industrieller Produktion in Europa.

Lukas Hanstein

➔ www.zvo.org

Leipziger Galvanopreis

Die DGO-Bezirksgruppen Thüringen und Sachsen schreiben wieder den Leipziger Galvanopreis aus, der anlässlich des 32. Leipziger Fachseminars am 4. März 2027 überreicht werden wird. Alle Unternehmen der Galvano- und Oberflächentechnik, also Rohstoff-, Verfahrensschemie-, Anlagen- und Komponentenlieferanten, Galvaniken/Beschichter und sonstige Branchenmitglieder, die innovative Lösungen erfolgreich umgesetzt haben, können sich bewerben beziehungsweise vorschlagen werden.

Unternehmen, die innovative anlagentechnische Leistungen, verfahrensschemische Leistungen, materialeffiziente Lösungen, energieeffiziente Lösungen, ökologische Lösungen oder strategische Unternehmens-/Managementkonzepte erfolgreich umsetzen konnten, haben gute Chancen, die nächste Auszeichnung des Leipziger Galvanopreises in Empfang nehmen zu können.

Eine Bewerbung oder ein Vorschlag bedarf einer Mindestformatierungsgrundlage, damit eine objektive und gerechte Bewertung möglich ist. Die Veranstalter erwarten daher eine Beschreibung auf maximal zwei DIN A4-Seiten als Word-Dokument, in dem der Bewerber beziehungsweise der Vorschlagende in der gebotenen Ausführlichkeit die Innovation mit folgenden Schwerpunkten beziehungsweise Beurteilungskriterien darstellt:

- Neuheit für die Branche
- Wissenschaftlicher Gehalt
- Wert für die Praxis
- Praxiseinführung
- Wirtschaftlichkeit
- Ökologie
- Veröffentlichungen / Patente

Mit dieser Beschreibung kann das unabhängige und neutrale Bewertungsgremium eine solide und tragfähige Entscheidung für den zukünftigen Preisträger treffen. Preisvorschläge für herausragende Persönlichkeiten, die anerkannte Verdienste um die weitere Entwicklung der Galvanotechnik vorweisen können, sind ebenso herzlich willkommen.

Die Bewerbung beziehungsweise der Vorschlag für den nächsten Leipziger Galvanopreis können bis **31. Oktober** eines jeden Jahres mit einer aussagekräftigen und ausreichend detaillierten Bewerbung per E-Mail unter bewerbung@galvanopreis.de eingereicht werden.

➔ www.dgo-online.de

DGO-BG München

Am 25. Juni stand für die DGO-BG München wieder eine besondere Exkursion auf dem Programm: Rund 30 Teilnehmer folgten der Einladung zu Airbus nach Taufkirchen und besuchten dort den Bereich Central Research & Technology-Materials.

Dr. Christian Weimar und Dr. René Böttcher eröffneten den Nachmittag mit einem Einblick in die Aufgaben des Forschungsbereichs. Im Mittelpunkt steht das Beherrschen werkstofftechnischer Grundlagen, das Hinterfragen bestehender Lösungen sowie die Entwicklung und Absicherung von neuen Technologien für die Luft- und Raumfahrt. Ziel ist es, Risiken zu reduzieren, die Sicherheit zu erhöhen und neue Kompetenzen und Fähigkeiten aufzubauen. Besonders interessant war ein bei Airbus aufgesetzter Prozess, der innovative Werkstoffentwicklungen beschleunigt und schneller in die Anwendung bringt. Beim darauffolgenden offenen Austausch nutzten die Teilnehmer die Gelegenheit für zahlreiche Fragen und eine angeregte Diskussion.

Anschließend ging es in den Airbus-Showroom: Zahlreiche Modelle von Flugzeugen, Hubschraubern und Raumfahrtanwendungen machten die Bandbreite des Unternehmens anschaulich. Die lebendige und detailreiche Präsentation führte von den historischen Wurzeln bis zu heutigen Luft- und Raumfahrtprogrammen mit Werkstoffbezug. Beim Rundgang durch die Werkstofflabore wurde es anschließend besonders konkret. Das umfangreich ausgestattete Technikum bietet zahlreiche Möglichkeiten, mechanische Kennwerte statisch und dynamisch zu ermitteln. Auch die Oberflächentechnik spielt eine wichtige Rolle. Die Gruppe erhielt Einblicke in die Korrosionsprüfung und in verschiedene Verfahren der vertiefenden Oberflächenanalyse. Der Rundgang zeigte eindrucksvoll, wie breit Airbus bei der Prüfung und Bewertung von Werkstoffen aufgestellt ist.

Beim gemeinsamen Abendessen bei einem örtlichen Italiener klang der gelungene Nachmittag aus. Bei angenehmen 30°C auf der Terrasse blieb reichlich Zeit, die Eindrücke des Tages fachlich zu diskutieren.

Das Leitungsteam der BG München, Andreas Bayer und Dr. Harald Schreckenberger, dankt Airbus, insbesondere Dr. René Böttcher und allen beteiligten Mitarbeitern, für den freundlichen Empfang, die offenen Gespräche und die interessanten Einblicke hinter die Kulissen.

Dr. Harald Schreckenberger
➔ www.dgo-online.de

DGO-BG Nürnberg

Am 7. Juli öffnete die Semper Berufsfachschule um 19.00 Uhr wieder ihre Pforten für die Mitglieder der DGO-BG Nürnberg, die wie immer zahlreich erschienen, um gemeinsam das traditionelle Sommerfest zu feiern.

Nach offizieller herzlicher Begrüßung im Hörsaal durch BG-Leiter Udo Krüger gab es zunächst einen Vortrag von Nils Menze, Menze Kunststofftechnik GmbH, der die Optimierung von Wartungsarbeiten an Galvanikanlagen mittels einer speziell entwickelten App vorstellte. Die Firma Menze bietet seit über 35 Jahren erstklassige Wartung, Instandhaltung und Montage von Galvanikanlagen und chemieführenden Systemen. Angeboten werden zuverlässige, individuelle Lösungen für Chemieversorgungssysteme und Neutralisationen, um die Lebensdauer und Leistungsfähigkeit von Galvanikanlagen zu steigern. Die Firma Menze war auch diesjähriger Sponsor des Sommerfests der BG Nürnberg, wofür sich Udo Krüger im Namen der BG bedankte. Beim anschließenden Sommerfest im Garten des Schulareals mit Schlemmerbuffet mit landestypischen Spezialitäten und gekühlten Getränken ließen es sich die BG-Mitglieder bis in den späten Abend hinein gut gehen. Es wurde wie immer viel gelacht und rege und lebhaft diskutiert.

Höhepunkt des Sommerfests war jedoch die Ehrung von Norbert Distelrath für seine 50-jährige DGO-Mitgliedschaft. Zunächst würdigte Udo Krüger die langjährige Mitgliedschaft mit einer Laudatio. Dann überreichte ihm das BG-Leitungsteam Udo Krüger, Anna Thasler und Florian Ottenbreit eine Ehrenurkunde, ein edles Schreibset, ein Buchgeschenk mit Widmung der BG und eine extra für diesen Anlass angefertigte Plakette von der BG Nürnberg.

➔ www.dgo-online.de

DGO-BG Sachsen

Am 30. Juni 2026 führte die DGO-Bezirksgruppe Sachsen ihre Vortragsveranstaltung im Leibniz-Institut für Polymerforschung Dresden e. V. durch. Referentin war Dr. Petra Uhlmann. Sie ist stellvertretende Institutsleiterin und Abteilungsleiterin *Nanostrukturierte Materialien Physikalische Chemie und Physik der Polymere*.

Im ersten Teil ihrer Ausführungen berichtete sie über ihre Tätigkeit als Leiterin des Gemeinschaftsausschusses *Kombinierte Oberflächentechnik* von DGO, DFO, Inplas und EFDS. Der Gemeinschaftsausschuss macht es sich durch die Verbindung verschiede-

ner Beschichtungsverfahren (Galvanotechnik, Lackier-, Plasma- und Spritztechnik, Schmelztauchprozesse und Sol-Gel-Technik) zur Aufgabe, die Oberflächentechnik deutlich weiter zu entwickeln. Uhlmann berichtete über Schwerpunktthemen in den Jahren 2024 und 2025. Ein wesentliches Thema der Arbeit des Ausschusses war die Verwendung und der Ersatz von PFAS in der Beschichtungstechnologie sowie Technologien zur PFAS-Substitution. Dabei wurden unter anderem die folgenden Fragen diskutiert:

- PFAS / fluorfreie Konzepte für funktionelle Beschichtungen, anodische Schichten, Plasmaschichten etc.
- Alternativen zu per- und polyfluorierten Alkylverbindungen (PFAS) in Industriebeschichtungen
- Alternativen zu PFAS in der Galvanotechnik
- Silanbasierte Systeme als Ersatz für fluorierte Systeme
- PFAS in der Lackindustrie
- PFAS-Alternativen: Innovative lacktechnische Methoden im Fokus

Ein neues Thema, mit dem sich der Gemeinschaftsausschuss beschäftigt, ist die Beschichtung von Batterieteilen. Vorrangig diskutierte Themenkomplexe sind hier:

- Möglichkeiten und Herausforderungen bei der Beschichtung von Batteriekästen
- Innovative Beschichtungslösungen für zukünftige Batteriekonzepte
- Oberflächenvorbehandlung von Al-Batteriegehäusen
- Partielle Pulverbeschichtung von Batteriegehäusen und Kühlelementen

Weiteres Thema mit dem sich der Ausschuss befasst, ist die Oberflächenstrukturierung.

Anschließend informierte Uhlmann über ihre Forschungen am Institut. Sie untersucht multifunktionelle Beschichtungen aus Polymerbürsten. Insbesondere besteht das Interesse an der Skalierbarkeit des Designs von Polymerbürstenfilmen, um ihre Herstellung an technische Beschichtungsprozesse anzupassen und ihre Verwendung auf realen, ausgedehnten Oberflächen zu ermöglichen. Das Ziel ist, die Beschichtungen beispielsweise für Vereisungsschutz, Sensorik oder Biosignaling einzusetzen.

Es war ein sehr interessanter Nachmittag für die Teilnehmer mit Themen, mit denen nicht täglich umgegangen wird. An dieser Stelle noch einmal ein herzliches Dankeschön an die Dr. Petra Uhlmann und an das Team, das die Veranstaltung hervorragend vorbereitet und durchgeführt hat.

Marion Regal

➔ www.dgo-online.de

DKG-/ZVO AK Zink-Nickel

Die 37. Sitzung des Arbeitskreises Zink-Nickel fand am 7. Juli 2026 als Webmeeting statt. Im Mittelpunkt standen aktuelle technische Fragestellungen rund um ZnNi-Oberflächen, Passivierungen, Topcoats sowie Nachhaltigkeitsthemen, berichtet die DGO.

Den Diskussionsschwerpunkt der Sitzung bildete die Frage, ob und wie mit einer möglichen Klassifizierung von Topcoats weiter vorgegangen werden soll. Bereits zu den letzten Sitzungen war diskutiert worden, wie verfügbare Topcoats nach dem jeweiligen Eigenschaftsprofil klassifiziert und potenziellen Anwendungsgebieten zugeordnet werden könnten. Hintergrund ist die enorme Variantenvielfalt von Topcoats, die es Anwendern fast unmöglich macht, den Markt allumfassend zu überblicken. Aus Sicht vieler Fachfirmen sollte eine solche Klassifizierung jedoch nur sehr allgemein gehalten werden, da einerseits von Topcoat-Formulierungen nur bedingt auf spezifische Anwendungsfelder gefolgert werden könne. Andererseits würden spezifischere Produktinformationen auch zunehmend Know-How zu geschützten Produkten enthalten. Aufgrund dieses Interessenskonflikts verständigten sich die AK-Mitglieder abschließend darauf, das Thema zurückzustellen und zunächst nicht weiter zu verfolgen.

Ein weiterer Diskussionsschwerpunkt war die Untersuchung von Passivierungen und deren Einfluss auf die Haftung von KTL-Beschichtungen. Passivierungen könnten als Transportschutz dienen, würden jedoch auch den Phosphatierprozess vor der KTL beeinflussen. Zudem richtet sich der Blick der AK-Mitglieder auf mögliche Phosphatalternativen.

Die nächste AK-Sitzung findet voraussichtlich am 12. November 2026 bei WHW in Fröndenberg statt.

➔ www.dgo-online.de

FA DigiTrans zu Besuch bei WMV in Windeck

Am 9. Juli 2026 traf sich der DGO-Fachausschuss Digitale Transformation und Innovation (DigiTrans) zu seiner fünften Sitzung bei der WMV GmbH in Windeck.

Gastgeber und Geschäftsführer Martin Müller stellte zunächst in Form eines mehrsprachigen Avatars das Unternehmen und dessen Tätigkeitsfelder vor, bevor Mitarbeiter Christian Härtel in einem sehr aufschlussreichen Vortrag aufzeigte, wie die WMV GmbH Digitalisierung und künstliche Intelligenz bereits heute erfolgreich einsetzt. Im Mittelpunkt standen dabei die KI-Strategie des

Unternehmens, der Einsatz eines digitalen Zwillings zur Produktvisualisierung sowie die intelligente Nutzung von Prozessdaten zur Steigerung von Effizienz, Transparenz und Entscheidungsqualität. Ein Highlight war die Besichtigung des neuen WMV-Technikums. Die Versuchsanlage verbindet moderne Verfahrenstechnik mit digitaler Prozessintelligenz und ermöglicht realitätsnahe Tests für Reinigung und Beschichtung.

Am Nachmittag wurde eine Projektinitiative der B+T Oberflächentechnik GmbH und des Fraunhofer-Instituts für Schicht- und Oberflächentechnik IST vorgestellt, die auf die Erstellung eines Leitfadens zur Nachhaltigkeitsbewertung für die Galvanikbranche abzielt. Der Leitfaden soll Unternehmen dabei unterstützen, den gesetzlichen Anforderungen hinsichtlich Corporate und Product Carbon Footprint gerecht zu werden. Unternehmen, die an einer Mitwirkung interessiert sind, melden sich gerne bei Rowena Duckstein vom Fraunhofer IST in Braunschweig (E-Mail: rowena.duckstein@ist.fraunhofer.de).

Des Weiteren informierte Olga Meyer vom Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und Automatisierung IPA in einem Online-Vortrag über die *Normungsroadmap Industrie 4.0* sowie die Industrial Digital Twin Association (IDTA). Dabei wurden Aufbau, Arbeitsweise und Beteiligungsmöglichkeiten der Gremien vorgestellt und deren Bedeutung für die zukünftige Digitalisierung von industriellen Prozessen erläutert.

Im Fokus des FA DigiTrans steht allgemein der fachliche Austausch zu aktuellen Entwicklungen, Herausforderungen und Lösungsansätzen im Bereich Digitalisierung und die Frage, wie sich diese auf die Galvanotechnik übertragen lassen.

Die DGO bedankt sich herzlich bei der WMV GmbH für die hervorragende Organisation, die Gastfreundschaft und die spannenden Einblicke in die digitale Praxis der Oberflächentechnik.

➔ www.dgo-online.de

DKG zu Gast an Ausbildungsstätten

Auch in diesem Jahr setzte die Deutsche Gesellschaft für Galvano- und Oberflächentechnik e.V. (DKG) ihre Initiative zur Nachwuchsförderung fort: Am 29. beziehungsweise am 30. Juni 2026 besuchte Dr. Daniel Meyer das Ausbildungszentrum Oberflächentechnik in Nürnberg sowie die Gewerbliche Schule Schwäbisch Gmünd, um jeweils mit den Auszubildenden des zweiten Lehrjahrs im Berufsbild Oberflächenbeschichter/in sowie mit an-

RUBRIKEN

gehenden Techniker/innen ins Gespräch zu kommen. Die diesjährigen Termine reihen sich ein in eine Serie von Schulbesuchen, mit denen die DGO gezielt Kontakt zu Berufsschulen und angehenden Fachkräften in der Oberflächentechnik bundesweit intensiviert. Zentrale Themen des Besuchs waren die grundlegenden Aufgaben und Ziele der DGO sowie die Bedeutung von Interessenvertretungen auf Verbandsebene. Dr. Meyer erklär-

te, welche Rolle Fachverbände wie die DGO für die Branche spielen, und zeigte auf, welchen persönlichen Nutzen eine DGO-Mitgliedschaft – insbesondere für Nachwuchskräfte – bieten kann. Diese ist kostenfrei und endet zum 28. Lebensjahr automatisch. Mit der DGO-Bezirksgruppe Nürnberg sowie mit der DGO-Bezirksgruppe Stuttgart hat der Branchennachwuchs zudem beste regionale Anknüpfungsmöglichkeiten.

Der Austausch bot den Auszubildenden die Gelegenheit, Fragen zu stellen und sich über Perspektiven im Beruf sowie über Möglichkeiten zur Mitgestaltung in der Fachwelt zu informieren.

Ein herzlicher Dank gilt den Fachlehrern Ulrich Ludwig und Volker Rogoll für die organisatorische Unterstützung des Besuchs.

➔ www.dgo-online.de

Hauser + Walz GmbH fusioniert mit der ProWaTech AG

Die Hauser + Walz GmbH, Beratende Ingenieure, hat nach Unternehmensmitteilung mit der ProWaTech AG fusioniert.

Die Hauser + Walz GmbH wurde parallel zur ProWaTech AG im Jahr 2004 gegründet und ist spezialisiert in der Beratung im Bereich von Prozesswasser-, Recycling- und Abwassertechnik für die Oberflächenbranche. Der bisherige Vertrieb von chemischen Produkten zur Abwasserreinigung wird ab sofort durch die ProWaTech AG übernommen; die Sicherheitsdatenblätter sowie Lieferscheine werden angepasst.

Beide Unternehmen haben dasselbe Domizil, daher ändert sich die Postadresse nicht. Auch die Ansprechpartner mit Telefonnummer und E-Mail sowie sämtliche Verträge und Verpflichtungen der Hauser + Walz GmbH bleiben nach eigenen Angaben bestehen.

Die beratenden Tätigkeiten der Hauser + Walz GmbH für ihre Kunden wurden bereits in der Vergangenheit durch das Anlagen-Knowhow der ProWaTech AG unterstützt. Daher werden diese Dienstleistungen wie gewohnt weiter angeboten, sagt Geschäftsführer Herbert Hauser.

➔ <https://hauserwalz.ch>

Fraunhofer ILT und KIMM erneuern strategische Partnerschaft in der Laser-Fertigungstechnologie

Das Fraunhofer-Institut für Lasertechnik ILT in Aachen und das Korea Institute of Machinery and Materials KIMM kooperieren seit

vielen Jahren in Projekten, vom Laserschweißen bis zur Mikrobearbeitung von Werkstoffen. Mit der Erneuerung ihres Memorandum of Understanding vertiefen die beiden Institute nun diese Partnerschaft. Wie das Fraunhofer ILT mitteilt, wollen sie sich künftig auf umweltfreundliche Fertigungsverfahren für die Elektromobilität und Energiespeichertechnologien der nächsten Generation konzentrieren.

Das Fraunhofer-Institut für Lasertechnik ILT in Aachen und das Korea Institute of Machinery and Materials (KIMM) haben am 16. Juli 2026 ihre Absichtserklärung (Memorandum of Understanding, MoU) erneuert. Die Vereinbarung stärkt ihre langjährige Partnerschaft im Bereich Laserbearbeitungstechnologien und nachhaltiger Energieanwendungen.

Beide Institute forschen seit vielen Jahren gemeinsam in den Bereichen Laserschweißen, Präzisionslaserbearbeitung und Produktionstechnologien. Im Rahmen dieser Kooperation haben sie bereits gemeinsam ein hybrides Fertigungssystem zur Bearbeitung metallischer Bipolarplatten entwickelt und leisten damit einen Beitrag zu umweltfreundlichen Brennstoffzellenfertigung.

Das erneuerte MoU wurde während eines Besuchs von KIMM-Präsident Dr. Seog-Hyeon Ryu in Aachen unterzeichnet, zu dem Vertreter beider Institute zusammenkamen. Die Vereinbarung soll gemeinsame Forschungsaktivitäten, Wissenschaftler austauschprogramme und die Entwicklung von internationalen Kooperationsprojekten zwischen Deutschland und Korea ausbauen. Mit der

Erneuerung dieser Vereinbarung erwarten wir, unsere strategische Partnerschaft in zukunftsweisenden Fertigungstechnologien und nachhaltigen Industrieanwendungen weiter zu stärken, erklärten Vertreter beider Institute.

Das Fraunhofer ILT und KIMM bereiten derzeit neue internationale Kooperationsprojekte in den Bereichen Batteriefertigungstechnologien und Laserbearbeitung von Hairpin-Komponenten für die Elektromobilität vor. Die engen Beziehungen zwischen beiden Instituten wurden im vergangenen Jahr weiter gestärkt, als Dr. Su-Jin Lee von KIMM an einem Austauschprogramm für Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler am Fraunhofer ILT teilnahm.

Über die Elektromobilität hinaus erkunden beide Institute Möglichkeiten zur künftigen Zusammenarbeit in weiteren Industrie- und Energiebereichen, darunter Technologien zum Rückbau von Kernkraftwerken, Fertigungstechnologien für Small Modular Reactors, Wasserstofftechnologien und erneuerbare Energiesysteme.

KIMM ist ein gemeinnütziges, staatlich finanziertes Forschungsinstitut unter dem südkoreanischen Ministerium für Wissenschaft und IKT. Seit seiner Gründung im Jahr 1976 in Daejeon hat KIMM durch Forschung und Entwicklung in den Bereichen Maschinenbau, Werkstoffe, Fertigungssysteme und fortschrittliche Produktionstechnologien zur industriellen Innovation und zum Wirtschaftswachstum beigetragen.

➔ www.ilt.fraunhofer.de

INSERENTENVERZEICHNIS

Airtec MUEKU	9	Walter Lemmen GmbH	31	Renner GmbH	1
BRW Elektrochemie	25	LSR GmbH	29	Sager + Mack GmbH	Titel
ELB Zerrer	U4	met-at-lab	U2	WOTech GbR	33
GusChem GmbH	U3	Munk GmbH	23	ZVO e.V.	Titelbanner

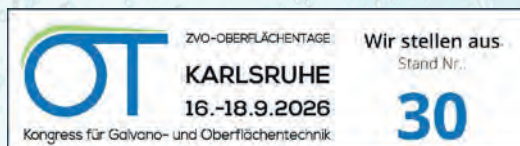
Schluss mit Trübungen.

Entdecken Sie den polymeren Schwermetallfällfäher
GusChem - WK04.

Ihre Vorteile mit GusChem - WK04 auf einen Blick:

- **Brillante Kombination:**
Fällung und Flockung in einem einzigen Schritt dank innovativer PEI-Polymer-Technologie.
- **Keine Trübungen mehr:**
Auch hartnäckige, komplex gebundene Schwermetalle werden sauber ausgefällt.
- **Fehlertolerante Anwendung:**
Überdosierung unmöglich – Überschüsse lagern sich sicher im Filterkuchen an.
- **Umweltfreundliche Nachbehandlung:**
Da GusChem - WK04 nicht fischgiftig ist, reinigen Sie selbst sensible Endstufen absolut sicher.

Besuchen Sie uns auf www.guschem.de
oder auf den



GusChem® - Qualität, die überzeugt!



When conventional anodizing reaches its limits: ULTRACERAMIC®

Modern lightweight alloys and additively manufactured structures demand more than classical anodizing can deliver.

ULTRACERAMIC®—an advanced PEO-based ceramic surface technology—enables significantly higher hardness, improved wear resistance, and functional stability through controlled high-energy plasma processes.

