

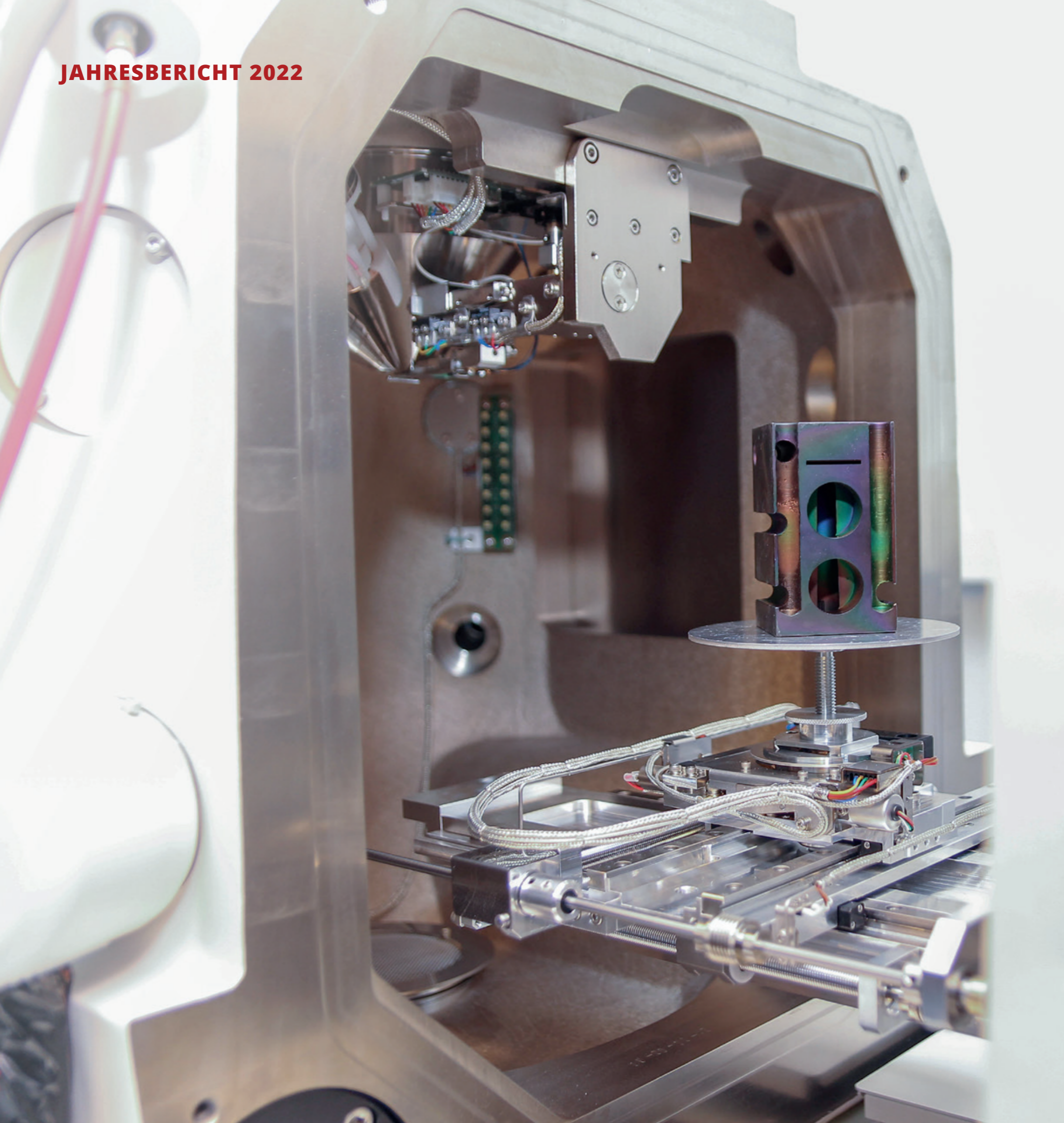
FORSCHUNG

INNOVATION

TECHNOLOGIE

NETZWERK

GEMEINNÜTZIGE KIMW FORSCHUNGS-GMBH  
**JAHRESBERICHT 2022**



## **INHALT**

ALLGEMEINES	<b>4</b>
WISSENSCHAFTLICHE TÄTIGKEITEN	<b>8</b>
NETZWERK	<b>41</b>
AUSSTATTUNG	<b>44</b>
ÖFFENTLICHKEITSARBEIT UND WISSENSTRANSFER	<b>54</b>

## VORWORT

## FORSCHUNG IM WANDEL, ZIM UND EFRE-NRW FORSCHUNGSFÖRDERUNG WIEDER OFFEN

**Sehr geehrte Leserinnen und Leser,**

zu Beginn des Jahres 2022 lag die Hoffnung auf einer nachlassenden Wirkung der Pandemie und damit verbunden auch auf einer Normalisierung der Geschäftsaktivitäten. Der seit Mitte Februar andauernde Ukraine-Krieg führte im Jahresverlauf zu explodierenden Energiekosten und zu zerrissenen oder sehr angespannten Lieferketten, die insbesondere unsere Aktivitäten im Bereich der CVD-Beschichtungstechnik teilweise stark eingeschränkt haben. Precursoren, die vorher aus Russland bezogen wurden, waren von heute auf morgen nicht mehr verfügbar, alternative Lieferanten nur bedingt vorhanden, sodass eine eigene Precussorensynthese von Grund auf entwickelt wurde.

Ebenso stellte uns die zehnmonatige Wartezeit bis zur Wiedereröffnung des ZIM-Förderprogramms vor die größte Aufgabe in 2022. Die dadurch entstandene Lücke konnte durch eine gemeinsame Kraftanstrengung ohne personelle Veränderungen kompensiert werden.

**Forschung im Wandel**

Waren die Forschungsaktivitäten der KIMW-F in den zurückliegenden Jahren auf die Werkzeug- und Prozesstechnik in der Kunststoffverarbeitung fokussiert, rücken nun zunehmend und ergänzend Fragestellungen rund um Nachhaltigkeit und der Energietransformation in den Blickpunkt. Es bestätigt sich einmal mehr, dass Materialwissenschaft und Oberflächentechnik einer, wenn nicht der Innovationstreiber sind, wenn es um die Lösung wichtiger Zukunftsfragen, wie beispielsweise einer nachhaltigeren und effizienteren Energieversorgung geht.

Durch den Start von gleich zwei Forschungsprojekten im Bereich der Brennstoffzellentechnik sollen Fragestellungen für eine effizientere Fertigung von Bipolar Platten mittels beschichteter Spritzgießwerkzeuge untersucht und eine standardisierte Messmethode für die Qualifizierung alternativer Kunststoffe als Ersatz zum bisher verwendeten PPS entwickelt werden.

Auch im Bereich der Wasserstoff- und Halbleitertechnik sehen wir mit unseren Möglichkeiten rund um die Beschichtungstechnik weitere neue Aktivitäten in zukünftig wichtigen Forschungsfeldern.

Durch das konsequente Verzahnen und Vorantreiben von Know-how sehen wir uns auch für einen zu erwartenden Wandel in der Forschungslandschaft gut aufgestellt.

**ZIM und EFRE-NRW wieder geöffnet**

Anfang August kam die erlösende Nachricht, dass ZIM-Anträge nach rund zehn Monaten Wartezeit wieder eingereicht werden konnten. Jedoch wurde die ZIM-Richtlinie in einem

wesentlichen Punkt abgeändert. So können Unternehmen, die bereits eine Bewilligung für ein ZIM-Projekt erhalten haben, erst 24 Monate nach der letzten Bewilligung eine weitere erhalten (vorher 12 Monate). Für die Praxis bedeutet das für forschungstreibende KMU, dass die Anzahl parallel laufender ZIM-Projekte deutlich reduziert wird.

Da diese Änderung rückwirkend galt, konnten vermutlich viele im Vorfeld vorbereiteten ZIM-Anträge nicht eingereicht werden, da bestehende Konsortien umgestaltet werden mussten. Weiterhin bleibt abzuwarten, wie sich diese Regelung zukünftig auswirkt, da forschungstreibende KMU ein Stück weit ausgebremst werden.

Positiv hingegen ist, dass das Fördervolumen für 2023 auf 700 Millionen Euro gestiegen ist. Das sind 200 Millionen Euro mehr als im Vergleich zu 2021.

Zum Ende des Jahres wurde die neue NRW EFRE/JTF-Förderperiode (bis 2027) eröffnet, die u. a. die Förderung von Forschung, Technologie und Exzellenz mit einem ausdrücklichen Fokus auf Kooperation von Wissenschaft und Unternehmen unterstützt. Insgesamt stehen Mittel in Höhe von 1,22 Milliarden Euro zur Verfügung.

**Abschied und Wechsel**

Unser Gesellschaftsvertreter Herr Lux, der uns fast zehn Jahre lang mit Rat und Tat durch alle Höhen und Tiefen begleitet hat, ist in den wohlverdienten aktiven Ruhestand gewechselt. Wir bedanken uns recht herzlich für die vertrauensvolle und konstruktive Unterstützung und wünschen Herrn Lux für den neuen Lebensabschnitt alles Gute. Herr Dr. Fabian Schleithoff übernimmt im Juni 2023 dann diese Funktion.

Zum Schluss bedanken wir uns bei allen Projektpartnern, Kunden und Unterstützern und nicht zuletzt ganz besonders bei unseren Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern für die gute und vertrauensvolle Zusammenarbeit in dem für uns alle sehr schwierigen Jahr 2022.



**Udo Hinzpeter**  
- Geschäftsführer -



**Frank Mumme**  
- Geschäftsführer -

## GRUSSWORT

## INNOVATIONEN IN KRISENZEITEN

**Liebe Leserinnen und Leser,  
sehr geehrte Damen und Herren,**

wir leben in einer Welt, die sich gefühlt immer schneller dreht. Die Corona-Pandemie hat das gesellschaftliche und wirtschaftliche Leben verändert. Die Flutkatastrophe im Jahr 2021 hat viele Unternehmen schwer getroffen. Und die Sperrung der A 45 bei Lüdenscheid sowie die aktuelle Energiekrise führen dazu, dass wirtschaftliches Handeln immer weniger planbar ist.

In diesen schwierigen Zeiten müssen sich Unternehmen fit für die Zukunft aufstellen. Investitionen in das eigene Produkt, in die eigene Dienstleistung oder ganz allgemein in das Geschäftsmodell weisen den Weg in die Zukunft. Ein altes Zitat von Thomas Edison wirkt dabei aktueller denn je: „Es gibt einen Weg, es besser zu machen. Finde ihn“.

Ein passendes Motto für die Kunststoffbranche, in der immer wieder innovativ auf neue Anforderungen an Oberflächen reagiert wird, Werkzeuge für die Kunststoffverarbeitung neu- und weiterentwickelt werden und Prozesse angepasst werden.

Und genau hier setzt auch die Arbeit der gemeinnützigen KIMW Forschungs-GmbH an, die die Kunststoff verarbeitenden Unternehmen in Südwestfalen und auch weit darüber hinaus in ihren Forschungs- und Entwicklungsaufgaben unterstützt.

Ich wünsche Ihnen eine informative Lektüre des Jahresberichts der KIMW Forschungs-gGmbH. Vielleicht entdecken Sie dabei einen Ansatz, wie auch Ihr Unternehmen bei den F&E-Aktivitäten unterstützt werden kann.

**Ihr**

**Dr. Fabian Schleithoff**  
- SIHK zu Hagen -  
Geschäftsbereichsleiter Unternehmen beraten

DIPL.-ING. MARKO GEHLEN

**TECHNOLOGIESCOUT**

**EINEN SCHRITT VORAUSS**

Das Verbundprojekt Technologiescout erlebte in diesem Jahr mit der fünften Auflage einen großartigen Neustart, nachdem der Endspurt des vierten Projekts durch nur zwei Präsenzveranstaltungen im ersten Quartal sehr verhalten ausfiel. Aufgrund der unsicheren Situation in den USA im Januar und auch einer deutlich reduzierten Anzahl an Ausstellern, musste der Besuch der weltgrößten Consumer Electronics Show (CES) rein digital erfolgen.

Mit dem Abschluss von Technologiescout 4 Anfang April und dem gleichzeitig gestarteten Folgeprojekt Technologiescout 5 setzte dann eine kleine Wende ein. Die Zahl der Veranstaltungen in Präsenz nahm ebenso zu wie die Zahl der Aussteller und Besucher.

Dass an dem neuen Projekt deutlich mehr Projektpartner teilnehmen, ist sicherlich auch der Tatsache geschuldet, dass noch immer einige Firmen mit dem Entsenden von Mitarbeitern vorsichtig sind.



Abbildung 2: Messestand im Zeichen der Nachhaltigkeit

Weitere Höhepunkte waren die Battery Show Europe in Stuttgart, die sich insbesondere der Batterieherstellung und -technologie widmet, und die Eurobike in Frankfurt. Die Fahrradbranche gehörte während der Pandemie und durch den anhaltenden Boom bei E-Bikes mit extremen Zuwächsen zu den Gewinnern der vergangenen Jahre. Das zeigte sich auch auf der Messe während der Sommerferien, die sowohl von Fachbesuchern als auch von Fahrradfans aufgesucht wurde.

Die IFA in Berlin ist noch immer die wichtigste Consumer Electronics Messe in Europa. Über 1.100 Aussteller zeigten den 161.000 Besuchern die neuesten Entwicklungen und Produkte der Elektronik- und Hausgeräte-Industrie. Eine ähnlich große Anziehung hatte die alle zwei Jahre stattfindende IAA Transportation Ende September in Hannover, die als die bedeutendste Plattform für die Transport- und Logistikbranche gilt.

Mit dem Besuch der Light&Building Anfang Oktober in Frankfurt, die neben der Lichttechnik die Gebäudetechnik und vor allem die Gebäudeautomation thematisiert, konnten viele interessante Aspekte recherchiert werden. Fest im Messeplan verankert war ein Besuch der SPS, die sich im Schwerpunkt jährlich mit der Automatisierung von Fertigungsprozessen beschäftigt.

Den Abschluss des Messejahres im November lieferte diesmal die Formnext in Frankfurt, die sich seit einigen Jahren zur Leitmesse der Additiven Fertigungsverfahren in Deutschland mit sehr internationaler Ausrichtung etabliert hat.

Die ersten neun Monate von Technologiescout 5 waren mit 32 Veranstaltungen sehr intensiv.



Abbildung 1: K-Messe 2022 in Düsseldorf

Das große Highlight der Branche in diesem Jahr war mit über dreitausend Ausstellern und fast 180.000 Besuchern die K-Messe in Düsseldorf, die im Oktober stattfand. Die K 2022 stand ganz im Zeichen von Recycling, Circular Economy und Nachhaltigkeit. Mit dem Angriff auf die Ukraine und der damit einhergehenden Energiekrise haben die Themen Energieverbrauch von Anlagen und Prozessen nochmals an Bedeutung gewonnen und wurden ebenfalls in den Fokus gerückt.

An der Gestaltung ihrer Messestände zeigten viele Unternehmen, wie sich ihr eigenes Bewusstsein ebenfalls verändert hat. Die Produkte werden grüner. Hier spielen auch die neuen Materialien, die in vielen Fällen einen deutlich geringeren CO<sub>2</sub>-Footprint haben, eine wichtige Rolle.

**MITARBEITER**

**GESCHÄFTSFÜHRUNG**



Dipl.-Ing.  
**Udo Hinzpeter**  
+49 (0) 23 51.10 64-198  
hinzpeter@kimw.de



Dipl.-Ing.  
**Frank Mumme**  
+49 (0) 23 51.10 64-139  
mumme@kimw.de

**GRUPPENLEITER/-IN**



Dr.-Ing.  
**Angelo Librizzi**  
Prokurist  
Werkzeugtechnik  
Prozesstechnik  
Lichttechnik



**Vanessa Frettlöh**  
M.Sc.  
Beschichtungstechnik  
Materialentwicklung



Dipl.-Ing.  
**Marko Gehlen**  
Innovation  
Strategie

**WISSENSCHAFTLICHE, TECHNISCHE MITARBEITER UND BERATER**



Dr.  
**Anatoliy Batmanov**



Dr. rer. nat.  
**Andreas Balster**



Dr. rer. nat.  
**Martin Ciston**



**Patrick Engemann,**  
M.Sc.



**Ralf Klein**



Dr. rer. nat.  
**Mohamed Mahmoud**



**Jan-Ole Maras,**  
M.Sc.



Dipl.-Ing.  
**Matthias Militsch**



**Alexander Paskowski,**  
B.Eng.



**Markus Pothmann,**  
B.Eng.



**Katharina Prammer,**  
B.Eng.



**Christian Rust,**  
M.Eng.



Dipl.-Ing.  
**Jens Hündorf**



Prof. Dr.-Ing.  
**Andreas Ujma**

**ÜBERSICHT ÖFFENTLICH GEFÖRDERTER PROJEKTE 2022**

**BEREICH: BESCHICHTUNGSTECHNIK**

**Weitere Informationen:**  
**Vanessa Frettlöh, M.Sc.**  
**Tel.: +49 (0) 23 51.67 99-911**  
**frettloeh@kunststoff-institut.de**

**BiPPMoldCoat**  
 Entwicklung eines Spritzgießwerkzeuges für die Herstellung von Bipolarplatten für Hochtemperatur-Polymer-Elektrolyt-Membran-Brennstoffzellen  
**Laufzeit:** 01.01.2022 bis 31.12.2023  
**Förderkennzeichen:** KK5023109ZG1  
**Fördermittelgeber:** BMWi  
**Förderträger:** AiF Projekt GmbH  
**Förderprogramm:** ZIM FuE-Kooperationsprojekt  
**Projektleiter:** Vanessa Frettlöh, M.Sc.

**ContiSpray**  
 Entwicklung neuer metallorganischer Precursor-Rezepturen mit geeignetem Förderungssystem für die Ausbildung einer Schutzschicht im Thermischen Spritzverfahren mit einer verbleibenden Porosität von 0,1 % auf Bauteiloberflächen  
**Laufzeit:** 01.04.2021 bis 31.03.2023  
**Förderkennzeichen:** KK5023105SA0  
**Fördermittelgeber:** BMWi  
**Förderträger:** AiF Projekt GmbH  
**Förderprogramm:** ZIM FuE-Kooperationsprojekt  
**Projektleiter:** Markus Pothmann, B.Eng.

**TriboSchicht**  
 Gleitbeschichtung für bewegliche Werkzeugelemente für die Kunststoffverarbeitung bei hohen Temperaturen  
**Laufzeit:** 01.03.2021 bis 30.11.2023  
**Förderkennzeichen:** KK5023104FF0  
**Fördermittelgeber:** BMWi  
**Förderträger:** AiF Projekt GmbH  
**Förderprogramm:** ZIM FuE-Kooperationsprojekt  
**Projektleiter:** Dr. rer. nat. Mohamed Mahmoud

**CAP-CPC**  
 Entwicklung von innovativen Korrosionsschutzschichten und Beschichtungsprozessen für Spritzgießwerkzeuge  
**Laufzeit:** 15.11.2018 bis 14.02.2022  
**Förderkennzeichen:** 03INT505AA  
**Fördermittelgeber:** BMBF  
**Förderträger:** Projektträger Jülich  
**Förderprogramm:** Internationalisierung von Spitzenclustern, Zukunftsprojekten und vergleichbaren Netzwerken  
**Projektleiter:** Dipl.-Ing. Frank Mumme

**IsoCer**  
 Isolation durch keramische Dünnschichten zur Abschirmung von Heizleiterschichten auf Werkzeugoberflächen in der Kunststoffverarbeitung  
**Laufzeit:** 01.06.2019 bis 31.12.2022  
**Förderkennzeichen:** EFRE-0200517  
**Fördermittelgeber:** Land NRW/EU  
**Förderträger:** Projektträger Jülich  
**Förderprogramm:** Forschungsinfrastrukturen des Landes Nordrhein-Westfalen  
**Projektleiter:** Dr. rer. nat. Mohamed Mahmoud

**CAP-TBC**  
 Entwicklung von innovativen thermisch isolierenden Schichten und Beschichtungsprozessen für Spritzgießwerkzeuge  
**Laufzeit:** 01.12.2018 bis 28.02.2022  
**Förderkennzeichen:** 03INT505BA  
**Fördermittelgeber:** BMBF  
**Förderträger:** Projektträger Jülich  
**Förderprogramm:** Internationalisierung von Spitzenclustern, Zukunftsprojekten und vergleichbaren Netzwerken  
**Projektleiter:** Vanessa Frettlöh, M.Sc.

**MicroCoating**  
 Entwicklung einer polysulfonbasierten Beschichtung mit hoher mechanischer Beständigkeit (Kerbschlagzähigkeit > 65 kJ/m<sup>2</sup>), chemischer Beständigkeit und Ableitfähigkeit zur Innenbeschichtung von Tank- und Schüttgutwaggons  
**Laufzeit:** 01.03.2021 bis 28.02.2023  
**Förderkennzeichen:** KK5023104FF0  
**Fördermittelgeber:** BMWK  
**Förderträger:** AiF Projekt GmbH  
**Förderprogramm:** ZIM FuE-Kooperationsprojekt  
**Projektleiter:** Vanessa Frettlöh, M.Sc.

Die genannten Forschungsvorhaben werden unterstützt durch:

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages

**Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi)**



aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages


**Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK)**



**Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF)**

Zuwendungen des Landes NRW unter Einsatz von Mitteln aus dem Europäischen Fonds für regionale Entwicklung (EFRE) 2014-2020 „Investitionen in Wachstum und Beschäftigung“

**Die Landesregierung Nordrhein-Westfalen**





**EFRE.NRW**  
Investitionen in Wachstum und Beschäftigung



**EUROPÄISCHE UNION**  
Investition in unsere Zukunft  
Europäischer Fonds für regionale Entwicklung



## BIPPMOLDCOAT

DR. MARTIN CIASTON

### SPRITZGIEßWERKZEUG ZUR HERSTELLUNG VON BIPOLARPLATTEN

Das wesentliche Ziel des Projektes BiPPMoldCoat (BiPolarPlateMoldCoating) ist die Entwicklung eines Spritzgießwerkzeuges für die Herstellung von Bipolarplatten (BPP) für Hochtemperatur-Polymer-Elektrolyt-Membran-Brennstoffzellen im Spritzprägeverfahren, welches durch den gezielten Einsatz von Beschichtungen eine erhebliche Verbesserung der Performance im Vergleich zum Stand der Technik aufweist. Bei der Herstellung von dünnwandigen Bauteilen aus hochgefüllten Compounds, wie z. B. Bipolarplatten, besteht die Herausforderung die Werkzeugform vollständig zu füllen, da durch das sehr schnelle Abkühlverhalten eine Füllung der gesamten Form verhindert wird. Die Gewährleistung der Prozessfähigkeit durch höhere Temperaturen führt jedoch zu starken Anhaftungen an der Werkzeugoberfläche. Die zielgerichtete Kombination einer thermischen Barrierschicht und einer Beschichtung mit minimaler Oberflächenenergie stellt eine neuartige Möglichkeit dar, den Spritzgießprozess für die dünnwandigen Bipolarplatten zu optimieren. Mithilfe der MOCVD-Technologie soll mit einer Feststoffförderung eine thermische Barrierschicht auf Basis von Zirkoniumoxid auf den Werkzeugen appliziert werden und so für eine bessere Füllung der Form sorgen. Um den Anhaftungen, die beim Spritzgießen des Compoundmaterials entstehen, entgegenzuwirken, wird auf der thermischen Barrierschicht eine modifizierte chemisch-Nickelschicht mit PTFE-Anteil aufgebracht. Im Projekt werden die Eigenschaften der Schichten analysiert und die Realisierbarkeit der Fertigung von Bipolarplatten zunächst an einem Demonstratorwerkzeug untersucht.

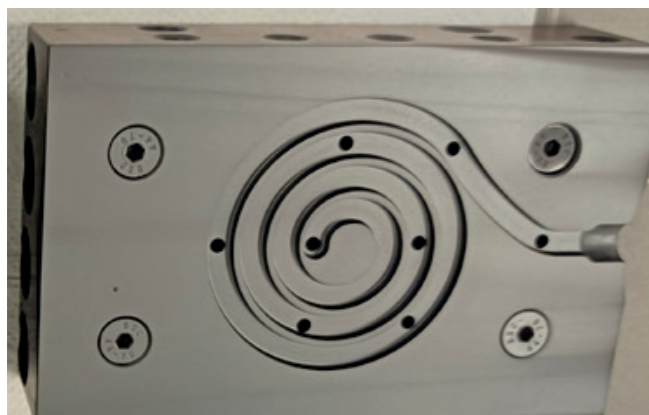


Abbildung 1: Mit  $ZrO_2$ -beschichtete Fließwegspirale

Dafür wurden im Projekt Werkzeugeinsätze hergestellt und beschichtet, um die Wechselwirkung des Compounds mit der beschichteten Oberfläche und somit den Einfluss auf die Fließfähigkeit des Compounds und die entstehenden Anhaftungen am Werkzeug zu bewerten. Erste Ergebnisse zeigen bereits eine Minderung der Wärmeübertragung an die Werkzeugwand von ungefähr  $2\text{ }^\circ\text{C}$  bei einer geringen Schichtdicke von  $8\text{ }\mu\text{m}$ . Größere Schichtdicken werden im weiteren Verlauf des Projektes untersucht.

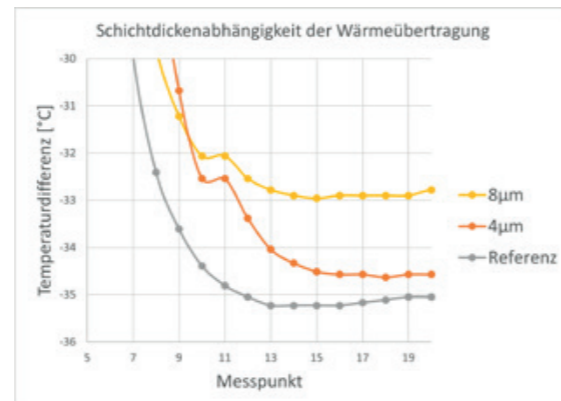


Abbildung 2: Temperaturleitfähigkeitsmessung

Im weiteren Verlauf der Projektbearbeitung sollen reale Bipolarplatten gefertigt, in einer Brennstoffzelle eingesetzt und Performancetests durchgeführt werden. Für die Bipolarplatten wird ein für den Spritzgießprozess angepasstes Flowfield untersucht, um die Vereinbarkeit des Fertigungsverfahrens mit den Anforderungen der Brennstoffzelle zu gewährleisten.

Durch die im Projekt beteiligten Unternehmen Joachim Heite und Markus Krause GbR, Novoplan GmbH, gemeinnützige KIMW Forschungs-GmbH, ZBT - Zentrum für BrennstoffzellenTechnik GmbH und Siqens GmbH, kann die gesamte Wertschöpfungskette, von der Werkzeugherstellung über die Werkzeugbeschichtung, Bipolarplattenfertigung bis hin zum Einsatz der gefertigten Bipolarplatten in Brennstoffzellen, optimal abgebildet werden.

## CAP-CPC

DIPL.-ING. FRANK MUMME

### ENTWICKLUNG VON 3D-FÄHIGEN DÜNNSCHICHTEN FÜR DEN KORROSIONSSCHUTZ

Der Korrosionsschutz von Werkzeugoberflächen ist aufgrund der vielfältigen Materialauswahl, der unterschiedlichen Beanspruchungsarten und Konstruktionsrestriktionen ein anspruchsvolles Arbeitsgebiet. Die Zielstellung im Forschungsprojekt ist die Entwicklung von 3D-fähigen Schichtsystemen, die bei einer Schichtdicke von ca.  $1\text{ }\mu\text{m}$  einen deutlich verbesserten Korrosionsschutz im Arbeitsumfeld der Kunststoffverarbeitung bieten. Zur Verifizierung des Korrosionsschutzverhaltens wurden die entwickelten Schichten in zwei praxisnahen Anwendungsszenarien untersucht.

Entwickelt wurden Schichten auf Basis von Phosphor dotiertem Zirkoniumoxid und eine  $NiAlCrO_x$  Multilayer Schicht. Letztgenannte wurde aufgrund der guten Ergebnisse für den Korrosionsschutz im Umfeld der Heißgaskorrosion von fluorhaltigen Kunststoffen (PFA) und der durchgeführten Untersuchungen im Kontakt mit Kühlwasser für die Beschichtung der im Projekt beigestellten Spritzgießwerkzeuge ausgewählt.

#### Verarbeitung von PFA-Kunststoffen

Für die Herstellung von Schraubkappen aus dem Kunststoff PFA wurden Werkzeuge aus dem Stahl 1.4112 mit einer  $1\text{ }\mu\text{m}$   $NiAlCrO_x$  und einer  $20\text{ }\mu\text{m}$  Hartchrom-Schicht versehen. Für eine Beurteilung der Korrosionsfestigkeit der Werkzeugoberflächen wurden ca. 10.000 Bauteile gefertigt. Bewertet wurde das Ausfallkriterium Oberflächenqualität. Hier war die Bildung von Belägen und die Veränderung der Oberflächenstruktur ausschlaggebend.



Abbildung 1:  $NiAlCrO_x$  beschichtete Formeinsätze

Im Betrieb konnte nach 1000 Schuss ein Korrosionsangriff an den mit  $NiAlCrO_x$  beschichteten Formeinsätzen festgestellt werden. Als ursächlich stellte sich ein durch in die Schicht eingelagerte Partikel resultierender poröser Schichtaufbau heraus.

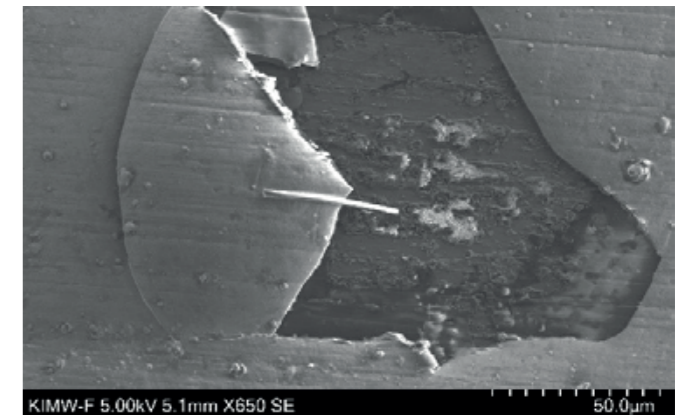


Abbildung 2: Partikeleinlagerung im Schichtaufbau

Die im Spritzgießprozess freierwandelnden Fluorionen unterwandern im Bereich der eingelagerten Partikel die Beschichtung und lösen den Schichtverbund von der Werkzeugoberfläche. Ziel der weiteren Prozessentwicklung ist die Vermeidung der Partikelbildung.

CAP-TBC

VANESSA FRETTLÖH, M.SC.

THERMISCHE BARRIERESCHICHTEN FÜR SPRITZGIESSPROZESSE

Die Werkzeugwandtemperatur ist im Spritzgießprozess eine elementare Prozessgröße zur Erzeugung hochwertiger Bauteiloberflächen. Durch den Einsatz einer thermischen Barrierschicht (TBC, thermal barrier coating), die eine deutlich geringere Wärmeleitfähigkeit als der Werkzeugstahl aufweist, kann der Wärmeabfluss vom Kunststoff in das Werkzeug zeitlich verzögert und damit die Kontakttemperatur zwischen der Kunststoffschmelze und der Werkzeugwand kurzfristig erhöht werden. Da oxidkeramische Materialien auf Zirkoniumoxidbasis eine geringe Wärmeleitfähigkeit sowie einen dem Werkzeugstahl ähnlichen Wärmeausdehnungskoeffizienten besitzen, sind sie ideale Materialien für passive Isolationsschichten.

Die an den Forschungsinstituten RUB, KIMW-F und CIRIMAT (Toulouse) mittels unterschiedlicher Precursoren, Dosier- und Injektionstechniken im MO-CVD Verfahren abgeschiedenen ZrO-basierten Beschichtungen wurden hinsichtlich Morphologie, Zusammensetzung, Schichtdicke, Abriebbeständigkeit, Schichthärte und Wärmeleitfähigkeit analysiert. An der KIMW-F konnte eine bessere Wärmeisolationseigenschaft durch Erhöhung der CVD-Prozesstemperatur und damit der Porosität der Schicht realisiert werden (Abbildung 1). Mittels 3 $\omega$ -Messmethode ermittelte die RUB die Wärmeleitfähigkeiten der Beschichtungen. Die amorphen Beschichtungen (0,5 W/m·K) zeigten dabei eine im Vergleich zu den kristallinen Beschichtungen (1,1 W/m·K) deutlich niedrigere Wärmeleitfähigkeit.

Der Einsatz einer Remote-Mikrowellen-Plasmaquelle führte an der RUB zu einem beschleunigten Schichtwachstum sowie einer erhöhten Kristallinität der Schichten bei niedrigen Prozesstemperaturen (350 °C). Nach Optimierung der Beschichtungen wurden Demonstratorwerkzeugeinsätze der Projektpartner Formconsult Werkzeugbau GmbH und Möller-Tech Engineering GmbH, die aus unterschiedlichen Materialien gefertigt und mit verschiedenen Oberflächen ausgestattet wurden, beschichtet (Abbildung 2). Vor und nach der Beschichtung erfolgte die Bemusterung der Werkzeuge bei den Projektpartnern. Durch Messung der Oberflächenrauigkeiten auf kleinen Winkelprüfkörpern mit unterschiedlicher Oberflächenstruktur sowie auf den unbeschichteten und beschichteten Werkzeugeinsätzen konnte eine signifikante Änderung der Topographie durch die Beschichtung festgestellt werden. Durch die hohe Porosität der Schicht werden die Oberflächen matter und hochglänzende Kunststoffbau-

teile können direkt nach der Beschichtung nicht realisiert werden. Dies belegten auch die auf den Winkelbauteilen sowie auf den gefertigten Kunststoffbauteilen durchgeführten Glanzgradmessungen. Durch eine Nachpolitur der Schicht konnte eine glattere und glänzendere Oberfläche realisiert werden, was sich auch auf den gefertigten Kunststoffbauteilen zeigte. Die beim physikalischen Schäumen auf den Kunststoffbauteilen entstehenden Schlieren konnten durch die Beschichtung reduziert werden. Um noch glattere Schichten mit höherem Wirkungsgrad zu realisieren, wird weiter an der Thematik geforscht.

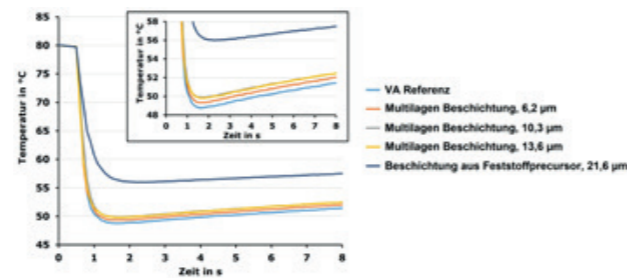


Abbildung 1: Temperaturleitfähigkeitsmessung an verschiedenen Beschichtungen

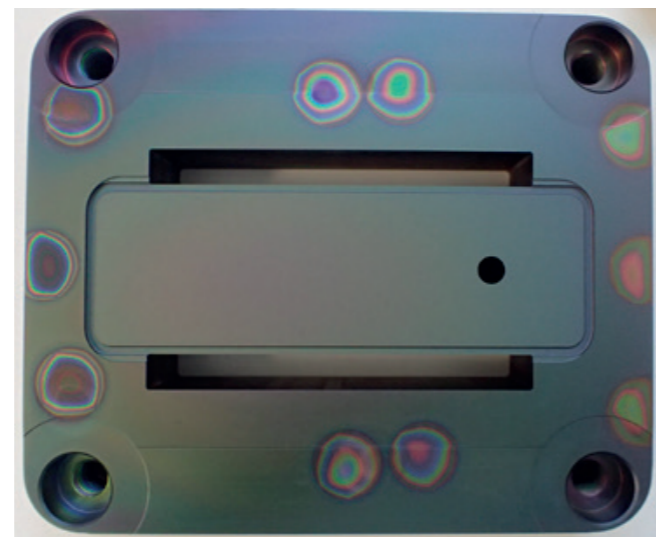


Abbildung 2: beschichteter Werkzeugeinsatz



CONTISPRAY

MARKUS POTHMANN, B.ENG.

NEUE FÖRDERTECHNIK UND REZEPTUREN FÜR THERMISCHES SPRITZEN

Metallische und nichtmetallische Werkstoffoberflächen werden oft zum Schutz vor Korrosion und Verschleiß und damit zur Verlängerung der Haltbarkeit und Standzeit beschichtet. Um die benötigte Korrosionsbeständigkeit zu erzielen, können anstelle von hochwertigen und damit hochpreisigen Grundmaterialien günstigere Stähle mit einer entsprechenden Schutzbeschichtung zum Einsatz kommen. Ein dabei häufig verwendetes Verfahren ist das thermische Spritzen, bei dem pulverförmige Ausgangsstoffe (Metalle, Oxidkeramiken oder Carbide) mit hoher kinetischer Energie auf die Werkstoffoberfläche geschleudert werden, dort durch Adhäsions- und Kohäsionskräfte anhaften und eine schützende Schicht ausbilden. Die Restporosität, die bei üblichen Verfahren verbleibt, liegt im Bereich von etwa 2-4 %. Das ContiSpray Projekt setzt hier an und zielt darauf ab, Leerstellen im eigentlichen Beschichtungswerkstoff thermisch gespritzten Schichten aufzufüllen und amorphe Schichten auf metallischen und nichtmetallischen Oberflächen auszubilden. Derart realisierte Schichten weisen eine Restporosität von rund 0,1 % auf und können so beanspruchte Wirkflächen punktuell oder durch Beschichtung ganze Bauteile schützen. Auf diese Weise werden Korrosionsangriffspunkte reduziert und die Standzeit der Bauteile auch ohne aufwändige Nachbehandlungsverfahren durch umweltbelastende Lacke und Epoxidharze verlängert. Zum Erreichen dieses Ziels werden einerseits neue metallorganische Rezepturen der Reaktionspartner, die Precursoren, entwickelt; andererseits steht die Entwicklung eines neuartigen Zuführungssystems für ebendiese Precursoren zur Ausbildung amorpher Schutzschichten im Fokus. Die einzelnen Bestandteile und Komponenten des Systems werden dabei derart aufeinander abgestimmt, dass die Reaktion der Precursorenpulver erst auf der Substratoberfläche erfolgt und ein vorzeitiges Abreagieren mit dem zu spritzenden Ausgangsstoff im heißen Flammstrahl vermieden wird.

Neben der Entwicklung geeigneter Precursor-Rezepturen auf Metall-Acetylacetonat-Basis besteht der zweite innovative Kernpunkt dieses Projektes in der Entwicklung eines angepassten Minimalmengenextruders mit einem Durchsatz von bis zu 50 g Precursor-Pulver pro Stunde.

Hierzu wurde ein Doppelschneckenextruder entwickelt, mit dessen Hilfe eine Vielzahl pulverförmiger Precursoren mit hoher Genauigkeit und Gleichmäßigkeit der Förderrate in den Gasstrom gefördert werden kann. Die funktionierende

Fördertechnik wurde optimiert und ein zweiter Prototyp angefertigt, der sich aus weniger Einzelbauteilen zusammensetzt. Auch der Antrieb der beiden Extruderschnecken wurde im Hinblick auf eine prozesssichere Pulverförderung überarbeitet. Bei der Konstruktion wurde Wert auf eine dichte Verbindung aller Komponenten gelegt, so dass dieser Extruder auch für Vakuum-Anwendungen ohne weitere Modifikationen eingesetzt werden kann.



Abbildung 1: Doppelschneckenextruder für pulverförmige Precursoren

Ein dritter innovativer Kernpunkt des Projektes ist die Entwicklung des Einspritzsystems bestehend aus Anlagenbauteilen, wie dem Brennerkopf und den Expansionsdüsen sowie Halterungen zur Montage an den Roboterarmen. Diese Entwicklung wird durch die Projektpartner Abler GmbH und Johannes Becker Werkzeugbau GmbH realisiert. Das Abstimmen der Komponenten aufeinander sowie die Erprobung im thermischen Spritzverfahren erfolgt im weiteren Verlauf des Projektes.



DR. MOHAMED MAHMOUD, DR. ANATOLIY BATMANOV

ELEKTRISCHE ISOLATION DURCH KERAMISCHE DÜNNSCHICHTEN

Ziel des Projektes ist die Entwicklung von dünnen Schichten, die unter Berücksichtigung ihrer chemischen Zusammensetzung und den daraus resultierenden Eigenschaften in der Lage sind, eine galvanische Trennung zwischen einer elektrisch leitenden Funktionsschicht und dem Werkzeugmaterial zu erzielen.

Die gewonnenen Erkenntnisse können auf verschiedenste Anwendungen, bei denen eine mediendichte und galvanische Isolation der Werkzeugoberfläche von einer weiteren Funktionsschicht oder dem verarbeiteten Material benötigt wird, übertragen werden. Als Beispiel sei hier die resistive dynamische Temperierung von Spritzgießwerkzeugen genannt. Durch die Erwärmung bestimmter Werkzeugbereiche mit hoher Heizrate und geringem Energieaufwand ist es möglich, Oberflächenfehler auf den Spritzgussbauteilen zu reduzieren.

Die benötigten Schichten werden mittels metallorganischer chemischer Gasphasenabscheidung (MOCVD) aufgebracht, wodurch auch komplexe Substratgeometrien aufgrund der bereits bewiesenen Spaltgängigkeit des eingesetzten MOCVD-Verfahrens beschichtet werden können. Obwohl, die für die Applikation oxidkeramischer Schichten im CVD-Prozess benötigten Temperaturen durch den Einsatz metallorganischer Precursoren deutlich reduziert werden kann, findet eine effiziente Abscheidung der Schichten jedoch zumeist erst ab Temperaturen von über 300 °C statt. Dies ist bereits zu heiß für oxidationsempfindliche Stähle, da die Ausbildung einer oberflächlichen Oxidschicht zu einer verminderten Haftung der Funktionsschicht führt. Aus diesem Grund wurde im Projekt zunächst eine Oxidations- und Korrosionsschutzschicht aufgebracht: SiO<sub>2</sub> wurde aus Tetraethylorthosilikat (TEOS) bei niedrigen Temperaturen (100-300 °C) auf den Metalloberflächen abgeschieden.

Im Rahmen des Projektes wurden verschiedene oxidkeramische Schichten auf diversen Metalloberflächen appliziert und auf ihre Elektroisolationseigenschaften untersucht. Im Detail wurden Zirkoniumoxid, Aluminiumoxid, Chromoxid und eine Aluminiumoxid-Chromoxid-Multilayerschicht auf VA-Substrat (1.4301, korrosionsstabil) und DC01 (1.0330, korrosionsanfällig) abgeschieden. Alle Schichtsysteme weisen einen hohen elektrischen Widerstand bzw. eine hohe elektrische Isolationseigenschaft bei einer punktuellen Messung mittels Multimeter unter normalen Bedingungen auf. Um die Schichtqualität, die elektrische Isolationseigenschaft sowie die

Korrosionsschutzwirkung der Beschichtungen flächig zu beurteilen, wurde die elektrochemische Impedanzspektroskopie (EIS) eingesetzt. Im Idealfall weist die Schicht eine hohe Impedanz im niedrigen Frequenzbereich und eine Phasenverschiebung möglichst nahe 90° über einen breiten Frequenzbereich auf. Dies wurde bei dem applizierten Aluminiumoxid-Chromoxid-Schichtsystem beobachtet (siehe Abbildung 1).

Außerdem zeigt die Untersuchung dieses Schichtsystems auf DC01 über drei Tage im Elektrolyt nach anfänglicher Abnahme keine weitere Veränderung der Messwerte und auch keine Korrosion des Substrates unter dem Mikroskop (Abbildung 2), was die Stabilität der Schicht widerspiegelt.

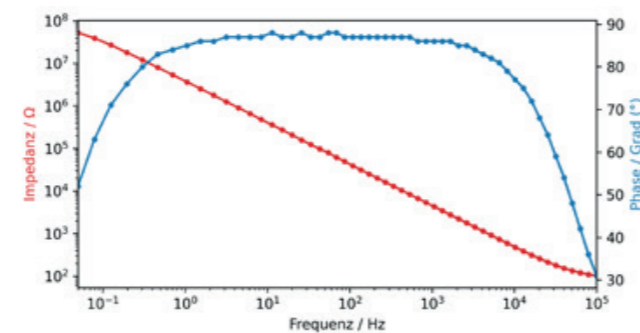


Abbildung 1: EIS-Messung von AlOxCrO auf VA

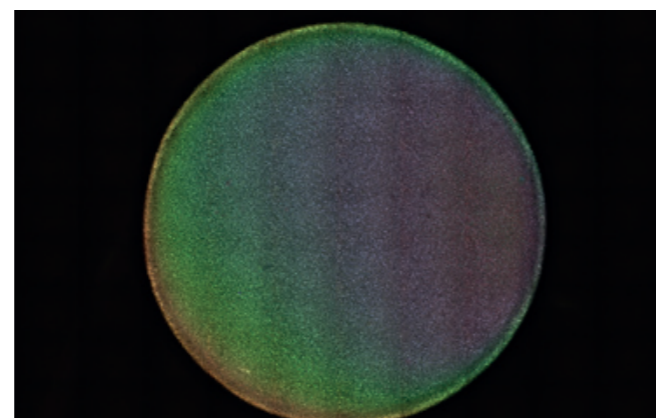


Abbildung 2: Mikroskopische Aufnahme von AlOxCrO auf DC01

MICROCOATING

VANESSA FRETTLÖH, M.SC.

POLYSULFON-INNENBESCHICHTUNG VON TANK- UND SCHÜTTGUTWAGGONS

Einer der Hauptgründe für die Beschichtungen von Metall ist der Schutz gegen Korrosion. Dies gilt auch für Transportbehälter von Schüttgut. Zudem sollen die Beschichtungen das Behältermaterial auch vor einer Veränderung durch das Transportgut schützen. Durch thermisches Spritzen von Kunststoffen können solche Funktionsschichten realisiert werden. Um eine optimale Haftfestigkeit und einen optimalen Korrosionsschutz zu gewährleisten, muss die zu beschichtende Oberfläche frei von Verunreinigungen und trocken sein. Im Rahmen des Projektes wird eine spezielle Kunststoff-Flammspritzanlage entwickelt, um metallische Oberflächen mit einer Polyarylsulfonbeschichtung auszustatten und die Oberfläche unmittelbar vor der Beschichtung von eventuell verbliebender Restfeuchte zu befreien. Die für die Beschichtung zum Einsatz kommenden Polysulfone weisen eine hohe chemische Beständigkeit sowie eine hohe Zähigkeit / Schlagzähigkeit auf. Die Eigenschaften bleiben auch bei sehr hohen Einsatztemperaturen (170 – 200 °C (je nach Type)) noch stabil. Durch gezielte Eincompounding von Füllstoffen, wie Kohlefasern, Glimmer, Ruß und Graphit, werden die mechanischen und chemischen Eigenschaften des Compounds verbessert sowie der Oberflächenwiderstand verringert. Letzteres ist essenziell, um Transportwaggons mit einer chemisch inerten Schutzschicht auszustatten, die beim Transport von brennbaren und explosiven Stoffen einer Funkenentladung entgegenwirkt, da sie eine gewisse elektrische Leitfähigkeit aufweist und damit elektrostatische Aufladung verhindert.

Die KIMW-F entwickelt das zu verspritzende Compound und passt dieses gezielt an die Bedürfnisse des Flammspritzprozesses an. Dazu wurde eine ausführliche Recherche der verfügbaren Polyarylsulfone durchgeführt und die Modifikation der Typen betrachtet. Zudem wurde ein Compounder angeschafft, mit dem die Hochleistungskunststoffe verarbeitet werden können (Abbildung 1). Zu diesem Zweck werden die Schneckenengeometrie des Doppelschneckenextruders sowie die Peripherie des Compounders noch weiter angepasst. Der Projektpartner Bräuer Oberflächentechnik GmbH entwickelt eine Flammspritzpistole, mit der das hergestellte Compound zerkleinert, aufgeschmolzen und auf die Zieloberflächen appliziert werden kann. Angelehnt an schon existierende Systeme, erfolgt dazu eine gezielte Neuentwicklung, um die Hochleistungskunststoffe verarbeiten und auf den Werkstückoberflächen applizieren zu können. Zudem wird eine effiziente Beheizung und damit Trocknung der Oberfläche

im Gesamtsystem integriert. Für die Anwendung werden Strangdurchmesser des Polyarylsulfonmaterials von 3 mm angestrebt. Die KIMW-F wird dazu die Düse des Compounders modifizieren. Da innerhalb der Spritzpistole hohe Temperaturen zum Aufschmelzen des Kunststoffes benötigt werden, wird die Pistole zum Schutz des Bedieners mittels Luft und Wasser gekühlt. Die aufgetragenen Beschichtungen werden anschließend hinsichtlich Schichtdicke, Porosität und Rissbildung geprüft, um die Funktionalität der Schichten zu evaluieren. Auch Messungen der elektrischen Leitfähigkeit des Materials sind essentiell, um die Funktionalität der Beschichtung für die spätere Anwendung sicher zu stellen.



Abbildung 1: Compounder





Gefördert durch:  
 Bundesministerium  
 für Wirtschaft  
 und Energie  
 aufgrund eines Beschlusses  
 des Deutschen Bundestages

## TRIBOSCHICHT

DR. MOHAMED MAHMOUD

### ELEKTRISCHE ISOLATION DURCH KERAMISCHE DÜNNSCHICHTEN

In der Kunststoffverarbeitung sind die eingesetzten Stähle sowie die daraus gefertigten Werkzeuge diversen Belastungen ausgesetzt. Hierzu gehören in erster Linie werkstoffschädigende Prozesse, wie Verschleiß und Reibung. Insbesondere letztere wird während der Entformung der gespritzten Teile, bei der das Auswerferpaket bedient wird, begünstigt. Beim Entformungsvorgang entsteht Reibung und damit Verschleiß am Werkzeug, wenn die Auswerfer nicht geschmiert sind. Dürfen die Kunststoffbauteile nicht mit Schmiermitteln kontaminiert werden, so ist eine Beschichtung notwendig, um der Problematik entgegenzuwirken. Selbstschmierende Beschichtungen auf Basis von metall-sulfidischen Schichten kommen verbreitet zum Einsatz, um die Reibung in bewegten Maschinenbaugruppen bei hohen Temperaturen (bis 350 °C) zu reduzieren.

Ziel des Projektes "TriboSchicht" ist die Applikation selbstschmierender Schichten auf bewegliche Werkzeugeteile für die Kunststoffverarbeitung bei hohen Einsatztemperaturen. Die Beschichtungen werden durch den Einsatz der metallorganischen chemischen Gasphasenabscheidung (MOCVD) aufgebracht. Im Gegensatz zu mittels PVD-Verfahren aufgetragenen Beschichtungen, sind diese Schichten, aufgrund der bereits bewiesenen Spaltgängigkeit des eingesetzten MOCVD-Verfahrens, auch auf komplexen Substratgeometrien anwendbar. Metallorganische Precursoren kommen zum Einsatz, um die Abscheidung bei niedrigen Prozesstemperaturen (max. 400 °C) zu realisieren und die Beschichtung der Stähle ohne Einbußen in den mechanischen Eigenschaften zu ermöglichen. Im Rahmen des Projektes kommt die Stoffgruppe der Carbonyle in Kombination mit schwefelhaltigen Reaktionspartnern zum Einsatz. Zunächst wurden in einer kleinen Anlage Screeningversuche unter Variation der Prozessparameter Temperatur, Gasfluss und Art des Trägergases durchgeführt, um die optimalen Abscheidungsparameter für die Funktionsschicht zu ermitteln. In den Analysen mittels Scratchtest (MST) konnten hohe kritische Lasten für die abgeschiedenen Wolframsulfid-Schichten ermittelt werden, was auf eine ausgezeichnete Haftung der Beschichtungen auf den verschiedenen Substraten hinweist.

Die ermittelten Prozessparameter wurden für die Aufskalierung des Prozesses in einem größeren CVD-Reaktor verwendet. Dabei kam für die Förderung und Dosierung des Wolfram-Precursors die Minimalmengenförderung mittels

Minixtruder zum Einsatz. Als Schwefelquelle wurde H<sub>2</sub>S-Gas und Schwefelpulver verwendet.

Die in den beiden Anlagen applizierten Schichten zeigen einen geringen Reibungskoeffizienten von 0,1 - 0,22, der mittels Mikro-Tribo-Test (MTT) auf diversen Substraten und, vergleichend zu unbeschichteten Stählen, mit einer 100Cr6 Stahlkugel als Gegenkörper ermittelt wurde. Um die Zielbauteile – Auswerferstifte von Spritzgießwerkzeugen – für die angestrebte Verwendung bei hohen Prozesstemperaturen charakterisieren zu können, wurde ein Reibprüfstand an der KIMW-F mit einem Ofen ausgestattet. Für die gleichmäßige und vollumfängliche Beschichtung der Auswerferstiftgeometrie wurde eine spezifische Halterung zum Einsatz in der CVD-Anlage entwickelt (Abbildung 1). Parallel wurde an der Aufskalierung der Prozesse auf Industriemaßstab gearbeitet. Dazu wurde die entwickelte Extruder- und Verdampfertechnik an die später zum Einsatz kommende Industrieanlage angepasst und aufgebaut.



Abbildung 1: Halterung für die Beschichtung von Auswerferstiften



**ÜBERSICHT ÖFFENTLICH GEFÖRDERTER PROJEKTE 2022**

**BEREICH: PROZESSTECHNIK**

**Weitere Informationen:**  
**Dr.-Ing. Angelo Librizzi**  
**Tel.: +49 (0) 23 51.10 64-134**  
**librizzi@kunststoff-institut.de**

**AMeDi**

Entwicklung einer Anlagentechnik zur Direkteinspritzung von Metall zur Herstellung zweikomponentiger Kunststoff-Metall-Bauteilen

**Laufzeit:** 01.06.2022 bis 30.11.2024  
**Förderkennzeichen:** KK5023113HD1  
**Fördermittelgeber:** BMWK  
**Förderträger:** AiF Projekt GmbH  
**Förderprogramm:** ZIM FuE-Kooperationsprojekt  
**Projektleiter:** Jan-Ole Maras, M.Sc.

**Re:EPP**

Entwicklung eines Verfahrens zur Herstellung von dekorierten EPP-Bauteilen aus 100% Altmaterial

**Laufzeit:** 01.06.2022 bis 31.05.2024  
**Förderkennzeichen:** KK5023112KO1  
**Fördermittelgeber:** BMWK  
**Förderträger:** AiF Projekt GmbH  
**Förderprogramm:** ZIM FuE-Kooperationsprojekt  
**Projektleiter:** Katharina Prammer, B.Eng.

**QSchaum**

Entwicklung eines Prüfverfahrens zur Bestimmung der Bauteilqualität in einem geschäumten thermoplastischen Kunststoffbauteil

**Laufzeit:** 01.01.2021 bis 31.03.2023  
**Förderkennzeichen:** KK5023101EB0  
**Fördermittelgeber:** BMWK  
**Förderträger:** AiF Projekt GmbH  
**Förderprogramm:** ZIM FuE-Kooperationsprojekt  
**Projektleiter:** Alexander Paskowski, B.Eng.

**DraKo**

Entwicklung einer drahtlosen Kontaktierungsmöglichkeit von Printed Electronics Bauteilen mithilfe einer innovativen Übertragungstechnologie

**Laufzeit:** 01.01.2021 bis 31.03.2023  
**Förderkennzeichen:** KK5023103PR0  
**Fördermittelgeber:** BMWK  
**Förderträger:** AiF Projekt GmbH  
**Förderprogramm:** ZIM FuE-Kooperationsprojekt  
**Projektleiter:** Patrick Engemann, M.Sc.

**TIGER**

gewickelte thermoplastische EinleGER

**Laufzeit:** 01.12.2021 bis 30.11.2023  
**Förderkennzeichen:** KK5023107TA1  
**Fördermittelgeber:** BMWK  
**Förderträger:** AiF Projekt GmbH  
**Förderprogramm:** ZIM FuE-Kooperationsprojekt  
**Projektleiter:** Christian Rust, M.Eng.

Die genannten Forschungsvorhaben werden unterstützt durch:



**Bundesministerium für  
Wirtschaft und Energie  
(BMWi)**



**Bundesministerium für  
Wirtschaft und Klimaschutz  
(BMWK)**

**FaeBS**

Funktionsauslegung und -erprobung eines innovativen Brennstoffzellen-Systems

**Laufzeit:** 01.11.2021 bis 31.10.2023  
**Förderkennzeichen:** 19I21035C  
**Fördermittelgeber:** BMWi  
**Förderträger:** TÜV Rheinland Consulting GmbH  
**Förderprogramm:** Neue Fahrzeug- und Systemtechnologien  
**Projektleiter:** Dr. rer. nat. Martin Ciaston

**Qualodoromat**

Entwicklung eines Geräts zur Geruchsbewertung von Kunststoffen

**Laufzeit:** 01.07.2022 bis 30.06.2024  
**Förderkennzeichen:** 16KN080134  
**Fördermittelgeber:** BMWK  
**Förderträger:** VDI/VDE Innovation + Technik GmbH  
**Förderprogramm:** ZIM Innovationsnetzwerke  
**Projektleiter:** Dipl.-Ing. Jens Hündorf

**AMEDI**

**JAN-OLE MARAS, M.SC.**



**ENTWICKLUNG EINER ANLAGENTECHNIK ZUR METALLDIREKTEINSPRITZUNG**

In Zeiten der Industrie 4.0 und des Internet of things kommen funktionellen, hybriden Kunststoff-Metall-Bauteilen eine immer größere Bedeutung zu. Um den Anforderungen gerecht zu werden, werden Kunststoffbauteile immer häufiger mit kommunikativen oder elektronischen Funktionen versehen. Aufgrund dessen wurde in Vorgängerprojekten das Verfahren des Metalldirekteinspritzens entwickelt, um innerhalb eines Spritzgießprozesses mit sehr wenigen Prozessschritten Kunststoffteile mit Leiterbahnen oder Antennen auszustatten. Das Verfahren konnte in den Projekten „Medimold 2.0“ und „Metalldirekt Antenne“ qualifiziert werden. Jedoch wurde dafür eine nicht automatisierte Prototypenanlage verwendet, die eine Standzeit von nur wenigen Schuss aufwies, sodass der bottleneck des Verfahrens schnell ausgemacht war. Dies war der Grund für die Initiierung des Forschungsprojektes AMeDi, in dem eine automatisierte Anlage zur Direkteinspritzung von Metall entwickelt werden soll.



Abbildung 1: Neues Verfahren - Metalldirekteinspritzen

Innerhalb des Projektes sollen eine Dosier-, Förder- und Einspritzeinheit entwickelt werden, um eine modulare Lösung zur Direktanwendung auf einem Spritzgießwerkzeug zu erhalten. Die entwickelte Gesamtanlage wird anschließend auf einem Demonstratorwerkzeug getestet und qualifiziert.

In der ersten Projektphase wurden erste Konzepte für die Dosier- und Fördereinheit ausgearbeitet. Darauf folgend wurde eine ausgedehnte Versuchsreihe zur Werkstoffauswahl für die metallführenden Bauteile durchgeführt. Hierfür

wurden Probekörper aus unterschiedlichen, gängigen Werkzeugstählen hergestellt und mit verschiedenen Oberflächenbeschaffenheiten sowie Beschichtungen versehen. Diese wurden mithilfe der hauseigenen CVD-Technik aufgetragen. Die Probekörper wurden dann in der flüssigen Metalllegierung unter Temperatureinfluss gelagert. Daraufhin wurden die Probekörper mittels RFA untersucht, um den optimalen Werkstoff, Beschichtung und Oberfläche hinsichtlich des Benetzungs- und Korrosionsverhaltens auszuwählen.

In naher Zukunft sollen dann in Abhängigkeit der Werkstoffauswahl erste Konstruktionen für die Anlagenteile erstellt werden. Weiterführend im Projekt soll eine innovative Materialzuführung entwickelt werden, die dann in die bestehenden Anlagenteile (Dosier-, Förder- und Einspritzeinheit) integriert wird. Im Anschluss daran soll die erforschte Anlage auf einem Demonstratorwerkzeug qualifiziert werden. Dafür wird ein Spritzgießwerkzeug speziell auf das Metalldirekteinspritzen ausgelegt und erstellt. Sobald dies abgeschlossen ist, wird in einer endgültigen Prozessentwicklung die Anlage in Verbindung mit dem Spritzgießwerkzeug abgemustert.

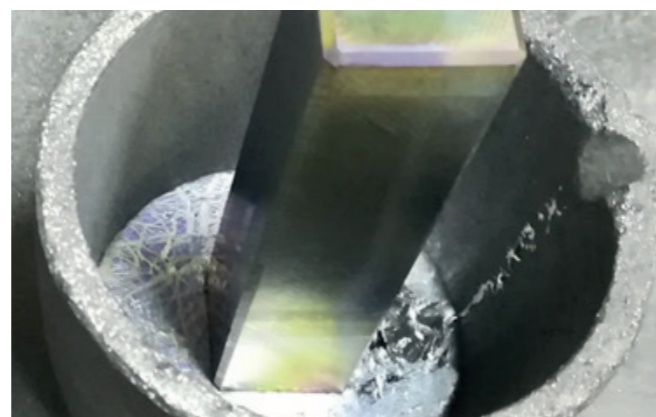


Abbildung 2: Werkstoffprobe in Metalllegierung

**DRAKO**

**PATRICK ENGEMANN, M.SC.**



**FUNKTIONSINTEGRATION MIT DRAHTLOSER SCHNITTSTELLE IN FORMTEILEN**

Funktionale Oberflächen mit integrierten Tasten sind aus unserem Alltag nicht mehr wegzudenken. Touchbedienung mit hinterleuchteten Symbolen sind allgegenwärtig. Die Integration von Funktionen in die Kunststoffformteile stellt die Hersteller immer wieder vor neue Herausforderungen. Dies trifft insbesondere auf die Integration von Bedienfeldern auf der Oberfläche und die damit notwendige Kontaktierung zur dahinterliegenden Technik zu. Um diese Herausforderung zu bewältigen, haben sich die Niebling GmbH, die Pröll GmbH, die POLAR-FORM Werkzeugbau GmbH, die Ruhr-Universität Bochum und die Gemeinnützige KIMW Forschungs-GmbH im Projekt DraKo zusammengefunden. Ziel des Projektes DraKo ist es, eine drahtlose Kontaktierung von Formteilen mit integrierter Funktion zu realisieren. Hierdurch eröffnen sich sowohl neue Bedienkonzepte als auch neue Möglichkeiten im Design. Darüber hinaus kann der Aufwand in der Montage durch den Wegfall der kabelgebundenen Kontakte in der Serienfertigung vereinfacht werden.

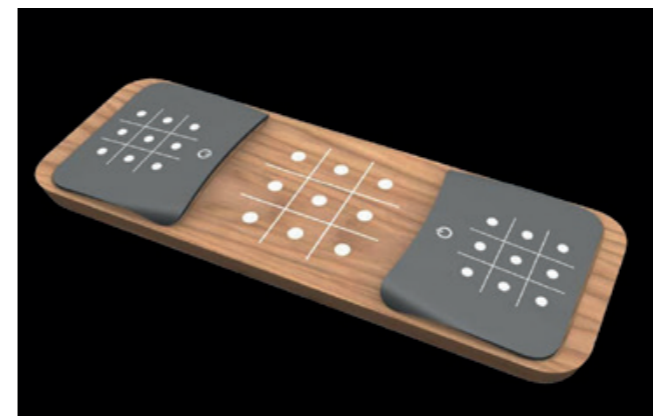


Abbildung 1: Demonstrator aus dem Projekt DraKo

Die Funktionalität der Touchbedienung sowie der integrierten Beleuchtung des Bedienfeldes wurde im Verlauf des Projektes anhand eines ersten Demonstrators nachgewiesen. Die drahtlose Kontaktierung ist dabei in der Lage, Abstände bis zu 10 mm zur dahinterliegenden Technik zu überbrücken und die Eingaben von der Oberfläche weiterzugeben. Die dahinterliegende Elektronik dient auch als Energiequelle für die im Formteil integrierten Funktionen. Da die Leiterbahnen im Formteil für die Funktion einen wesentlichen Beitrag leisten, wurden diese im Projektverlauf genauer betrachtet. Insbesondere kleinste Abweichungen in der Leiterbahngeo-

metrie können zu Einbußen der Energieübertragung führen. Hinzu kommt, dass diese die notwendige Verformung schadlos überstehen müssen, um verschiedene Geometrien darstellen zu können. Um dies sicher zu stellen, wurden die Grenzen der Umformung durch Versuche im Projektverlauf ermittelt. Hierfür erfolgte eine unterschiedlich starke Verformung von Leiterbahnen in unterschiedlichen Breiten. Im Anschluss wurde der elektrische Widerstand gemessen und miteinander verglichen.

Mit Hilfe des im Projekt angefertigten Spritzgusswerkzeuges wird die Umsetzung in der Serienfertigung demonstriert. Da sich durch die Technologie besondere Anforderungen ergeben, wurden im Projektverlauf umfangreiche Spritzgussimulationen durchgeführt. Insbesondere die hohen mechanischen und thermischen Belastungen, die beim Spritzgussprozess auf die verbauten Halbleiter wirken, können im Späteren zum Ausfall der Bauteile führen. Bereits in den ersten durchgeführten Bemusterungen des Spritzgusswerkzeuges konnten die Simulationsergebnisse untermauert werden. Zum Abschluss des Projektes werden einige Bauteile einer Bewitterung ausgesetzt, um den Nachweis zu erbringen, dass der Kunststoff die elektronischen Komponenten mediendicht umschließt und somit gegenüber äußeren Einflüssen in ausreichendem Maße schützt.



Abbildung 2: Projektwerkzeug aus dem Projekt DraKo

**FAEBS**

**DR. ANDREAS BALSTER**

**MATERIALQUALIFIKATION FÜR NIEDERTEMPERATUR-BRENNSTOFFZELLEN**

Ein wichtiger Baustein jedes zukünftigen Mobilitäts- und Energiekonzepts ist die Einbindung von nicht-fossilen Energieträgern. Dabei ist die Nutzung von „grünem“ Wasserstoff als chemischer Zwischenspeicher, um aus dessen kontrollierter Reaktion mit Sauerstoff in einer Brennstoffzelle wiederum Energie zu beziehen, ein weiterer wichtiger Aspekt. Das Akronym FaeBS steht dabei für den Titel „Funktionsauslegung und -erprobung eines innovativen Brennstoffzellensystems“. Das Projektziel ist die Entwicklung einer PEMFC (Proton Exchange Membrane Fuel Cell) zu marktkompatiblen Preisen. Konsortialführer BMW verspricht sich davon die Nutzbarkeit des Systems auch im Individualverkehr.

Herzstück des Arbeitspakets „Materialqualifizierung“ der KIMW-F ist die Entwicklung von Untersuchungsmethoden zur Einstufung potentieller Gehäusewerkstoffe. Bei den Materialien kommt es darauf an, dass sie die Leistung der PEMFC möglichst nicht dauerhaft stören. Während im Duisburger Zentrum für Brennstoffzellentechnik (ZBT) Versuchszellen in definierten Betriebszyklen den Materialproben ausgesetzt werden, werden in Lüdenscheid unter analogen Bedingungen die dabei emittierten Stoffe analytisch identifiziert und quantifiziert. Im ersten Projektjahr wurden die gesetzten Meilensteine erreicht. So wurde die in Duisburg vom ZBT entwickelte Kontaminationskammer in Betrieb genommen und die Inhaltsstoffe der Materialkandidaten mittels GC-MS-Analysen bis in den ppm-Bereich klassifiziert. Ein wichtiges Ziel der Forschungsstelle ist es, gemeinsam mit BMW einen Standard zur Qualifizierung von Materialien für den Einsatz in Polymerelektrolyt-Brennstoffzellen zu schaffen, der maßgeblich für die Branche sein soll.

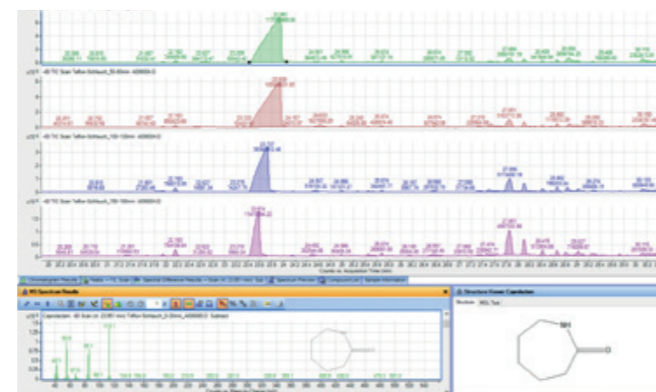


Abbildung 1: Chromatogramme und MS-Zuordnung aus Emissionsversuchen

Das erste Projektjahr stand im Zeichen des experimentellen Setups. Eine GC-MS-Anlage wurde in Betrieb genommen und passende Trenn- und Identifikationsparameter eruiert. Außerdem wurden mehrere Materialkandidaten - verbeitete technische Kunststoffe - in Granulat- und Probekörperform eingehend analysiert, sodass nun genauestens bekannt ist, welche Stoffe dem Werkstoff, welche dem Spritzgießprozess und welche dem experimentellen Equipment zuzuordnen sind. Die prominentesten Signale wurden identifiziert und, sofern zutreffend, typischen Zusatzstoffen wie Stabilisatoren oder Prozesshilfen zugeordnet. Außerdem erfolgten die ersten Versuche zur Quantifizierung.

Parallel zur Emissionsanalytik erfolgten Auslagerungsexperimente von Normprobekörpern vom Typ 5A in eigens zu diesem Zweck adaptierten Autoklaven, bei denen mutmaßliche Katalysatorgifte im Spurenbereich innerhalb verschiedener Szenarien nachgewiesen wurden. Das nun folgende zweite Jahr soll die Versuche am ZBT und der KIMW-F sinnvoll miteinander verzahnen: Die Belastungszyklen, die in den Testprotokollen der Prüfstände gefahren werden, müssen mit den analytischen Randbedingungen, die der GC-MS-Methode geschuldet sind, in Einklang gebracht werden. So ist z. B. die Gegenwart von Wasser in den in situ-Testläufen obligatorisch, da sie auch im Realbetrieb auftritt. Für eine gaschromatografische Analyse ist hingegen die Präsenz von Feuchtigkeit unerwünscht. Hier gilt es, zulässige Adaptionen der Prüfzenarien zu entwickeln, die eine legitime Korrelation von beobachteten Leistungsabfällen und der Konzentration bestimmter Kontaminanten erlauben.



**RE:EPP**

**KATHARINA PRAMMER, B.ENG.**

**ENTWICKLUNG EINES VERFAHRENS ZUR HERSTELLUNG VON DEKORIERTEN EPP-BAUTEILEN AUS 100% ALTMATERIAL**

Mit dem Projekt Re:EPP ist eine Entwicklung gestartet worden, die ganz im Zeichen der Nachhaltigkeit steht. Zusammen mit den Projektpartnern Paul Müller GmbH und Teubert Maschinenbau GmbH entwickelt die KIMW-F einen Prozess zum Recycling von EPP-Bauteilen. Die 2-jährige Projektlaufzeit wird vom Konsortium genutzt, um EPP-Material im kleinstmöglichen Kreislauf wiederzuverwerten und den Materialkreislauf zu schließen.

Das Material EPP bringt von Haus aus viele Eigenschaften mit, die für diverse Energieeinsparungen zuträglich sind. Durch den großen Anteil an Luft (70-98%) ist das Material zum einen leicht, was beim Transport den Treibstoffbedarf vermindert, zum anderen hat es hervorragende Wärmedämmeigenschaften. Dennoch ist das Material sehr robust und kann für viele Bereiche genutzt werden.

Das Projekt Re:EPP zielt darauf ab, zusätzlich zu den Materialeigenschaften auch den Prozess nachhaltiger zu gestalten und eine Kreislaufführung zu ermöglichen.

Hierbei im Fokus steht die Verfahrensentwicklung sowohl bei der Aufbereitung des Materials als auch bei der Wiederverwendung des aufbereiteten Materials. Der Kreislauf wird somit im Ganzen betrachtet.

Die Innovation hierbei ist, dass das EPP-Material nicht, wie mittlerweile am Markt üblich, wieder eingeschmolzen, granuliert und expandiert wird, vielmehr liegt der Schwerpunkt

darauf, das geschäumte Material direkt aus dem Formteil zurückzugewinnen und wieder zum Formteil zu machen und das zu einem Anteil von 100% pro Bauteil. Damit wäre der kleinstmögliche Kreislauf erreicht.

Die Kreislaufführung von Materialien bietet ein hohes Potenzial für Unternehmen, Material wiederzuverwenden und damit gleichzeitig den Einsatz von Neumaterial zu minimieren. Dadurch können Einsparungen sowohl monetär als auch bei der Treibhausgasbilanz erzielt werden.

Herausfordernd ist hierbei das Zusammenspiel aus der Wiederaufbereitung und der Prozesstechnik, um wieder neue Formteile mit ausreichender Qualität zu erreichen. Beimischungen von geschredderten Materialien sind bereits üblich, allerdings nur zu geringen Anteilen. 100% sind bisher noch nicht erreicht worden. Die Anzahl der Recyclingzyklen soll auf ein Maximum ausgereizt werden, sodass das Material so oft wie möglich wiederverwertet wird, bevor es nicht mehr verarbeitbar ist.

Auch Up- und Downcycling spielen hierbei eine Rolle. Die Qualitätsmerkmale werden sich voraussichtlich nach den Wiederaufbereitungszyklen verändern, sodass es möglich und auch wünschenswert ist, das Material dann für Einsatzgebiete zu verwenden, die zu den Materialeigenschaften passen. So ist es zu Beispiel denkbar, dass ein Material, was minderwertig gegenüber der Neuware ist, weil es zu oft geschreddert wurde, dennoch ausreichend ist, um z. B. Dämmstoffe oder ähnliches daraus herzustellen. Damit wird vermieden, dass höherwertiges Material für Bauteile mit niedrigeren Anforderungen eingesetzt wird und gleichzeitig wird dafür gesorgt, dass möglichst viel Material wiederverwendet und wenig Neuware eingesetzt wird.

Um die Entwicklung „rund zu machen“ und die Verbreitung des Materials zu erhöhen, werden zudem auch die Oberflächendekore des Materials mit entwickelt, um auch in neuen Anwendungsgebieten mehr Akzeptanz zu erhalten.

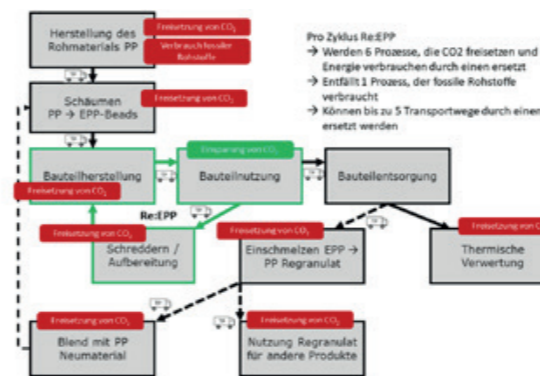


Abbildung 1: Darstellung der Kreisläufe von EPP-Material und des Einsparpotenzials

**TIGER**

**CHRISTIAN RUST, M.ENG.**



**GEWICKELTE THERMOPLASTISCHE EINLEGER**

Die Kunststoff-Spritzgießtechnik ist ein etabliertes Verfahren zur Herstellung von hochwertigen Formteilen in hohen Stückzahlen. Um den immer steigenden Anforderungen an die Bauteilqualität in den Bereichen der Maßhaltigkeit und Festigkeit gerecht zu werden, ist es notwendig, fortwährend Innovationen in diesem Bereich zu entwickeln.

In dem vorliegenden Projekt ist die Entwicklung eines einstufigen Produktionsprozesses von thermoplastisch spritzgegossenen Hybridbauteilen, basierend auf gewickelten thermoplastischen Halbzeugen, zur Herstellung hochpräziser und hochfester Connector-Bauteile das Ziel. Dieses soll mit einem Insert-Spritzgussprozess auf Basis des entwickelten Composite-Wickelhalbzeugs der Firma Inometa erreicht werden. Die gewickelten thermoplastischen Composite-Halbzeuge besitzen eine geringe Wanddicke von lediglich wenigen Zehntel Millimetern und zeichnen sich durch eine hohe maßliche Genauigkeit aus. Dadurch ergeben sich in der Industrie Potenziale für Bauteile, die sich bisher aus Gründen der Wirtschaftlichkeit nicht in Faserverbundbauweise fertigen ließen. Dies eröffnet die Möglichkeit, in bisher noch nicht angestrebten Produktbereichen entweder neue Leichtbauteile zu entwickeln oder konventionelle Bauteile zu ersetzen.

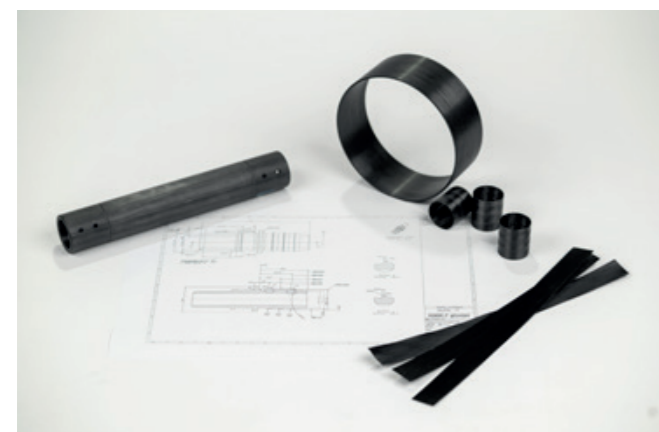


Abbildung 1: Zeichnung eines Connectorbauteil; gewickelte Halbzeuge; Tapematerial

Aufgrund der hohen Präzisionsanforderung an das Connector-Bauteil, muss eine Möglichkeit zur genauen Halbzeug einlegung in das Spritzgießwerkzeug sowie die entsprechende Halbzeugfixierung entwickelt werden. Der Einlegeprozess

muss dabei so ausgelegt werden, dass ein maschinelles, automatisiertes Einlegen in das Spritzgießwerkzeug realisierbar ist. Erst hierdurch kann der Prozess wirtschaftlich gestaltet werden. Zu diesem Zweck sind unterschiedliche Fixierungsmöglichkeiten zu entwickeln und versuchstechnisch zu erproben.

Für einen optimalen Haftverbund der Komponenten ist die Entwicklung von Haftvermittlersystemen zur Realisierung neuer Produktionsprozesse zur schnelleren und kostengünstigeren Produktion hochfester und hochpräziser Bauteile unumgänglich. Bei der Entwicklung ist die Reduzierung der notwendigen Prozessschritte auf ein Minimum zu fokussieren, um die Wirtschaftlichkeit des Verfahrens von Beginn an zu gewährleisten und somit den Aufwand für die spätere Markteinführung zu reduzieren und die Akzeptanz am Markt zu garantieren.

Die Weiterverarbeitung der gewickelten thermoplastischen Halbzeuge im Spritzgießprozess ermöglicht die Funktionsintegration, z. B. durch das Anspritzen von Schnapphaken. Zusätzlich kann dieses Verfahren genutzt werden, um das Gewicht einer Baugruppe durch partielle Substitution zu reduzieren. Durch die hohe Funktionsintegration, die Einsparung von Fertigungsschritten bzw. nachfolgenden Montageschritten und eine endkonturnahe Fertigung, ist mit dieser Technologie eine deutliche Verkürzung der Prozesskette und somit eine prägnante Erhöhung der Prozesswirtschaftlichkeit möglich.

**QUALODOROMAT**

**DIPL.-ING. JENS HÜNDORF**



**ENTWICKLUNG EINES GERÄTS ZUR GERUCHSBEWERTUNG VON KUNSTSTOFFEN**

Das ZIM-Kooperationsprojekt Qualodoromat (hervorgegangen aus dem ZIM-Netzwerk KI-MAPS) erforscht Methoden der automatisierten Geruchscharakterisierung von Kunststoffproben mit Hilfe von Künstlicher Intelligenz und Robotik.

Heutzutage werden Verprobungen von Kunststoffen, insbesondere bezüglich des Geruchs, manuell durch Experten durchgeführt. Hierfür sind sehr viel Erfahrung und auch Zeit notwendig. Neben der subjektiven Bewertung der Geruchseindrücke, stellen solche Geruchstests zum Teil eine hohe Belastung für die menschliche Nase dar. Weiterhin ist der gesundheitliche Aspekt nicht zu vernachlässigen, sowohl mit Blick auf die Inhaltsstoffe als auch den aktuellen Gesundheitszustand des Expertenteams. Dies führt zu eingeschränkten Testkapazitäten, da humansensorische Geruchstests nicht "am Fließband" realisierbar sind.

Hier setzt der Forschungsverbund aus dem Unternehmen Genie Enterprise, der gemeinnützigen KIMW Forschungs-GmbH und dem Umwelt-Campus der Hochschule Trier (Fachbereiche Umweltplanung/Umwelttechnik und umweltgerechte Produktionsverfahren & industrielle Robotik) an und fokussieren auf eine technische Lösung: die „Künstliche Nase“ für Kunststoffproben.



Abbildung 1: Geruchsprüfung einer Probe durch menschliches Geruchsempfinden

Basierend auf Sensormessungen von Kunststoffproben, die durch Experten der gemeinnützigen KIMW Forschungs-GmbH annotiert werden, erfolgt eine Modellierung von

Geruchsprofilen durch Genie Enterprise. Hierfür werden verschiedene aktuelle KI-Verfahren eingesetzt und adaptiert. Dadurch soll es gelingen, Kunststoffproben automatisiert in Geruchsprofile einzuordnen und daraus objektiv Geruchsnoten abzuleiten. Dies erfolgt in Übereinstimmung mit aktuell geltenden Normen und Standards (z. B. PV 3900 und VDA 270). Die Qualität der Ergebnisse soll mit den Resultaten, die mithilfe einer menschlichen Nase einer speziell trainierten Person erzielt wurden, vergleichbar sein.

Die Hochschule Trier übernimmt die Entwicklung eines Forschungsdemonstrators, welcher sowohl das Probenhandling als auch die sensorische Vermessung der Kunststoffe realisiert. Für die Geruchsmessungen wird eine Multi-Sensoreinrichtung entwickelt, die auf spezifische Anforderungen der Kunststoffe abgestimmt ist. Weiterhin werden robotische Komponenten für eine technische Vorbereitung und Zuführung der Proben adaptiert. Die Kombination aus Sensorsystem und Robotik erlaubt eine automatisierte Handhabung der Proben mit reduziertem manuellem Aufwand. Somit gelingt es, Kunststoffproben in größerer Menge und einer gleichbleibenden Bewertungs-Qualität zu vermessen. Gleichzeitig wird durch die Hochschule Trier, in Kooperation mit der gemeinnützigen KIMW Forschungs-GmbH und Genie Enterprise, eine Datenbank zur Aufzeichnung der Referenzdaten für die Kunststoffproben aufgebaut, die dann für das Training von maschinellen Lernverfahren verfügbar ist.

Weiterhin werden sich die Hochschule Trier und Genie Enterprise Aspekten der aktiven Sensorsteuerung widmen. Hier werden Verfahren des Adaptive and Behavioural Learnings auf die Adaption von Sensorparametern übertragen.

Durch das Zusammenwirken von KI-Verfahren, Sensoradaptionen, unterstützender Robotik und Expertenwissen aus der Geruchsprüfung, kann das ZIM-Kooperationsprojekt Qualodoromat ein objektives und performantes System für die Geruchsbewertung von Kunststoffen schaffen.

## QSCHAUM

**ALEXANDER PASKOWSKI, B.ENG.**

### INNOVATIVES PRÜFVERFAHREN FÜR GESCHÄUMTE KUNSTSTOFFBAUTEILE

Der Thermoplastschaumspritzguss wird immer häufiger bei der Herstellung technischer Formteile genutzt. In Zeiten steigender Energie- und Rohstoffkosten spielt dabei die Gewichtsreduktion während der Herstellung eine bedeutende Rolle. Auch die Möglichkeit der gezielten Beeinflussung von Bauteileigenschaften, wie Schwindung und Verzug, machen das Sonderverfahren hierbei so attraktiv für viele Hersteller. Ein produktionstechnischer Nachteil ist jedoch die Beurteilung der Qualität der Formteile. Oft lassen nur kostenintensive, optische Prüfmethoden oder eine Zerstörung der Bauteile eine Beurteilung der Qualitätskriterien zu.

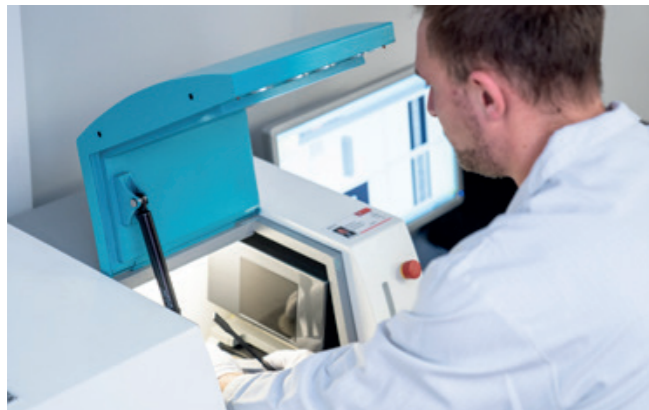


Abbildung 1: Mikro CT Analyse

Eine Abhilfemaßnahme wird derzeit im Projekt QSchaum erarbeitet. Ziel des Forschungsvorhabens ist die Bildung einer Korrelation zwischen Schaumstruktur (Blasengröße und Verteilung) und der schwingungstechnischen Eigenwerte der Formteile. Die Eigenfrequenzen und dabei entstehenden Amplituden sollen messtechnisch ermittelt werden und somit Rückschlüsse auf die Massen- und Steifigkeitsverteilung der Bauteile geben.

Durch die Analyse geschäumter Normprobekörper mittels des industriell etablierten Verfahrens MuCell, konnten die Zusammenhänge zwischen der Dichteverteilung und der Schwingungsanalyse gezogen werden. Die Ergebnisse wurden im nächsten Schritt in die Simulation eines komplexen Demonstrators übertragen und ein statistischer Versuchsplan abgeleitet, der den Massenunterschied im Bauteil abbildet.

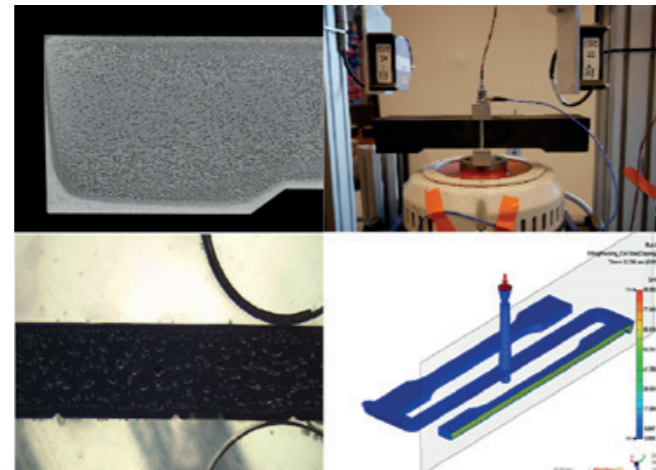


Abbildung 2: Bauteilanalyse

In der aktuellen Phase werden die produzierten Prototypenbauteile analysiert. Bei den Untersuchungen handelt es sich, wie in Abbildung 2 dargestellt um eine Kombination aus optischen und mechanischen Eigenschaften. Die Blasenstruktur und Dichteverteilung wird mittels Mikro CT, digitaler Auflichtmikroskopie und Massenauftrieb bestimmt. Zusätzlich dazu liefern der Verzug der gefertigten Teile und die Größe der kompakten Randschichten aus den Versuchsreihen die Grundlagen für die Definition der Simulation sowie Einspannung der Eigenwertanalyse. Neben den Eigenfrequenzen mittels Shakeruntersuchungen, wird die Steifigkeit über eine dynamisch-mechanische Analyse bestimmt. Bei der Überlagerung aller Messwerte kann somit die Gesamtstruktur bewertet werden. Nach der Optimierung der Analyseverfahren und der Anpassung der Messergebnisse auf die gewünschten Bauteileigenschaften steht der Industrie somit eine Messmethode für eine einfache, schnelle und zerstörungsfreie Qualitätskontrolle zur Verfügung.



## ÜBERSICHT ÖFFENTLICH GEFÖRDERTER PROJEKTE 2022

### BEREICH: MATERIALENTWICKLUNG

**Weitere Informationen:**  
**Vanessa Frettlöh, M.Sc.**  
**Tel.: +49 (0) 23 51.67 99-911**  
**frettlloh@kunststoff-institut.de**

#### CAP-BNP

Entwicklung innovativer biozider Nanopartikel zur Anwendung in der Kunststofftechnik

**Laufzeit:** 15.10.2018 bis 31.01.2022

**Förderkennzeichen:** 03INT505CA

**Fördermittelgeber:** BMBF

**Förderträger:** Projektträger Jülich

**Förderprogramm:** Internationalisierung von Spitzenclustern, Zukunftsprojekten und vergleichbaren Netzwerken

**Projektleiter:** Vanessa Frettlöh, M.Sc.

#### FlamZation

Flammschutzausrüstung von Funktionsstoffen; Materialentwicklung von flammgeschützten Materialsystemen auf Basis von polaritätsangepassten, silanisierten Funktionsstoffen

**Laufzeit:** 01.01.2020 bis 31.05.2022

**Förderkennzeichen:** ZF4586709EB9

**Fördermittelgeber:** BMWK

**Förderträger:** AiF Projekt GmbH

**Förderprogramm:** ZIM-ZF – Kooperationsprojekt

**Projektleiter:** Dr.-Ing. Angelo Librizzi

Die genannten Forschungsvorhaben werden unterstützt durch:



**Bundesministerium für  
Wirtschaft und Klimaschutz  
(BMWK)**



**Bundesministerium für  
Bildung und Forschung  
(BMBF)**

CAP-BNP

VANESSA FRETTLÖH, M.SC.

INNOVATIVE BIOZIDE NANOPARTIKEL FÜR DIE KUNSTSTOFFTECHNIK

Erhöhte Werkstoffanforderungen richten den Fokus der Entwicklung auf neuartige Funktionalitäten, wie biozide Wirkungen, die unter anderem durch Eigenschaftsänderungen im nanoskaligen Bereich erreicht werden können. Kunststoff nehmen hier eine Sonderrolle ein, da sie für Verpackungen, technische Bauteile und medizinische Anwendungen in großen Mengen verarbeitet werden. Wird der Kunststoff mit bioziden Partikeln oder Wirkstoffen funktionalisiert, die oberflächennah wirken, so kann eine Keimbildung auf den Bauteiloberflächen unterdrückt oder bei späteren klinischen Anwendungen ausgeschlossen werden. Im Rahmen des Projektes arbeitete das deutsch-französische Konsortium an der Entwicklung und Weiterentwicklung von antibakteriellen Nanopartikeln, die in Kunststoffe eincompoundiert und in Lacke eingearbeitet werden können, um die Oberflächen von Kunststoffbauteilen mit biozider Wirksamkeit auszustatten. Dabei wurde die Verwendung passiv wirkender biozider Partikel fokussiert. Die verwendeten Wirkstoffe töten die Mikroorganismen nicht aktiv ab oder greifen in den Zellmetabolismus ein, sondern sorgen für ein bakterienfeindliches Milieu, indem sie z. B. eine saure oder alkalische Umgebung erzeugen.

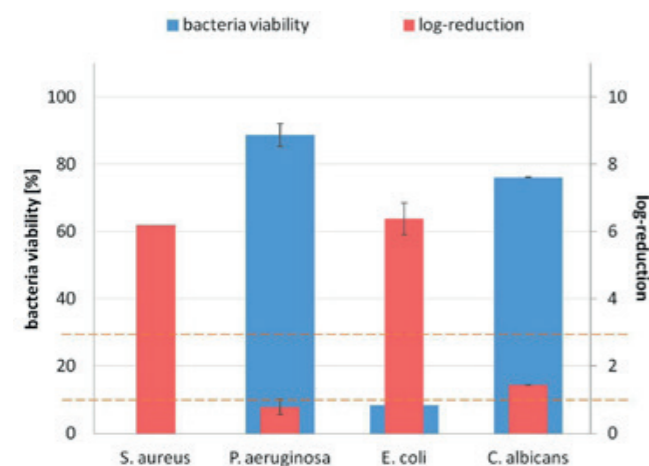


Abbildung 1: antibakt. Eigenschaften mit finaler Nanopartikelmischung (Quelle: Hautklinik Jena)

Die bioziden Nanopartikel (Übergangsmetalloxide, wie Zinkoxid, Kupferoxid, Ceroxid) wurden durch Hydrothermalsynthese hergestellt und in verschiedene Kunststoffe und Lacke eingearbeitet. Durch Lackieren der Bauteile bzw. durch Verarbeitung der bioziden Compounds mittels Spritzguss

und Kalandrieren wurden Bauteile hergestellt, an denen dann die biozide Wirksamkeit durch klinische Tests (Kontaktmethode JIS L 1902:2008) analysiert wurde. Iterativ wurde so die Zusammensetzung der bioziden Nanopartikel angepasst und die bioziden Eigenschaften optimiert. Die biozide Wirksamkeit der hergestellten Nanopartikel sowie der Bauteiloberflächen konnte final bei allen Verfahren nachgewiesen werden. Die Ausprägung der Eigenschaft war jedoch unterschiedlich. Durch DSC-Analysen wurde ermittelt, dass die Nanopartikel keine signifikante Änderung der thermischen Eigenschaften des Compounds hervorrufen. Die finale Nanopartikelmischung aus Kupferoxid, Zinkoxid und Ceroxid zeigte in ABS-Compounds gute biozide Eigenschaften (Abbildung 1), sowohl gegenüber verschiedenen Bakterienstämmen als auch gegenüber dem Hefepilz C. albicans. In klinischen Tests mit menschlichen Hautzellen wurde auch eine hohe Biokompatibilität des Compounds nachgewiesen (Abbildung 2). Das unter Verwendung der gleichen Nanopartikelmischung hergestellte PVC-Compound zeigt ebenfalls gute biozide Wirksamkeiten, allerdings sind die Proben zytotoxisch. Final wurde ein Telefongehäuse aus einem PC-Compound mit bioziden Nanopartikeln hergestellt, dessen Oberfläche in den anschließenden Tests auch eine deutliche biozide Wirkung zeigte.

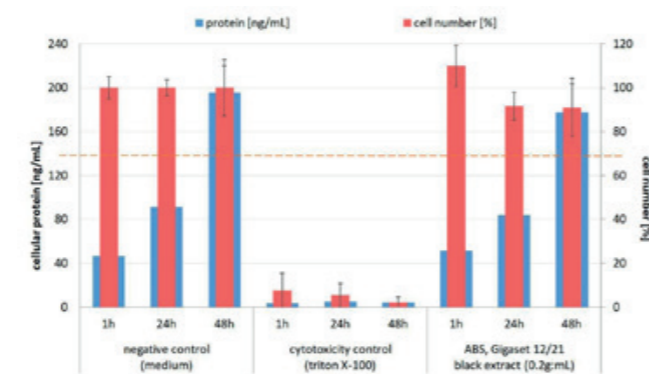


Abbildung 2: Analyse Biokompatibilität (Quelle: Hautklinik Jena)



FLAMZATION

DR. ANGELO LIBRIZZI

FLAMMSCHUTZ DURCH POLARITÄTSANGEPASSTE SILANISIERUNG VON FUNKTIONSTOFFEN

Nachhaltige halogenfreie Flammschutzlösungen für elektronische Geräte, den Bausektor und die Automobilindustrie beinhalten wichtige Potenziale für die Werkstoffentwicklung in der heutigen Zeit. Insbesondere die fortschreitende Mobilitätswende fordert neue Sicherheitsaspekte, wie Brandschutzlösungen, die über die Funktionsintegration der eingesetzten Werkstoffe absolviert werden müssen. An erster Stelle steht die toxologische Unbedenklichkeit der eingesetzten Flammschutzmittel. Derzeit eingesetzte halogenfreie Flammschutzmittel auf Stickstoff- oder Phosphorbasis können diese Aufgabe erfüllen, häufig jedoch nicht ohne andere wichtige mechanische Materialeigenschaften negativ zu beeinflussen. Die Forschungsgruppe beschäftigte sich im Projekt FlamZation mit neuartigen polaritätsangepassten Oberflächenmodifikationen für Füllstoffe, um den Flammschutz direkt auf die Oberfläche der Funktionsstoffe zu applizieren. Der Vorteil liegt in der Reduzierung der Anzahl von Phasenübergängen und der zusätzlich optimierten Kompatibilität der Füllstoffe zum Polymer.

Im Fokus des Projekts stand zunächst die Synthese der Flammschutzsysteme, die sowohl auf Glaskugeln, Holzmehl und auch Aluminiumhydroxyd Al(OH)<sub>3</sub> abgestimmt werden sollte. Durch Kleinstversuche konnte mittels analytischer Verfahren die erfolgreiche Flammschutzwirkung im Polymer nachgewiesen werden. Eine weitere Aufgabe im Projekt beinhaltete die verarbeitungstechnische Bewertung herkömmlicher Verarbeitungsverfahren mittels der Compoundiertechnologie. Für die Compoundierung standen der Projektgruppe sowohl die herkömmliche Doppelschneckenextrusion wie auch die Planetwalzenextrusion zur Verfügung. Ziel war es, den funktionalisierten Füllstoff mit möglichst wenig Scherenergie in die Polymermatrix einzuarbeiten. Die Planetwalzenextrusion ist aufgrund des mehrwelligen Aufbaus für die besonderes schonende Verarbeitung bekannt. Innerhalb des Projekts konnten erstmalig Verarbeitungsuntersuchungen auch an höherwertigen Polymeren PA6.6 bei Verarbeitungstemperaturen von 300 °C durchgeführt werden. Durch die industriennahe Durchführung innerhalb des Projekts sollten Erkenntnisse für eine anschließende Markteinführung gesammelt werden. Innerhalb des Konsortiums konnten erste Feldversuche im industriellen Umfeld durchgeführt und während einer Bauteilmusterung im Hause Weidmüller ein Anwendungsbauteil im Spritzgießen gemustert werden. Ein besonderer Fokus lag hier auf einem PA6.6 mit 30% modifiziertem Glaskugelanteil, der im Benchmark zu einem

eingesetzten Serienmaterial gesetzt wurde. Innerhalb der Untersuchungen konnte ermittelt werden, dass die Kerbschlagzähigkeit der neuen Modifikation bei gleichem Glaskugelanteil gegenüber einem Compound mit zusätzlichem Flammschutzmittel verdoppelt werden konnte.

Allerdings wurde im direkten Vergleich des Serienmaterials die angestrebte UL94 V-0 Klassifizierung noch nicht erreicht. Zudem zeigte sich, dass ein serienmäßiges Up-Scaling der Modifikation für den industriellen Großmaßstab, aufgrund des zeitintensiven Synthese- und Beschichtungsprozesses, noch Entwicklungspotenzial bietet.

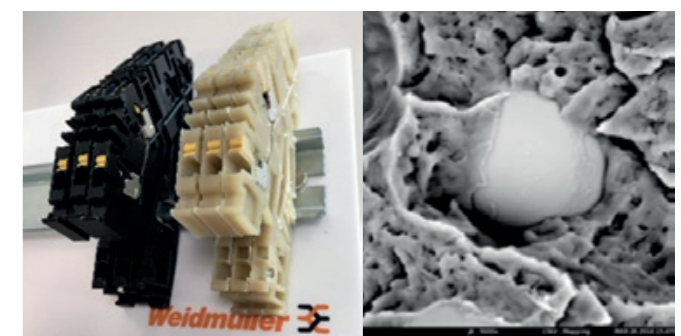


Abbildung 1: Links: Anwendungsbauteil der Fa. Weidmüller: links Serienmaterial, rechts neue Entwicklung; Rechts: Glaskugel in Polymermatrix

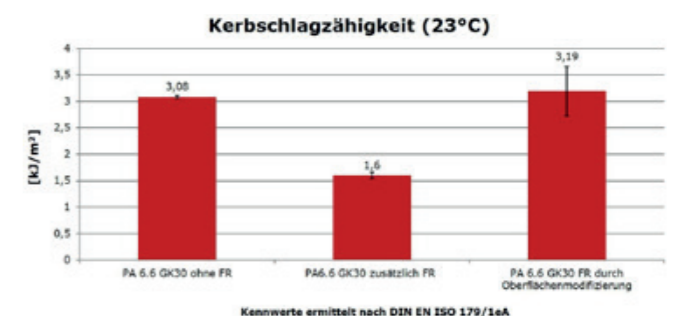


Abbildung 2: Kerbschlagzähigkeit am Beispiel PA6.6 mit 30% Glaskugelfüllung



## ÜBERSICHT ÖFFENTLICH GEFÖRDERTER PROJEKTE 2022

### BEREICH: WERKZEUGTECHNIK

**Weitere Informationen:**  
**Dr.-Ing. Angelo Librizzi**  
**Tel.: +49 (0) 23 51.10 64-134**  
**librizzi@kunststoff-institut.de**

#### RepMetalMold

Replicated Metal Molds: Ein neues Verfahren zur Herstellung metallischer Werkzeugeinsätze für optische Kunststoffbauteile

**Laufzeit:** 01.09.2019 bis 31.12.2022  
**Förderkennzeichen:** ZF4586706EB9  
**Fördermittelgeber:** BMWK  
**Förderträger:** AiF Projekt GmbH  
**Förderprogramm:** ZIM-ZF – Kooperationsprojekt  
**Projektleiter:** Dr. rer. nat. Andreas Balster

#### Sub-Mi-T

Ein neues Verfahren zur Herstellung metallischer Werkzeuge mit Strukturauflösung im Nanometerbereich

**Laufzeit:** 01.10.2022 bis 30.09.2025  
**Förderkennzeichen:** KK5023115KX2  
**Fördermittelgeber:** BMWK  
**Förderträger:** AiF Projekt GmbH  
**Förderprogramm:** ZIM FuE-Kooperationsprojekt  
**Projektleiter:** Alexander Paskowski, B.Eng.

#### TemPor

Optimierte Entlüftung von Spritzgießwerkzeugen durch zyklisch hochtemperierte poröse Werkzeugeinsätze

**Laufzeit:** 01.07.2021 bis 30.06.2023  
**Förderkennzeichen:** KK5023106KX1  
**Fördermittelgeber:** BMWi  
**Förderträger:** AiF Projekt GmbH  
**Förderprogramm:** ZIM FuE-Kooperationsprojekt  
**Projektleiter:** Dipl.-Ing. Matthias Militsch

Die genannten Forschungsvorhaben werden unterstützt durch:



**Bundesministerium für  
Wirtschaft und Energie  
(BMWi)**



**Bundesministerium für  
Wirtschaft und Klimaschutz  
(BMWK)**

## REPMETALMOLD

### DR. ANDREAS BALSTER

#### METALLISCHE WERKZEUGEINSÄTZE FÜR OPTISCHE BAUTEILE

In dem Gemeinschaftsprojekt Replicated Metal Molds arbeitet die gemeinnützige KIMW Forschungs-GmbH zusammen mit dem Institut für Mikrosystemtechnik (IM-TEK) der Universität Freiburg, der polyoptics GmbH aus Kleve und der 4D Concepts GmbH aus Groß-Gerau daran, Werkzeugeinsätze für optische Strukturen durch bedarfsgesteuerte Abformung von einer Glaspatrize herzustellen. Dabei wird aus einem Compound aus einem Silikatglas und einem Polymeranteil, GLASSOMER® genannt, ein skaliertes Modell angefertigt, welches theoretisch beliebig oft mithilfe niedrigschmelzender Legierungen in einen Werkzeugeinsatz überführt werden kann.

Das dritte und letzte Projektjahr diente nach dem Proof of Concept der Überprüfung der Praxistauglichkeit, die in Langzeittests unter Verwendung von angefertigten Abgüssen unter Beweis gestellt werden sollte. Die Forschungsstelle entwarf dazu ein modulares Spritzgießwerkzeug, welches gleichzeitig vier Strukturträger aus unterschiedlichen Materialien aufnehmen konnte, die dann jeweils einer definierten Schusszahl ausgesetzt wurden. Als Demonstratorstruktur diente eine Mehrfach-Fresnellinse mit bekannten Abmessungen und überprüfbarer Funktion. Als Funktions- und Beständigkeitskriterium der Struktur sollte die Abweichung eines durch die spritzgegossenen Muster generierten Abbilds dienen; der Strahlengang korrekter und „abgenutzter“ Bauteile sollte dabei von polyoptics mittels Raytracing am Computer simuliert werden.

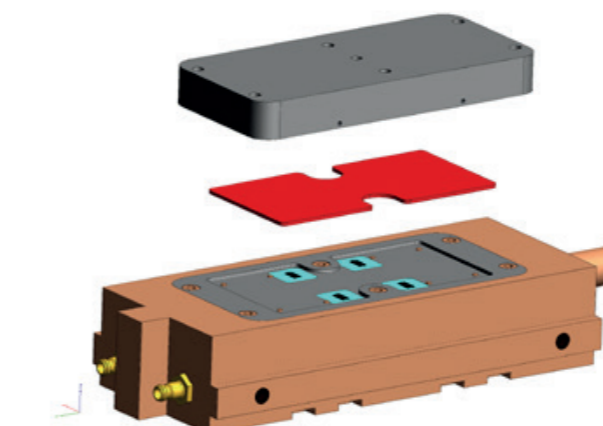


Abbildung 1: Werkzeugeinsatz mit vier Aufnahmen (blau)

Als niedrigschmelzende Legierungen wurden Messing (CuZn), Bronze (CuSn, 10% Zinnanteil) und Kobalt-Chrom (CoCr) ausgewählt. Zusätzlich wurde ein Einsatz untersucht, bei dem das Messing mit einer Nickelschicht von 30 µm Dicke galvanisiert wurde. Um ein realistisches Belastungsszenario aufzubauen, wurde das für optische Anwendungen häufig verwendete PMMA mit einem abrasiv wirkenden Füllstoff mit sukzessiv ansteigender Konzentration (0, 10, 20 und 40 %) ausgestattet. Die Wahl fiel dabei auf ein für PMMA präpariertes TiO<sub>2</sub> des Anbieters Kronos International, Inc. (Typ 2220) mit Partikelgrößen von unter 350 nm, welches in Lüdenscheid in das von der polyoptics GmbH zur Verfügung gestellte PMMA eincompoundiert wurde.

Die Resultate aus den Versuchen bestätigen, dass die Einsätze jeweils die Erwartungen an die Verschleißfestigkeit nicht enttäuschen. Die untersuchten Einsätze zeigten jedoch auch die derzeitigen Grenzen des angestrebten Prozesses auf. Während es bei Fresnellinsen auf die Kantenschärfe der Teillinsen ankommt, führt die Schwindung des Glassomers® zu eher abgerundeten Strukturen. Des Weiteren gestaltet sich der Prozessschritt des Abgießens der Metalllegierung bei steilen Flankenwinkeln als problematisch, da die Metallschmelze im Zuge ihrer thermischen Kontraktion auf die Patrize aufschwindet und nur schwer entformt werden kann. Da es je nach Metalllegierung zusätzlich zu einer mehr oder weniger starken Anhaftung des Einsatzes an der Glasvorlage kommt, kommt es zu partiellen Ausbrüchen des Glassomers® und entsprechenden Rückständen in den Vertiefungen der Fresnelstruktur, die nicht zerstörungsfrei entfernt werden können und zu Fehlfunktionen der Optik führen. Als Fazit lässt sich festhalten, dass die Technik wirtschaftlich reizvoll ist, jedoch auf eine passende Anwendung hin individuell angepasst werden muss.





**SUB-MI-T**

**ALEXANDER PASKOWSKI, B.ENG.**



**NEUES VERFAHREN ZUR ABBILDUNG NANOSTRUKTURIERTER WERKZEUGE**

Submikrometerstrukturierte Oberflächen werden für Bauteile und Produkte in verschiedenen Anwendungsbereichen immer wichtiger. Von der Sensortechnik und Optik bis hin zur Funktionalisierung alltäglicher Produkte ermöglichen Submikrometer-Strukturen die gezielte Manipulation von Licht, Farbvielfalt ohne Farbstoffe sowie wasser- und lösungsmittelabweisende, antibakterielle oder nicht reflektierende Oberflächen. Insbesondere im Bereich der Optik haben sogenannte diffraktive optische Elemente (DOEs) mit Strukturen im Submikrometerbereich in den letzten Jahren signifikant an Bedeutung gewonnen. DOEs ermöglichen die Herstellung kompakter optischer Systeme bei geringem Materialeinsatz und reduzierter Bauteilgröße, welche früher aus einer Vielzahl von Linsen aufgebaut werden mussten. DOEs kommen bei der Miniaturisierung optischer Systeme von der Consumer Elektronik über den Automotive Sektor bis hin zu Endoskopen in der minimalinvasiven Chirurgie eine Schlüsselrolle zu. Um die Konkurrenzfähigkeit von produzierenden Unternehmen im Bereich der Submikrometer- und Nanostrukturierung, sowie der Herstellung von Spritzgusswerkzeugen für Bauteile mit entsprechend strukturierten Oberflächen signifikant zu stärken, sind neuartige Lösungsansätze notwendig.

Im Rahmen des vorausgegangenen ZIM-Projektes Rep-MetalMold wurde erstmals ein solches Verfahren zur Herstellung makroskopischer Formwerkzeuge aus Metall entwickelt. Hierbei kamen Formkörper aus Quarzglas zum Einsatz, welche mittels eines Metallgussprozesses in Metalle wie Messing, Bronze oder Cobalt-Chrom kopiert werden konnten. Der entwickelte Prozess eignet sich bislang jedoch nur zur Herstellung von Strukturen im Bereich weniger 10 µm.

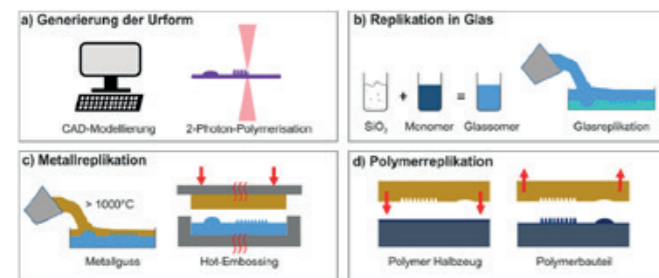


Abbildung 1: Verfahrensablauf Sub-Mi-T

Im Rahmen des Projektes Sub-Mi-T soll daher das entwickelte Verfahren zur Herstellung von Formwerkzeugen mit Strukturdetails im Submikrometerbereich weiterentwickelt werden. Das zu entwickelnde Verfahren ist in Abbildung 1 dargestellt. Die formdefinierende Urform wird im ersten Schritt mittels 2-Photon-Polymerisation in einem Photoresist hergestellt. Hierzu wird ein neues Verfahren zur schnellen und kostengünstigen Herstellung von Strukturen im Submikrometerbereich angewandt und im Rahmen dieses Projektes weiterentwickelt.

Die Urform wird im zweiten Schritt mit der sogenannten Glassomer® Technologie in ein hochtemperaturstabiles Quarzglas mit Strukturgrößen von wenigen 100 nm umkopiert. Bei diesem Prozess werden flüssige oder thermoplastische Nanokomposite eingesetzt, die aus Quarzglasnanopulvern in einer Kunststoffbindermatrix bestehen. Quarzglas besteht zu 99.99 vol% aus amorphem Siliziumdioxid und weist eine herausragende Temperaturstabilität und Temperaturschockresistenz auf.

Die Quarzglasformen werden anschließend mittels eines Metallguss- oder Metallprägeverfahrens in eine metallische Struktur umkopiert, die das eigentliche Formwerkzeug darstellt. Diese Metallform ist das eigentliche Formwerkzeug, das anschließend für die Polymerreplikation eingesetzt wird. Ziel ist es, eine Masterstruktur in optischer Qualität und mit strukturierter Oberfläche im additiven Fertigungsverfahren zu erzeugen und in ein funktionsfähiges Formwerkzeug umzuwandeln, welches dann unter Realbedingungen im industriellen Spritzguss qualifiziert werden kann.

**TEMPOR**

**DIPL.-ING. MATTHIAS MILITSCH**



**OPTIMIERTE ENTLÜFTUNG VON SPRITZGIESSWERKZEUGEN**

Bei der Spritzgießverarbeitung von Kunststoffen wird ein Formhohlraum mit Kunststoffschmelze gefüllt. Dies geschieht sehr schnell und mit hoher Fließgeschwindigkeit. Beispielsweise wird die Form einer kleinen haushaltsüblichen Frischhaltebox in unter einer Sekunde mit der Kunststoffschmelze gefüllt. Während dieser Füllphase muss gewährleistet sein, dass die im Formhohlraum befindliche Luft über dünne Spalten aus dem Werkzeug entweichen kann. Ist dies nicht der Fall, kommt es zu Fehlern an den Formteilen, wie z. B. Unterfüllungen, Blasen oder Dieseeffekten und im Werkzeug zu erhöhtem Verschleiß und Belagbildungen. Zur Kaschierung dieser Fehler können die Spritzgießparameter nicht mehr optimal eingestellt werden. Eine Formfüllung ohne Entlüftungen benötigt beispielsweise den vielfachen Fülldruck eines optimal entlüfteten Formteils.



Abbildung 1: Dieseeffekt durch unzureichende Werkzeugentlüftung

Im Projekt TempOr wird nun eine Entlüftungseinheit entwickelt, die für die in der Kavität befindliche Luft durchlässig ist, jedoch nicht für den Kunststoff. Sinterporöse Einsätze sind bereits auf dem Markt und keine Neuheit. Ihr Problem ist jedoch, dass sie sich mit der Zeit zusetzen. Bei der Verarbeitung von Kunststoffen kann es je nach Materialtyp zu Zersetzungen kommen, die sich dann als Schicht in den Entlüftungen ablagern, bis keine Luft mehr hindurchgelassen werden kann. Der zu entwickelnde Entlüftungseinsatz bietet die Möglichkeit, die Ablagerungen zu entfernen. Die Aufbaustrategie des Einsatzes wird ohne Entlüftungsfunktion in einem vorhandenen Spritzgießwerkzeug untersucht. Potentielle Ablagerungen werden aufgefangen und nach

der Produktion untersucht. Damit werden Erkenntnisse für den späteren Demonstrator in Bezug auf die Generierung der Struktur gesammelt. Es muss sichergestellt sein, dass die Luft aus der Kavität unter geringem Druck entweichen kann und der eingespritzte Kunststoff nicht in die Struktur eindringt. Eine weitere Zielsetzung ist, dass die Struktur auf der Formteiloberfläche keine auffälligen Markierungen hinterlässt und sich in die vorhandene Oberflächenstruktur, z. B. durch eine Strichpolitur oder einen Erodierprozess, einfügt. Der Luftdurchlass wird in einer Prüfvorrichtung validiert. Zur Abschätzung der angedachten Funktionen werden eine Reihe von Simulationen durchgeführt. Eine thermische Simulation betrachtet die Auswirkungen auf das Werkzeug und dessen Temperaturverteilung in der Kavität. Eine Spritzgießsimulation gibt Auskunft über die Wirksamkeit der Entlüftung, bzw. vergleicht verschiedene Entlüftungskonzepte miteinander. Die Erkenntnisse werden für die Auslegung des Versuchswerkzeuges genutzt. Der Demonstrator wird dann in Spritzgießversuchen getestet und optimiert. Hierfür sollen verschiedene Materialien zum Einsatz kommen, bei denen die Gefahr von Ablagerungen besonders hoch ist, z. B. Materialien mit Flammschutzadditiven.

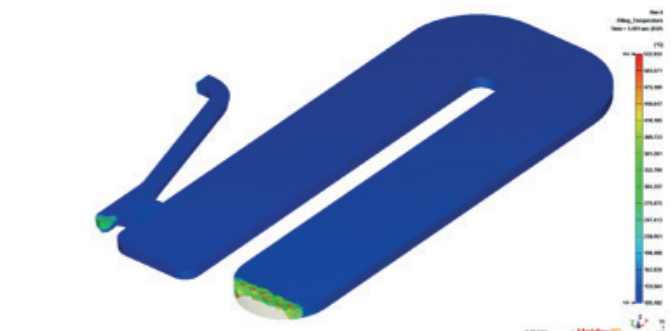


Abbildung 2: Entlüftungssimulation

**VORLAUFFORSCHUNG**

ÜBERSICHT DER VORWETTBEWERBLICHEN EIGENFORSCHUNGSPROJEKTE

**SiO<sub>2</sub>-Schichten**

Applikation von SiO<sub>2</sub>-Schichten zum Schutz vor Oxidation  
**Projektleiter:** Dr. Anatoliy Batmanov

**Metalldirekteinspritzen**

Anlagenentwicklung zum Metalldirekteinspritzen  
**Projektleiter:** Jan-Ole Maras, M.Sc.

**Precursorherstellung**

Synthese von Metallcarbonylen  
**Projektleiter:** Dipl.-Ing. Frank Mumme

**Plasma**

Plasma gestützte CVD-Prozesse (PECVD)  
**Projektleiter:** Patrick Engemann, M.Sc.

**Selbstheilung PUR**

Untersuchung des Selbstheilungseffektes auf PUR-Schichten  
**Projektleiter:** Dr. Mohamed Mahmoud, Katharina Prammer, B.Eng.

**ABSCHIEDUNG VON SiO<sub>2</sub>-SCHICHTEN, TEOS-PROZESS**

**DR. ANATOLIY BATMANOV**

APPLIKATION VON SiO<sub>2</sub>-SCHICHTEN ZUM SCHUTZ VOR OXIDATION

Verschiedene Beschichtungen können auf Spritzgusswerkzeugen appliziert werden, um die Funktionalität und Lebensdauer der Werkzeuge sowie die Effizienz des Spritzgussprozesses zu erhöhen. Herkömmliche Werkzeugstähle (1.2311, 1.2343 usw.) sind meist korrosionsanfällig. Aus diesem Grund sollte der Beschichtungsprozess bei niedrigen Temperaturen realisiert werden. Zwei grundsätzliche Methoden zur Abscheidung dünner Schichten sind das PVD (Physical Vapor Deposition) Verfahren und die CVD (Chemical Vapor Deposition) Technologie. PVD-Prozesse können bei niedrigen Temperaturen durchgeführt werden. Die Nachteile der PVD-Technik sind jedoch das sehr kleine Aspektverhältnis der Schicht in Spalten sowie die komplexe Ausrüstung und Bedienung.

Die CVD-Abscheidung bietet ein hohes Aspektverhältnis, eine gute Dickengleichmäßigkeit und eine konturkonforme Abdeckung. Herkömmliche CVD-Methoden, wie Atmosphärendruck-CVD (APCVD) und Niederdruck-CVD (LPCVD), sind jedoch Hochtemperaturverfahren und eignen sich daher nicht für die Abscheidung auf temperatur- und oxidationsempfindlichen Stählen. Außerdem verwenden sie in der Regel Silan SiH<sub>4</sub> als Vorläufer, das explosiv und giftig ist. Plasmaunterstützte CVD (PECVD) und Atomlagenabscheidung (ALD) erfordern komplexere Anlagen und eignen sich nicht für die Beschichtung großflächiger Substrate mit komplexer 3D-Geometrie. Die metallorganische CVD (MOCVD) bietet durch den Einsatz von metallorganischen Vorläuferverbindungen, die sich in-situ zersetzen, die Möglichkeit, Beschichtungen bei deutlich reduzierten Temperaturen durchzuführen. Dennoch liegt die Prozess Temperatur für diese CVD-Abscheidung der funktionalen Schichten noch über 300 °C. Deswegen wird an der KIMW-F zunächst eine SiO<sub>2</sub> Beschichtung bei niedrigen Temperaturen auf die Werkzeugoberflächen aufgebracht. Diese dünnen Schichten werden ebenfalls in einem CVD-Prozess abgeschieden. Dazu wird Tetraethylorthosilikat (TEOS) als flüssiger chemischer Vorläufer verwendet. Herkömmliche thermische TEOS-Reaktionen erfordern jedoch Temperaturen von mehr als 600 °C. Eine Kombination aus Ozon und TEOS bei höherem Druck ermöglicht die Abscheidung von SiO<sub>2</sub> Schichten bei niedrigen Temperaturen (100-400 °C) mit ausgezeichneter 3D-Fähigkeit und Oberflächenkonformität, geringer Schichtspannung und sehr geringer Partikelbildung während der Abscheidung.

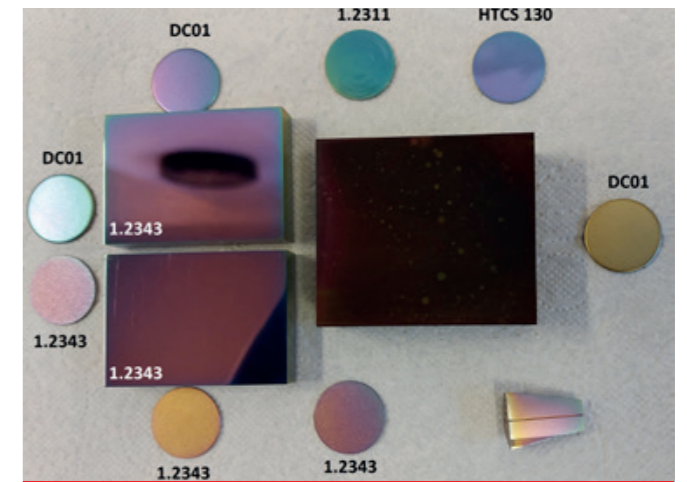


Abbildung 1: SiO<sub>2</sub>-Beschichtung auf Proben aus verschiedenen Stählen

Die SiO<sub>2</sub> Schichten wurden mittels elektrochemischer Impedanzspektroskopie (EIS) untersucht. Innerhalb der ersten 24 Stunden zeigt die Schicht keine Änderung in der Impedanz und im Phasenwinkel, was auf niedrige Porosität und damit auf eine sehr dichte Schicht hinweist.

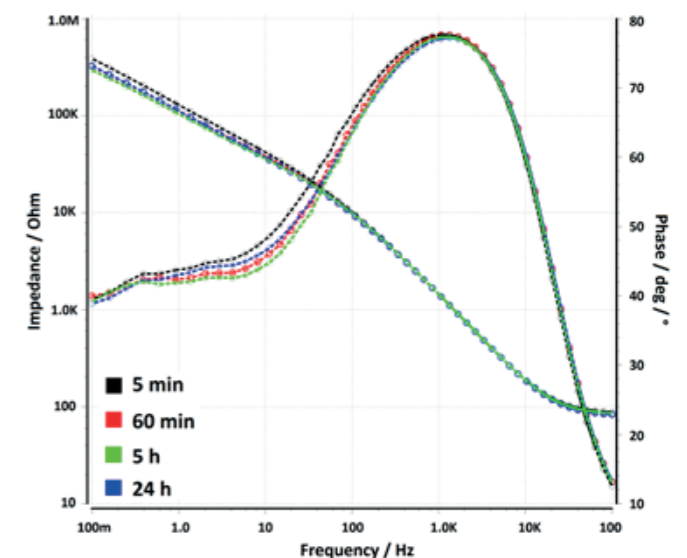


Abbildung 2: EIS-Messergebnisse der SiO<sub>2</sub> Schicht auf 1.4301 Stahl

## PRECURSORHERSTELLUNG

DIPL.-ING. FRANK MUMME

### SYNTHESE VON METALLCARBONYLEN

Für die MOCVD Abscheidung von Wolfram-, Chrom- oder Molybdänschichten können die jeweiligen Metallcarbonyle als Precursoren verwendet werden. Verglichen mit der Synthese aus halogenierten Metallverbindungen, ist die Prozess-temperatur reduziert und korrosiv wirkende Reaktionsprodukte werden nicht in den Schichtaufbau integriert. Aufgrund der veränderten Weltlage und eingeschränkter Lieferketten, ist die Versorgung mit unterschiedlichen Rohstoffen sehr stark reglementiert oder nicht mehr gegeben. Dieses gilt auch für viele metallorganische Verbindungen der Metalle Wolfram und Molybdän. Die Forschungsstelle hat aus diesem Grund eine eigene Carbonylsynthese aufgebaut und damit begonnen die Versorgung der von der Forschungsstelle unterhaltenen Forschungsprojekte sicherzustellen.



Abbildung 1: Precursorsynthese mittels Autoklaventechnik

#### Entwicklung Autoklavenprozesstechnologie

Die Prozessierung der Herstellung von Metallcarbonylen wurde in den 30er bis 50er Jahren des 20. Jahrhunderts beschrieben. Verschiedene Literaturquellen berichten über mögliche Wege die gewünschten Metallcarbonyle mit mehr oder weniger hoher Ausbeute herstellen zu können.

Wesentlich ist die Verwendung eines Autoklaven, der bei erhöhtem Druck und erhöhten Temperaturen die Reaktion von Metallchloriden mit Kohlenmonoxid ermöglicht.

Die Entwicklung und Herstellung der entsprechenden Autoklaventechnik wurde durch die KIMW-Forschungsstelle durchgeführt. Für eine sichere Betriebsführung, hohe Reinheit und Ausbeute waren langwierige und aufwendige Untersuchungen der Reaktionskinetik notwendig. Insbesondere wurde ein Verständnis für den Einfluss der Reaktorgeometrie und der dynamischen Reaktionsführung entwickelt, so dass eine Ausbringung von ca. 100 g Metallcarbonyle am Tag mit einer Ausbeute von 90 – 100 % realisiert werden kann.

Die in der Forschungsstelle entwickelte Aufbereitung von Metall-Hexacarbonyl mittels Umkristallisierung, ermöglicht den Einsatz dieser pulverförmigen Precursoren in dem von der Forschungsstelle verwendeten Feststofffördersystem.

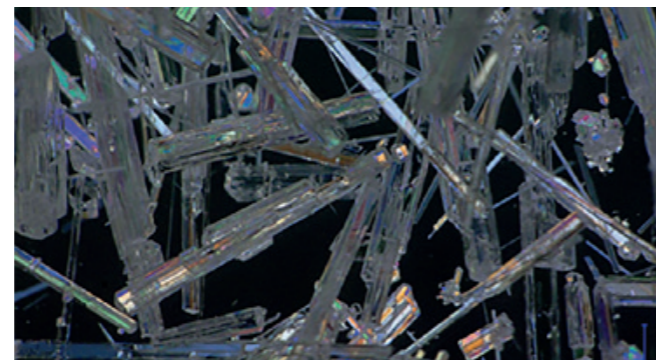


Abbildung 2: umkristallisierte  $W(CO)_6$ -Kristalle

#### Weiterentwicklung der Precursorsynthese

Für die Anpassung der Precursoren an die CVD- Prozessanforderungen werden zukünftig weitere Entwicklungen durchgeführt, die zu einer optimalen Verdampfung und verbesserten Schichtabscheidung an komplexen Geometrien beitragen sollen.

## REMOTE PLASMA

PATRICK ENGEMANN, M.SC.

### PLASMA GESTÜTZTE CVD-PROZESSE (PECVD)

Durch den Einsatz einer Plasmaquelle erweitern sich die bisherigen Möglichkeiten der aktuellen Beschichtungstechnik an der KIMW-F. Die Nutzung der Plasmaquelle im Beschichtungsprozess führt dazu, dass die bislang notwendige Beschichtungstemperatur des CVD-Prozesses (Chemical Vapor Deposition) abgesenkt werden kann. Für die Plasmaerzeugung wurde eine CVD-Anlage mit einer Mikrowellenplasmaquelle ausgestattet, die über eine maximale Leistung von 1250 W verfügt. Die Steuerung der Plasmaquelle wurde für die Prozesse in die Anlagensteuerung eingebunden. Dies ermöglicht nicht nur die Beschichtung von temperaturempfindlichen Werkzeugen, sondern auch das Beschichten von Kunststoffformteilen. Der Betrieb der CVD-Anlage ist auch mit montierter Plasmaquelle weiterhin als Heißwandreaktor für die MOCVD Beschichtungen möglich. Im Fokus der derzeitigen Untersuchungen stehen dabei die Möglichkeiten der Herstellung von  $SiO_2$ -Beschichtungen auf Kunststoffoberflächen, die in der Praxis als Barrierschichten Anwendung finden. Mit Hilfe der glasartigen  $SiO_2$ -Beschichtungen lässt sich beispielsweise die Durchlässigkeit des Kunststoffes gegenüber Gasen reduzieren. Als Substratmaterial wurde für die bisherigen Untersuchungen eine Polycarbonatfolie verwendet. Darüber hinaus kann die angeschlossene Plasmaanlage zur Reinigung der Substratoberfläche in der Beschichtungsanlage verwendet werden, um die Schichthaf-tung auf dem Substrat zu verbessern. Hierbei reagieren die erzeugten Gasionen mit der auf der Oberfläche befindlichen Verunreinigung, die dadurch in die Gasphase überführt, durch den kontinuierlichen Gasstrom abgeführt und durch die am Reaktor angeschlossene Vakuumpumpe abgesaugt werden kann. Da dieser Vorgang ohne Zugabe von Flüssigkeiten stattfindet, spricht man bei dem Prozess vom Trockenätzen. In Rahmen weiterer Untersuchungen soll der Schichtaufbau sowie die Haftung auf der Substratoberfläche bei möglichst geringen Prozess-temperaturen weiter analysiert und optimiert werden. Hierfür werden unter anderem die Möglichkeiten der Vorbehandlung der Substratoberfläche mittels Plasma stärker hinterleuchtet. Darüber hinaus werden unterschiedliche Kombinationen von Schichten für zukünftige Anwendungen denkbar.



Abbildung 1: brennendes Plasma in der CVD-Anlage



Abbildung 2: PECVD-Anlage

## SELBSTHEILENDE OBERFLÄCHEN MESSEN

DR. MOHAMED MAHMOUD, KATHARINA PRAMMER, B.ENG.

### UNTERSUCHUNG DES SELBSTHEILUNGSEFFEKTES AUF PUR-SCHICHTEN

Ein aufkommender Trend, der sich nicht nur im Automobilsektor, sondern auch in vielen weiteren Branchen fortsetzt, sind Spritzgussbauteile, die im Werkzeug mit Polyurethan oder Polyurea lackiert werden.

Bei dem sogenannten InMould Coating (IMC) wird mittels adaptierter 2K-Werkzeugtechnik ein Spritzgussteil im One-Shot-Prozess mit hochbeständigen, selbstheilenden Lacken beschichtet. Hierbei spielen Themen wie Effizienz und Ausschussquoten, sowie Design und Funktionsintegration eine sehr große Rolle und die Technologie kommt in vielfältigen Anwendungsgebieten zum Einsatz.

Gerade im Bereich der Fahrzeugexterieteile, wo sowohl witterungsbedingte als auch mechanische Belastungen, durch z. B. Hagel, Steinschläge oder Kratzer durch „Parkrempler“ eine große Rolle spielen, ist die Funktion der Selbstheilung der Lackschichten ein großer Vorteil für die Langlebigkeit der Bauteile.

Um die Performance solcher Oberflächen zu analysieren, sind neue Prüfmethode gefragt, um die Bewertung solcher Oberflächen zu standardisieren und eine Reproduzierbarkeit gewährleisten zu können. Eine mögliche Variante einer solchen Prüfung wurde mit dem hier beschriebenen Verfahren entwickelt.

#### Was ist das InMould Coating-Verfahren?

Ziel des IMC-Verfahrens ist es, mittels One-Shot-Prozess innerhalb eines Fertigungsschrittes lackierte Bauteile direkt im Spritzgussprozess herzustellen. Dafür werden Mehrkavitätenwerkzeuge genutzt. In der ersten Kavität wird zunächst ein Bauteil gespritzt, dieses dann in eine zweite Kavität umgesetzt und hier mit einem PUR-/PUA-Lacksystem überflutet. Die Bauteile sind somit innerhalb von wenigen Minuten fertig lackiert aus der Maschine entnehmbar.

Hierbei bieten sich vielfältige Möglichkeiten die Oberflächen zu gestalten, wie z. B. hochglänzende, matte oder auch strukturierte Flächen, da der Lack die Oberfläche der Werkzeugkavität abbildet und nicht, wie bei konventionellen Verfahren, die Struktur des zu lackierenden Bauteils.

#### Wie misst man einen Selbstheilungseffekt?

Die Frage wurde bereits mehrfach gestellt und ist bisher noch nicht wirklich beantwortet worden. In der KIMW-F hat man sich dem Thema gewidmet und eine Prüfmethode evaluiert, mit der sich die Selbstheilung messen lässt.

Neben der Durchführung von Vergleichsmessungen, bietet die Messmethode auch die Möglichkeit Grenzwerte, wie z. B. Maximalbelastungen, zu ermitteln. Hierbei kommt der sogenannte Micro Scratch Tester MST der Firma Anton Paar zum Einsatz, der es möglich macht, eine simple Methode zur Messung der Selbstheilung durchzuführen und reproduzierbare Ergebnisse zu erzielen. Das Prinzip dahinter ist, dass zunächst ein Kratzer mit einer definierten Spurbreite (50 oder 100 µm) und einer definierten Kraft (200 – 5000 mN) in eine Oberfläche eingebracht wird. In festgelegten zeitlichen Abständen wird diese Spur dann immer wieder im sogenannten Postscan mit einer Kraft von 5 mN abgefahren und die Position der Spitze ermittelt, wodurch die Veränderung des Kratzers, also die Selbstheilung der Oberfläche messbar wird. Durch die reduzierte Kraft beim Postscan wird sichergestellt, dass der Kratzer nicht erneut eingebracht und gleichzeitig der Kontakt zur Oberfläche im Kratzer genau realisiert wird, wodurch der Grad der Selbstheilung ermittelt werden kann.

dahingehend geprüft werden, ob sie bestimmten Belastungen standhalten. Hierzu wird die Kraft, mit der der erste Kratzer eingebracht wird, schrittweise erhöht oder der Spitzendurchmesser immer kleiner gewählt, bis kein Selbstheilungseffekt mehr messbar ist.

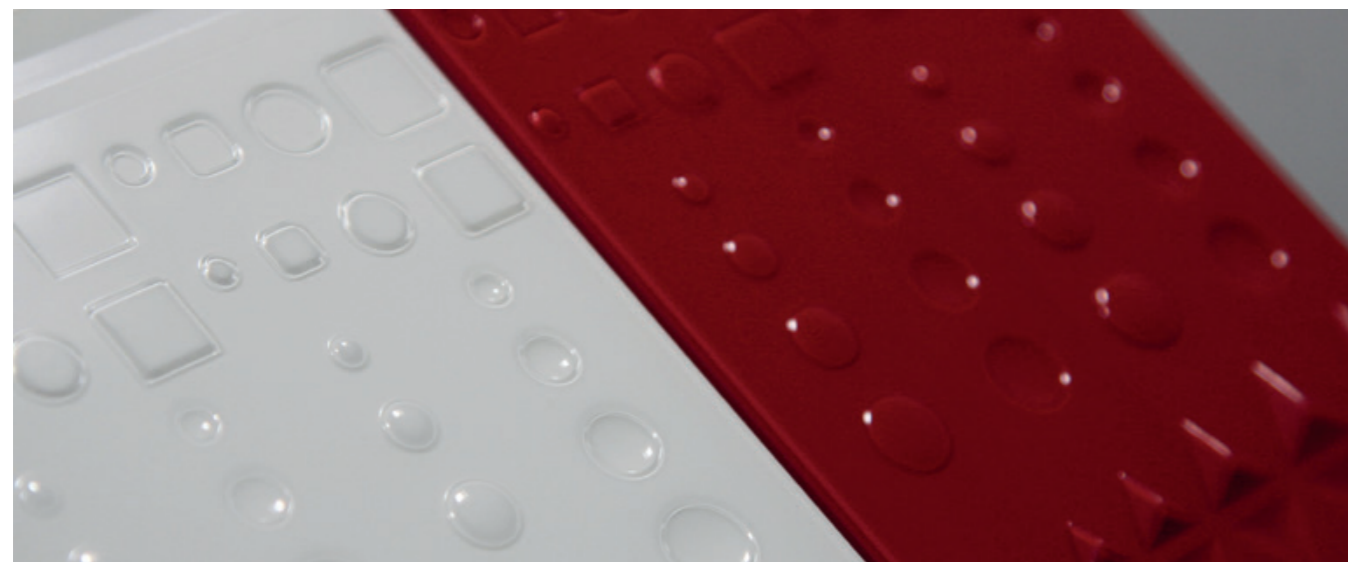


Abbildung 1: Musterplatten mit PUR-Lackierung

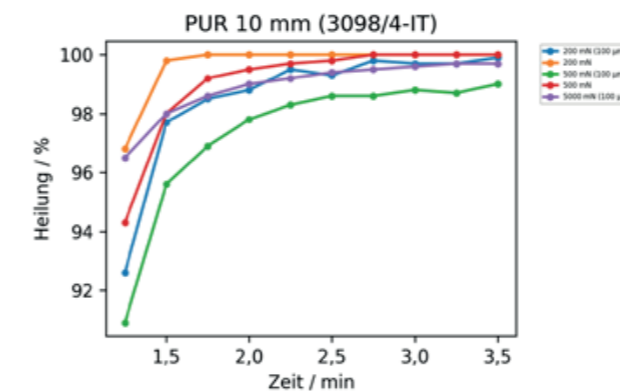


Abb. 2: Grafische Darstellung der Selbstheilung (Messwerte)

Um eine Aussage über die Machbarkeit der Messung treffen zu können, wurden verschiedene Messungen an diversen PUR-Musterplatten mit unterschiedlichen Systemen und Schichtdicken vorgenommen. Diese wurden dann, wie in der Abbildung 2 zu sehen, mit unterschiedlichen Kratzertiefen durch Variation der aufgetragenen Initialkraft gemessen. Erkennbar ist, dass bei dem getesteten System auch bei unterschiedlichen Tiefen bereits nach wenigen Sekunden die Selbstheilung sichtbar wird. Nicht nur die Selbstheilung per se, sondern auch Maximalbelastungen, können durch diese Messmethode ermittelt werden. So können unterschiedliche Lacksysteme



## PURWERK - WERKZEUGTECHNIKEN FÜR IN-MOULD-COATING

ZIM-INNOVATIONSNETZWERKE

**Weitere Informationen:**  
**Dr.-Ing. Angelo Librizzi**  
**Tel.: +49 (0) 23 51.10 64-134**  
**librizzi@kunststoff-institut.de**

Das ZIM-Innovationsnetzwerk beschäftigt sich mit dem Themenkomplex des In-Mould-Coatings. Dieses Verfahren birgt ein außerordentliches Potenzial im Bereich der Oberflächenadaptation und -modifikation von Kunststoffbauteilen. Dabei sind nicht nur kratzfeste oder selbst heilende Oberflächen durch die richtige Wahl des Polyurethanlackes realisierbar, sondern auch Tiefeneffekte und die hochauflösende Abbildung von Nanostrukturen auf der Werkzeugoberfläche umsetzbar.

Innerhalb der zweiten Netzwerkphase arbeiten die Netzwerkteilnehmer an den unterschiedlichen Themenschwerpunkten, die in der ersten Netzwerkphase ermittelt wurden. Die KIMW-F beteiligt sich dabei an verschiedenen Arbeitsgruppen, die sich thematisch mit diversen Fragestellungen und Herausforderungen rund um innovative neue Werkzeugtechniken im Bereich des „In-Mould-Coating“ (IMC) mit Polyurethansystemen auf Thermoplastbauteilen beschäftigt. Die Themenschwerpunkte reichen dabei von der Adaption des klassischen Werkzeugaufbaus für diese Technologie bis hin zur optimalen Abbildung von Oberflächenstrukturen.



## CAM-SYS-4.0 - MIKROOPTIKSYSTEME AUS KUNSTSTOFF

ZIM-INNOVATIONSNETZWERKE

**Weitere Informationen:**  
**Dr.-Ing. Angelo Librizzi**  
**Tel.: +49 (0) 23 51.10 64-134**  
**librizzi@kunststoff-institut.de**

Die optischen Technologien gelten als Schlüsseltechnologien des 21. Jahrhunderts. In vielen Anwendungsbereichen, wie der industriellen Bildverarbeitung, Medizintechnik und in der Beleuchtungstechnik, gibt es Bedarf für mikrooptische Systeme aus Kunststoff. Im Gegensatz zu Glas gibt es weitreichende Vorteile durch den Spritzgießprozess - das geringere Gewicht sowie die Integration von Funktions- und Befestigungselementen.

Durch immer kompaktere Bauformen von Kameralinsen und Sensoren werden die optischen Systeme im Mikrospritzguss gefertigt.

Im ZIM-Innovationsnetzwerk wird der Bedarf an Mikrooptiksystemen analysiert und Realisierungswege aufgezeigt. Der Branchenfokus liegt dabei in den Bereichen Automotive, Medizintechnik und Consumer Electronics.

Das Netzwerk befindet sich in der zweiten Phase und besteht aus 30 Unternehmen und Forschungseinrichtungen. Zurzeit werden in acht Entwicklungslinien die Inhalte und Ziele möglicher Forschungsprojekte erarbeitet und Lösungswege aufgezeigt. Die ersten Forschungsanträge sind bereits eingereicht und warten auf die Bewilligung.

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages



Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages





## MED-IG 4.0 - INTELLIGENTE GERÄTE FÜR DIE MEDIZINTECHNIK

ZIM-INNOVATIONSNETZWERKE

**Weitere Informationen:**  
**Vanessa Frettlöh, M.Sc.**  
 Tel.: +49 (0) 23 51.67 99-911  
 frettlloh@kunststoff-institut.de

Im ZIM-Innovationsnetzwerk wird der Bedarf an intelligenten Produkten und Systemen aus Kunststoff bzw. unter Kunststoffbeteiligung analysiert und Realisierungswege für neue Produkte sowie Produktverbesserungen aufgezeigt. Diese sollen sowohl in Arztpraxen und Krankenhäusern als auch beim persönlichen Gebrauch durch die Patienten Anwendung finden. Dabei erschließen die vielfältigen Formgebungsmöglichkeiten und hervorragenden medizinischen Eigenschaften von Kunststoffen, im Zusammenspiel mit dem Know-how zahlreicher etablierter Systemlieferanten, neue Anwendungsbereiche. Innerhalb der ersten Netzwerkphase wurden die Kompetenzen der Netzwerkpartner gebündelt, Synergien ermittelt sowie Projektideen diskutiert. Thematische Schwerpunkte sind optische Elemente, miniaturisierte, geschützte Sensoren, dichtende, medienbeständige Elemente mittels 2-K-Komponententechnik, gedruckte Elektronik und antibakterielle Kunststoffoberflächen. Innerhalb der zweiten Netzwerkphase, die im August 2022 beantragt wurde, werden die erarbeiteten Lösungsansätze in F&E-Projekte überführt. Hier wird es u. A. um das Alterungsverfahren von Kunststoffen, smarte Verpackungen und Sterilisation gehen.

Gefördert durch:  
  
 Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz  
 aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages



## ZUSAMMENARBEIT MIT DER REGION OXITANIEN, BMBF-CAP PROJEKTE

INTERNATIONALE FORSCHUNG

**Weitere Informationen:**  
**Dipl.-Ing. Frank Mumme**  
 Tel.: +49 (0) 23 51.10 64-139  
 mumme@kimw.de

Im Zeitraum 2018-2022 wurden drei BMBF- Forschungsprojekte in Zusammenarbeit mit einer französischen Projektförderung durchgeführt. Von deutscher Seite waren das die CAP Förderprojekte TBC- Thermische Barriere-Schichten für die Kunststoffverarbeitung, CPC – Korrosionsfeste Werkzeugoberflächen mittels Dünnschichttechnologie und BNP – Biozide Nanopartikel für Kunststoffoberflächen. Auf französischer Seite wurde die Förderung unter dem Projekt « RIF » (Revêtements Innovants et Fonctionnels pour la plasturgie) gefördert.

Unter dem Schirm der beiden Netzwerke des KIMW und des französischen Plastipolis wurden in Zusammenarbeit mit französischen Industrie- und Forschungspartnern drei Forschungsthemen bearbeitet, die zum Ziel hatten, Know-how und Märkte miteinander zu verbinden. Zentraler Forschungspartner ist die Universität Toulouse und seine angegliederten Carnout Institute (CNRS), vergleichbar mit der deutschen Fraunhofer-Gesellschaft. Die einzelnen Projekte wurden von deutsch- französischen Konsortien unterhalten.



Abbildung 1: Abschlusstreffen an der Universität Toulouse im Februar 2022

### Internationale Zusammenarbeit im Zuge der Covid Krise

Die geplanten internationalen Projekttreffen konnten Corona bedingt nur stark eingeschränkt durchgeführt werden. Ausschließlich auf Arbeitsebene konnten in den Sommermonaten gegenseitige Besuche für einen Erfahrungsaustausch realisiert werden. Im Sommer 2021 konnte die Forschungsstelle eine zweiwöchige Exkursion zur Forschungseinrichtung CIRIMAT in Toulouse tätigen. Für eine Abschlussdiskussion der Ergebnisse wurde im Frühjahr 2022 ein Abschlusstreffen in Toulouse organisiert und durchgeführt.

Die drei CAP-Projekte konnten im Zeitraum Januar bis März 2022 erfolgreich abgeschlossen werden. Das begleitende RIF-Projekt wurde noch bis Ende 2022 durch die KIMW-Forschungsstelle bis zu dessen Projektende mitbegleitet.

Gefördert durch:  
  
 Bundesministerium für Bildung und Forschung

## IMPEDANZSPEKTROSKOPIE (EIS)

DR. ANATOLIY BATMANOV

### UNTERSUCHUNG DER SCHICHTEIGENSCHAFTEN MITTELS EIS

Die elektrochemische Impedanzspektroskopie (EIS) ist eine zerstörungsfreie Methode, um die Antwort eines Systems auf die angelegte Wechselstrombelastung zu untersuchen. Jedes System sowie jeder Vorgang in dem System kann mittels einer Kombination von Widerständen, Kapazitäten und Induktivitäten modelliert und beschrieben werden. Die EIS-Methode ermöglicht die Zustandsuntersuchung von festen Materialien (z. B. Porosität, Dielektrizität) oder elektrochemischen Systemen (Korrosion, Korrosionsschutz, Passivierung, Brennstoffzellen, Batterien etc.). Die Messstation für die EIS besteht aus einem Potentiostat/Galvanostat, einem Frequenzganganalysator sowie einer Steuer- und Auswertesoftware.

Die Probe, z. B. eine beschichtete Metallmünze, wird in einen flüssigen Elektrolyten getaucht, um die Korrosionsbeständigkeit der Beschichtung zu untersuchen. Kommt es zu einem Kontakt zwischen Elektrolytlösung und Substratmaterial, gehen Metallionen in die Lösung und freie Elektronen bleiben zurück. Bei Wechselstrom bauen sie aufgrund von Polarisationsprozessen einen Doppelschichtkondensator  $C_{dl}$  und parallel zu diesem einen Widerstand  $R_p$  auf (Abbildung 1 links). Das Ersatzschaltbild beschreibt den Korrosionsvorgang so, dass der Korrosionswiderstand direkt aus den Messergebnissen abgelesen werden kann. Die nichtleitende Beschichtung weist einen hohen elektrischen Widerstand bei Gleichstrom auf und verhält sich wie ein Kondensator  $C_{cpc}$  bei Wechselstrom. Im Fall von Defekten, z. B. Poren oder Rissen in der Schicht, wird der Widerstand der Lösung in den Poren  $R_{por}$  gemessen (Abbildung 1 rechts). Das Impedanzspektrum kann als Nyquist- oder Bode-Diagramm (Abbildung 2) dargestellt werden.

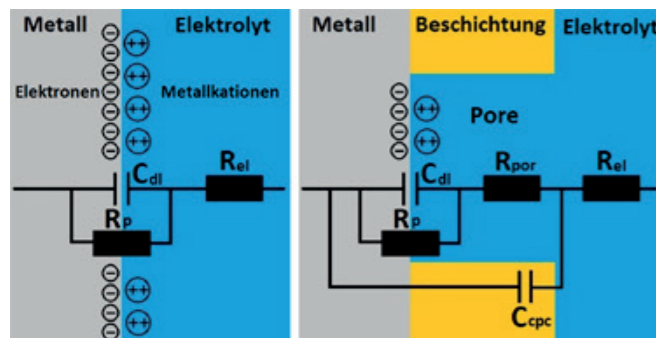


Abb. 1: Metall/Elektrolyt und Metall/Schicht/Elektrolyt Modelle

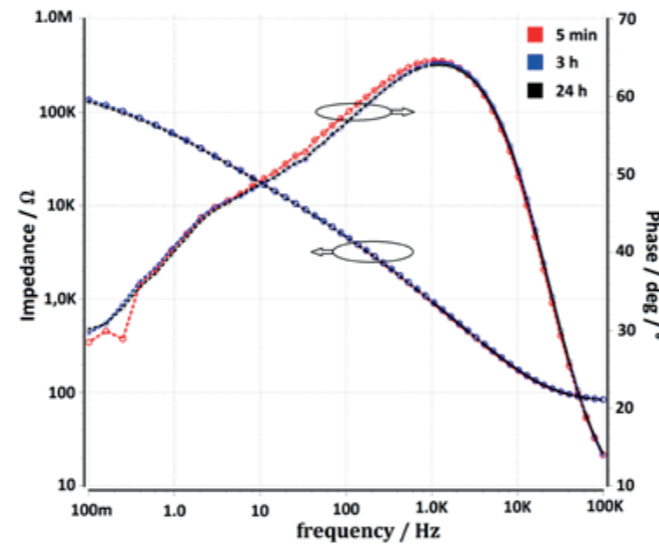


Abbildung 2: Impedanzspektrum (Bode-Diagramm) einer  $ZrO_x$  Schicht

#### Technische Charakteristika der EIS-Messstation an der KIMW-F:

Gesamtbandbreite:	DC – 5 MHz
Max. Strom:	$\pm 2,5$ A
Kontrollierte Spannung:	$\pm 10$ V / $\pm 4$ V
Konformitätsspannung:	$\pm 14$ V
ADC Auflösung:	18 bit
Harmonic reject:	> 60 dB @ $\frac{1}{2}$ full scale
Potentiostat Modi:	potentiostatic, galvanostatic, pseudo-galvanostatic, rest potential, off
Umgebungstemperatur:	+10 °C bis +30 °C
Luftfeuchtigkeit:	< 60 % ohne Derating

#### Frequenzgenerator & Analysator:

Frequenzbereich:	10 $\mu$ Hz – 4 MHz
Genauigkeit:	< 0,0025 %
Auflösung:	0,0025 %
	10K steps/decade

## KALOTTENSCHLIFFGERÄT

DR. MOHAMED MAHMOUD

### MESSUNG VON SCHICHTDICKE UND VERSCHLEISSBESTÄNDIGKEIT



Das Kalottenschliffgerät ermöglicht in Kombination mit der Licht-/Digitalmikroskopie eine Schichtdickenmessung auf ebenen Probekörpern. Mit einer Stahlkugel und einer Schleifsuspension wird eine Kalotte in die Schicht bis zum Grundmaterial geschliffen. Mittels Lichtmikroskopie wird anschließend der Durchmesser der entstandenen Kreisrinne ausgewertet und in die Dicke der Schicht umgerechnet. Zusätzlich kann die Verschleißbeständigkeit von Schichten bestimmt werden. In diesem Fall wird die Kalotte mit definierter Geschwindigkeit und Schleifdauer nur in die Schicht geschliffen. Auch hier wird die entstandene Kalotte mikroskopisch ausgewertet und anschließend das spezifische Abtragungsvolumen ermittelt.

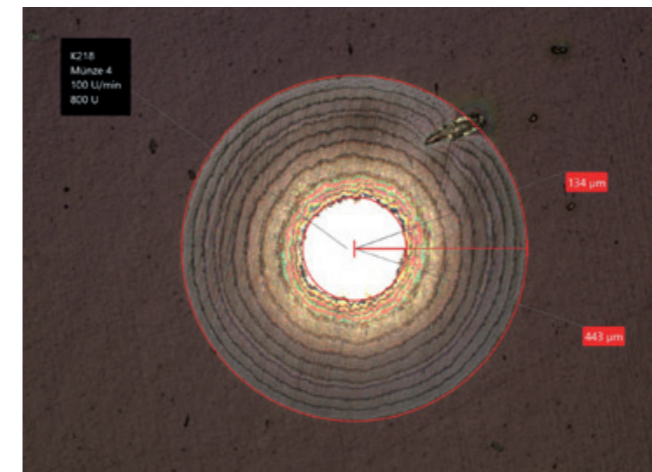


Abbildung 1: Analyse der Schichtdicke

## LEUCHTDICHTEMESSUNG

DIPL.-ING. (FH) MATTHIAS MILITSCH

### ERMITTLUNG DER LEUCHTDICHTE AN SYMBOLBELEUCHTUNGEN UND LEUCHTFLÄCHEN

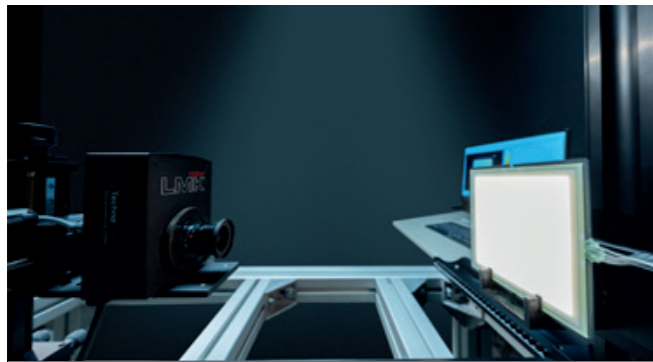


Abbildung 1: Leuchtdichtemesskamera LMK5-5 Color mit einer OLED

Eine Leuchtdichtemesskamera ist ein bildgebendes System zur flächigen Vermessung von leuchtenden oder beleuchteten Oberflächen. Insbesondere im automobilen Interieur, werden Informationsdarstellungen als Symbolbeleuchtungen dargestellt. Sowohl die Leuchtdichte, die Leuchtdichteverteilung als auch die Lichtfarbe können mit dem Leuchtdichtemessstand blickwinkelabhängig an Symbolbeleuchtungen oder Ambientebeleuchtungssystemen charakterisiert werden. Das System beinhaltet eine optische Bank, mit der die Kameraentfernung auf bis zu 2 m vom Bauteil eingestellt werden kann.

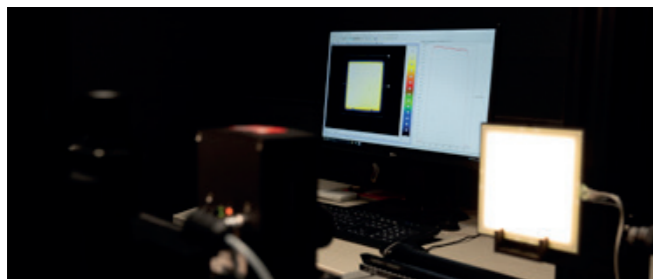


Abbildung 2: Softwareauswertung der vermessenen OLED

Die Auswertung erlaubt es, mittels verschiedener Darstellungen die Ergebnisse zu visualisieren (logarithmische Skalierungen, Falschfarben und 3D Darstellungen). Die Auswertung der Ergebnisse kann mithilfe von Regionen erleichtert werden. Es stehen ebenfalls zahlreiche statistische Tools zur Verfügung. Die Ergebnisse werden anschließend in eine Berichtsdatei (.docx, .xlsx, .pdf) exportiert.

#### Technische Features:

Typ: LMK5-5 Color  
 Auflösung: 2448 x 2050 Pixel  
 Dynamikbereich: Farb-High-Dynamic Messung 1:10.000.000 (~140 dB)

#### Messgrößen:

Leuchtdichte L (cd/m<sup>2</sup>)  
 Farbkoordinaten x, y  
 Unterstützte Farbräume: RGB, XYZ, sRGB, EBU-RGB, User, Lxy, Luv, Lu'v', L\*u\*v\*, C\*h\*s\*uv, L\*a\*b\*, C\*h\*ab, HIS HSV, HSL, WST<sup>2</sup>

## LICHTMIKROSKOP

DR. MARTIN CIASTON

### DIGITALMIKROSKOPIE IN IHRER ANWENDUNG

Die Digitalmikroskopie ermöglicht zwei- und dreidimensionale Hell- und Dunkelfeld- Bildaufnahmen, u. a. zur Qualitätssicherung und -kontrolle, Fehleranalyse oder Schichtdickenbestimmung nach dem Kalottenschliffverfahren. 101- bis 1010-fache optische Vergrößerungen lassen sich realisieren. Mit dem bloßen Auge nicht erkennbare Korrosionsstellen an beschichteten, nichtlegierten Stahlprobekörpern (wie z. B. 1.0330) lassen sich so unkompliziert und schnell feststellen (vgl. Abbildung 1).

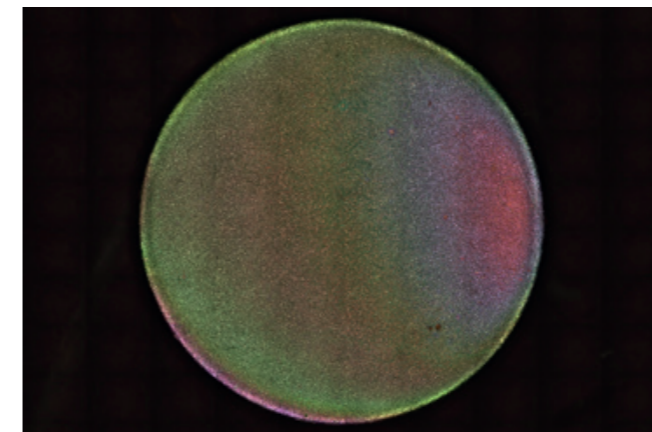


Abbildung 1: Korrosionsanalyse (1.0330)

Durch das schwenkbare Objektiv lassen sich Bilder bis zu einem Neigungswinkel von ±45 ° aufnehmen (vgl. Abbildung 2).



Abbildung 2: Beschichtetes Zahnrad

Zusätzlich können Höhenprofilmessungen und 3D-Aufnahmen durch die verfahrbare Z-Achse realisiert werden (vgl. Abbildung 3).

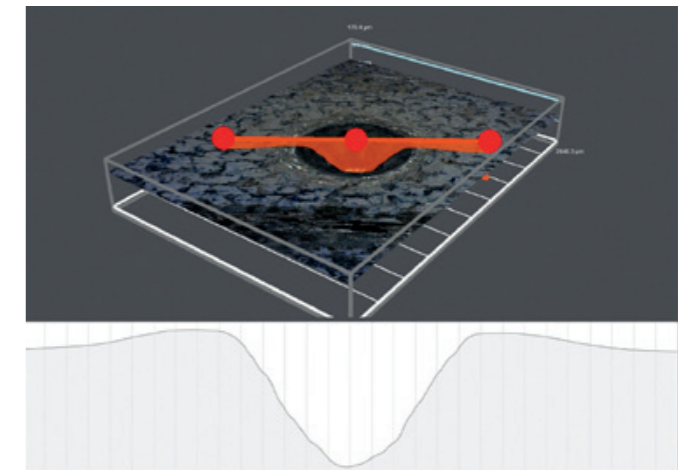


Abbildung 3: Höhenprofilmessung

Durch automatisierte Messprozesse und kalibrierte Komponenten lassen sich nutzerunabhängige Messwerte erzielen. Routineaufgaben können, wenn sie einmal gespeichert wurden, abgerufen werden und Messungen schnell und einfach reproduziert werden.

#### Motorisierter Tisch:

Verfahrbereich (xy): 130x100 mm  
 (z): ~60 mm

#### Optischer Zoom:

Zoom-Faktor: 10-fach  
 Zoombereich: 0,5x bis 5,0x

#### Objektiv:

PlanApo D 5,0x/0,3 FWD 30 mm

#### Beleuchtung:

Koaxiales LED-Auflicht  
 LED-Ringbeleuchtung mit 4 einzeln wählbaren Segmenten

#### Stativ:

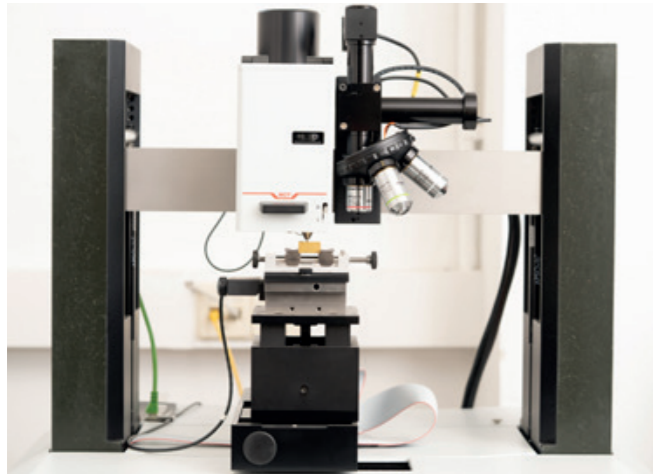
Neigungswinkel (codiert): ±45 °  
 Max. Probengröße: ~120 mm



## MCT – MULTI-COMBI-TESTER

DR. MOHAMED MAHMOUD

### MIKRO-/NANO-MECHANISCHES MESSGERÄT



Das Mikro-/Nano-mechanische Messgerät ist mit einem universellen Messkopf zur vollständigen mechanischen Charakterisierung von Beschichtungen und Schüttgutproben ausgestattet, wobei Mikrohärtetester (MHT), Mikroscratchtester (Ritztest, MST) und Mikrotribologietester (MTT) in einem vereint sind. Daher wird das Gerät auch Multi-Combi-Tester genannt.

Mittels MHT ist die Untersuchung der Härte und des Elastizitätsmodul von dünnen Schichten (ab 1 µm) möglich. Mit der Messspitze kann auch die Härte von Kunststoffoberflächen ermittelt werden.

Darüber hinaus kann die Schichthaftung mittels MST untersucht werden. Dazu wird ein Diamantstift (100 µm Radius) mit konstanter, stufenweiser oder steigender Last über die Schicht gezogen und die entsprechende kritische Last, bei der die Schicht vom Substrat abplatzt, ermittelt. Durch die Aufnahme von Postscans nach einem erfolgten Scratch können die Rückstellung bei Polymeren oder auch das sogenannte Self-Healing bei Lackierungen oder Beschichtungen analysiert und ihre elastischen und plastischen Eigenschaften quantifiziert werden. Auf diese Weise kann die Ausheilung von erzeugten Kratzern in PUR-Beschichtungen auf Kunststoffbauteilen zeitlich nachvollzogen werden.

MTT ermöglicht nicht nur die Bestimmung der Reibungskoeffizienten, bei linearer Belastung mit einem kugelförmigen Gegenkörper kann auch der Verschleiß auf den Oberflächen ausgewertet werden.

#### Technische Spezifikationen

- Lastbereich: 10 mN – 30 N
- Mikroskop und Okulare: 200, 800 und 4000-fache Vergrößerung (optisch + digital)
- Diamantspitze (Indenter): Vickers  
Berkovich  
Rockwell (Sphärokonische Indenter, 100µm Radius)



Abbildung 1: Auswertung eines Scratchtests



Die Landesregierung  
Nordrhein-Westfalen



## RASTERELEKTRONENMIKROSKOP

DR. MOHAMED MAHMOUD

### REM-EDX IN DER SCHICHT- UND MATERIALANALYTIK



Abbildung 1: Bruchkante einer Multischicht

Das Rasterelektronenmikroskop (REM) ist ein vielseitiges Analysegerät, welches die Aufnahme von Oberflächen und Bruchkanten mit hoher Auflösung von 3 nm (bei 30 kV) und Vergrößerungen bis zu 100.000-fach ermöglicht. Durch die zur Verfügung stehenden Detektoren (SE, BSE, UVD) wird eine umfangreiche Analyse verschiedenster Proben möglich. Mittels BSE-Detektor kann der Materialkontrast aufgenommen werden. Dadurch lassen sich Partikel mit unterschiedlicher Zusammensetzung sehr gut sichtbar machen (siehe Abbildung 2). Die Kombination der Detektorsignale ermöglicht dabei ein breites Spektrum an Bildern, um jedes Detail einer Probe zu charakterisieren. Zudem sind 3D-Messungen möglich, an denen zum Beispiel Stufenhöhen und Schichtdicken ermittelt werden können. Zur besseren Analyse von Bruchkanten lässt sich der Probenstisch kippen.

Die hochauflösende Betrachtung der Oberfläche elektrisch leitfähiger und elektrisch isolierender Proben ist möglich. Durch den Einsatz eines UVD-Detektors im Niedervakuum ist die Besputterung von elektrisch isolierenden Proben nicht notwendig. Eine störende Überbelichtung der Probenoberfläche und Aufladungserscheinungen durch den Elektronenstrahl werden bei dieser Messanordnung vermieden.

Mit der Energiedispersiven Röntgenspektroskopie (EDX) kann ortsaufgelöst die Materialzusammensetzung einer Probenoberfläche analysiert werden, was für die Schichtcharakterisierung oder die Schadensanalyse hilfreich ist.

#### Technische Spezifikationen

- Max. Vergrößerung: bis 100.000-fach (abhängig von der Probenart)
- Max. Beschleunigungsspannung: 30 kV
- Max. Probendurchmesser: 300 mm
- Max. Probenhöhe: 130 mm
- Probengewicht: bis 5 kg
- zur Verfügung stehende Detektoren: SE, BSE, UVD, EDX

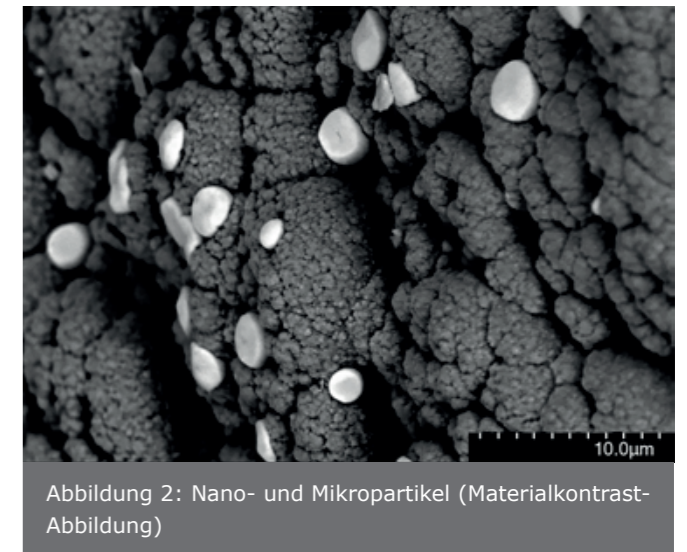


Abbildung 2: Nano- und Mikropartikel (Materialkontrast-Abbildung)

## RESTGASANALYSATOR (RGA)

DR. ANATOLIY BATMANOV

### ANALYSE DER GASE MITTELS QUADRUPOLMASSENSPEKTROMETER

Das Massenspektrometer ermöglicht die Detektion und Analyse der Zusammensetzung von Restgasen/Dämpfen in einem Vakuumsystem sowie die Echtzeitüberwachung von Partialdrücken in Gasgemischen. Im Hochvakuum ist meist ein Faraday-Cap-Detektor ausreichend, für Ultrahochvakuum werden oft Sekundärelektronenvervielfacher (EM, Electron Multiplier) als Detektoren eingesetzt. Der Restgasanalysator (RGA) hat eine exzellente Empfindlichkeit für Helium und Argon. Dadurch kann er auch für die Lecksuche an Vakuumbeschichtungsanlagen zum Einsatz kommen.

Das Massenspektrometer an der KIMW Forschungs-gGmbH ist als mobile Messstation mit einem eigenen Vakuumsystem ausgestattet (Abbildung 1). Der RGA wird über einen PC gesteuert und die Messergebnisse (z. B. als Massenspektren (Abbildung 2)) können in Echtzeit vor Ort oder durch Integration des Gerätes in ein Netzwerk auch vom Schreibtisch aus überwacht werden.

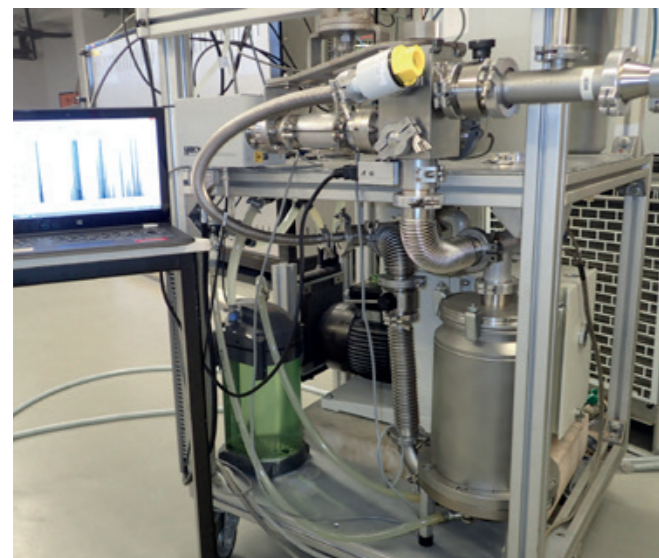


Abbildung 1: RGA mobile Messstation

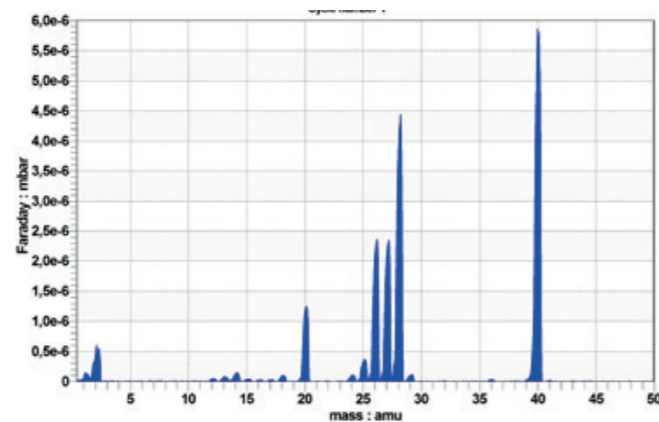


Abbildung 2: Darstellung eines Gas-Massenspektrums

#### Technische Charakteristika des RGAs der KIMW Forschungs-gGmbH:

Massenbereich:	1-300 amu
Detektor:	EM/Faraday
Betriebsdruck max.:	
Faraday:	$1 \times 10^{-4}$ mbar
EM:	$1 \times 10^{-5}$ mbar
Max. Messgeschwindigkeit:	650 Messungen/sec
Minimaler nachweisbarer Partialdruck:	
mit Faraday-Detector:	$1 \times 10^{-11}$ mbar
mit EM:	$2 \times 10^{-13}$ mbar
Kathode:	Iridium, Y <sub>2</sub> O <sub>3</sub> -beschichtet
Ausheiztemperatur des Analysators ohne Elektronik:	max. 250 °C

## BESCHICHTUNGSTECHNIK #1

DIPL.-ING. FRANK MUMME, VANESSA FRETTLÖH, M.SC.

### FUNKTIONELLE BESCHICHTUNGEN MITTELS MOCVD TECHNOLOGIE

Die Forschungsstelle verfügt mittlerweile über *fünf* CVD- (chemical vapour deposition, chemische Gasphasenabscheidung) Beschichtungsanlagen unterschiedlicher Größe. Bei den Anlagen handelt es sich um Heißwandreaktoren. Das gesamte Reaktorvolumen wird dabei von einer externen Heizquelle auf die benötigte Temperatur gebracht.

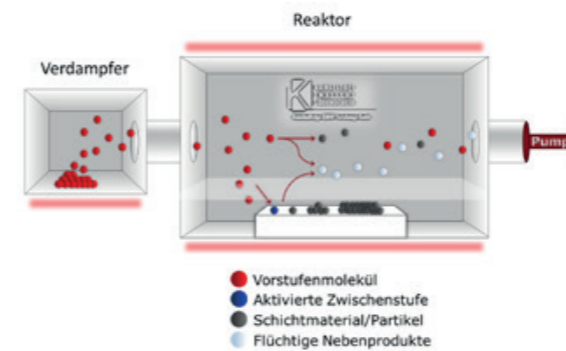


Abbildung 1: Darstellung eines CVD Heißwandreaktors mit Verdampfer

Die Peripherie wurde gezielt an die Reaktoren und die abzuschneidenden Schichten angepasst. Neben metalloxidischen Keramikbeschichtungen unterschiedlicher Morphologie und Kristallstruktur, können an der KIMW-F auch metallische Kupfer- oder Nickelschichten sowie Hartstoffschichten auf Basis von Wolfram- oder Chromcarbid abgeschieden werden. Tribologisch wirksame Schichten (WS2) werden für Hochtemperatur-Anwendungen genutzt.

Durch den Einsatz von metallorganischen Vorläuferverbindungen (den sogenannten Precursoren), welche im Verdampfer in die Gasphase überführt werden und sich im Reaktor zersetzen (vgl. Abbildung 1), können die Beschichtungen schon bei vergleichsweise niedrigen Temperaturen von 200 °C bis 500 °C realisiert werden. So ist es möglich, auch komplexe und auf Maß gearbeitete (Spritzgieß-) Werkzeuge zu beschichten, ohne die Maßhaltigkeit und die mechanischen Eigenschaften zu verändern.

Die zur Schichtabscheidung notwendigen Reaktionspartner werden über geeignete Minimalmengen-Dosiergeräte zugeführt. Es werden vor allem gas- und pulverförmige Medien eingesetzt.

Die Schichteigenschaften (Schichtdicke, Kristallinität, Phase, Dichte) hängen von den Prozessparametern ab. Der Precursorzufluss, der Reaktanzufluss, die Gaszufuhr, der Druck und die Temperatur im Reaktor sowie die Verdampfer-temperatur können präzise geregelt werden. Durch die Wahl der Prozessparameter kann die 3D-Konformität und Spaltgängigkeit der Beschichtungen gezielt variiert werden. Im Gegensatz zu Plasma basierten Prozessen können im thermischen CVD-Prozess auch sehr hohe Aspektverhältnisse (Tiefe einer Bohrung/ Durchmesser einer Bohrung) homogen beschichtet werden.

Durch den Einsatz von Reaktivgasen und die Zufuhr von Flüssigkeiten (Wasser, Ethanol) kann die Schichtzusammensetzung und die Morphologie der Beschichtungen beeinflusst werden.

Es steht eine Auswahl an unterschiedlichen Beschichtungsanlagen zur Verfügung. Kennzeichnend ist hier die unterschiedliche Größe des Rezipienten.

#### Anlagenabmessungen

Type	Abm. Ø x Länge [mm]
0	40x50
1	210x1300
2	100x2000
3	450x1000
4	210x3000

#### CVD 0

Der kleinste der fünf CVD-Reaktoren dient in erster Linie der Schichtneuentwicklung und Erprobung der Schichtabscheidung. Mit Hilfe des kleinen Reaktors kann die Machbarkeit der Schichtabscheidung und die Parametrierung des CVD-Prozesses erprobt sowie die 3D-Fähigkeit der Beschichtungen in Abhängigkeit vom Precursorsystem bewertet werden.

#### CVD 1

Im Heißwandreaktor der CVD 1 werden diverse oxidische Schichtsysteme auf metallische Substrate appliziert. Der Reaktor hat ein Gesamtvolumen von 70 Litern. Die Vorläuferverbindungen werden in flüssiger Form vorgelegt und mittels Schlauchpumpe oder Flüssigkeitsreglern dosiert. Im Rezipienten kann durch eine Dreizonenheizung ein Temperaturgradient eingestellt werden. Durch eine integrierte

## BESCHICHTUNGSTECHNIK #2

DIPL.-ING. FRANK MUMME, VANESSA FRETTLÖH, M.SC.

### FUNKTIONELLE BESCHICHTUNGEN MITTELS MOCVD TECHNOLOGIE

Steuerung wird eine alternierende Ansteuerung der Flüssigkeitsregler ermöglicht. Auf diesem Weg können Monolagen- und Multilagenbeschichtungen vollautomatisiert realisiert werden.

#### CVD 2

In dieser Anlage werden neue Beschichtungen entwickelt und kleinere Werkzeuge beschichtet. Die Beschichtungstemperatur beträgt zwischen 200 °C und 500 °C. Auch hier können durch drei separat steuerbare Heizzonen Temperaturgradienten innerhalb des Reaktors realisiert werden. An diesem Reaktor kommen feste Precursoren zum Einsatz, die mit einem an der KIMW-F entwickelten Pulverfördersystem dosiert werden. Durch Installation einer Steuereinheit können die Pulverdosierung, der Gasfluss, der Druck im Reaktor sowie die Verdampfertemperatur zentral eingestellt, überwacht und aufgezeichnet werden.

#### CVD 3

Für die Abscheidung von Schichten im industriellen Maßstab steht eine Beschichtungsanlage mit einem Kammervolumen von 230 Litern zur Verfügung (Abbildung 2). In dieser können auch größere Form-abmessungen (z. B. 380 mm x 380 mm x 500 mm) beschichtet werden. Die Anlage soll für alle im Vorfeld entwickelten Schichten eingesetzt werden. Dabei setzt die KIMW-F auf die Pulverförderung mittels Miniextrudern, welche für höhere Durchsatzmengen angepasst wurden.



Abbildung 2: Reaktor der CVD 3 mit angeschlossenen Pumpenstand

#### CVD 4

Die Steuerung der Anlage, dessen Rezipient mit fünf unabhängig arbeitenden Heizzonen ausgestattet ist, erfolgt computerbasiert. Über diverse Regler lassen sich Gaszufuhr, Kühlwasser, Vakuumpumpe und Ofen zentral ansteuern. Zur Dosierung der pulverförmigen Precursoren kommt die bewährte Extrudertechnik zum Einsatz. Die Steuerung für die Precursor- und Gaszufuhr sowie die Temperaturregelung der in die Anlage integrierten Verdampfereinheit wurde durch die KIMW-F aufgebaut und gezielt für die Anlage angepasst. Aufgrund ihrer Bauform ist die Anlage besonders für die Beschichtung von langen Bauteilen mit geringem und mittlerem Durchmesser geeignet. Auch Innenbeschichtungen von Rohren sind in der Anlage umsetzbar. Für die Entwicklung von plasmabasierten „Remote“-Reinigungs- und Beschichtungsprozessen kann eine Mikrowellenquelle an der Anlage installiert werden.



Abbildung 3: CVD 4 mit installierter Mikrowellen-Plasmaquelle



Abbildung 4: Steuerung der Precursor- und Gaszufuhr an der CVD 4

## PUBLIKATIONEN UND FACHVORTRÄGE

1. **Frettlöh, V.:** Diffusionsschweißen: Mehr Vielfalt bei der Fertigung von Werkzeugeinsätzen. In: Der Stahlformenbauer, Heft 1/2022, 39. Jahrgang, Jan./Feb. 2022, Seite 98-100
2. **Frettlöh, V.:** Zykluszeitreduzierung durch korrosionsschutzfähige Stähle – SUCRE. In: Technologie-nachmittag KIMW, 03/2022, Lüdenscheid
3. **Engemann, P.:** Effiziente Werkzeugtemperierung durch einen verschweißten Materialmix. In: SpotOn XXL, online, 24.03.2022
4. **Engemann, P.:** Efficient mold temperature control through a welded material mix. In: SpotOn XXL, online, 31.03.2022
5. **Frettlöh, V.:** Diffusion Welding: More variety in the production of tool inserts. In: Welding and Cutting 21 (2022) No. 1, Seite 18-19
6. **Frettlöh, V.:** Diffusion-bonded mold inserts expand the portfolio of injection molding tool manufacture. In: Antec 2022
7. **Paskowski, A.:** Development of a gas-based temperature control system for injection molds. In: Antec 2022
8. **Schlutter, R.:** Development of a non-destructive measurement method for quality assessment of foamed plastic parts. In: Antec 2022
9. **Schlutter, R.; Batmanov, A.:** Zirconium dioxide as a thermo-insulating coating for molds in plastic injection molding. In: Antec 2022
10. **Schlutter, R.:** Functionalization of engineering plastics with biocidal nano-particles. In: Antec 2022
11. **Schlutter, R.; Rust, C.:** GLIM: GLass fabric Insert Molding - polymer back-injection of glass fabrics to increase strength. In: Antec 2022
12. **Schlutter, R.:** Improving part properties during injection molding with 3D printed CO2 cooled plastic mold inserts. In: Antec 2022
13. **Balster, A.:** Neues Verfahren zur Herstellung metallischer Werkzeugeinsätze. In: Der Schnitt- & Stanzwerkzeugbau 3/2022, S. 61

14. **Frettlöh, V.:** Protect your tools: coatings for almost every application. In: ETMM-online, 21.06.2022
15. **Balster, A.:** Replicated Metal Molds: Neues Verfahren zur Herstellung metallischer Werkzeugeinsätze für optische Kunststoffbauteile. In: Der Stahlformenbauer 3/2022, S. 94
16. **Schlutter, R.; Frettlöh, V.:** Die Anwendung neuartiger biozider Nanopartikel in der Kunststofftechnik. In: ThGOT: Thementage Grenz- und Oberflächentechnik und 13. Thüringer Biomaterial Kollogium, 15.06.2022, Zeulenroda
17. **Mumme, F.:** Wolframcarbid ist der neue Verschleißschutz für Werkzeuge. In: Oberfläche Online, 26.07.2022
18. **Frettlöh, V.:** Protect your tools: coatings for almost every application. In: ETMM, European Tool & Mould Making, The Magazine, ETMM 5/2022, Seite 46-47
19. **Gehlen, M.:** Wolframcarbidschicht schützt Werkzeuge vor Verschleiß. In: medizintechnik 06/2022, Seite 52-53,
20. **Balster, A. et. al.:** Replicative manufacturing of metal moulds for low surface roughness polymer replication. In: Nat Commun 13, 5048 (2022). <https://doi.org/10.1038/s41467-022-32767-2>
21. **Balster, A.:** Neue Zellen braucht das Land (Faeb's). In: K-Impulse 81, 09/2022, S.8
22. **Gehlen, M.:** Zykluszeit runter: Einsatz hochwärmeleitfähiger Stähle (SUCRE). In: Kunststoff Magazin online, 11/2022
23. **Gehlen, M.:** Neuer Verschleißschutz für Spritzguss-Werkzeuge - Hartstoffschichten aus MOCVD (AbraCoat). In: Jahrbuch Dichten. Kleben. Polymer. 2023
24. **Gehlen, M.:** Zykluszeit reduzieren: Das KIMW untersucht den Einsatz hochwärmeleitfähiger Stähle. In: VDWF im Dialog 3/22, Seite 14-17
25. **Librizzi, A.:** Basics zum Folienhinterspritzen. In: Fachtagung Folienhinterspritzen, Lüdenscheid, 22.11.2022
26. **Prammer, K.:** dekoEPP - Leichtigkeit im neuen Gewand. In: Fachtagung Folienhinterspritzen, Lüdenscheid, 22.11.2022

## TÄTIGKEITEN IN DER LEHRE

1. Vorlesungsveranstaltungen „Oberflächentechnik Kunststoff“ im Verbundstudiengang Bachelor Kunststofftechnik an der Fachhochschule Südwestfalen (FH-SWF);  
**Durchführender: Dr.-Ing. Angelo Librizzi**
2. Vorlesungsveranstaltung „Methoden, Prozesse und Organisationsstrukturen – Sensorik“ im Verbundstudiengang Projektmanager (FH) für Werkzeug- und Formenbauer an der Hochschule Schmalkalden;  
**Durchführender: Alexander Paskowski, B.Eng.**

# GEMEINNÜTZIGE KIMW FORSCHUNGS-GMBH

Lutherstraße 7, 58507 Lüdenscheid

**Telefon** +49 (0) 23 51 67 99 9- 0  
**Fax** +49 (0) 23 51 67 99 9- 66  
**E-Mail** [mail@kunststoff-institut.de](mailto:mail@kunststoff-institut.de)  
**Website** [www.kimw-f.de](http://www.kimw-f.de)

