

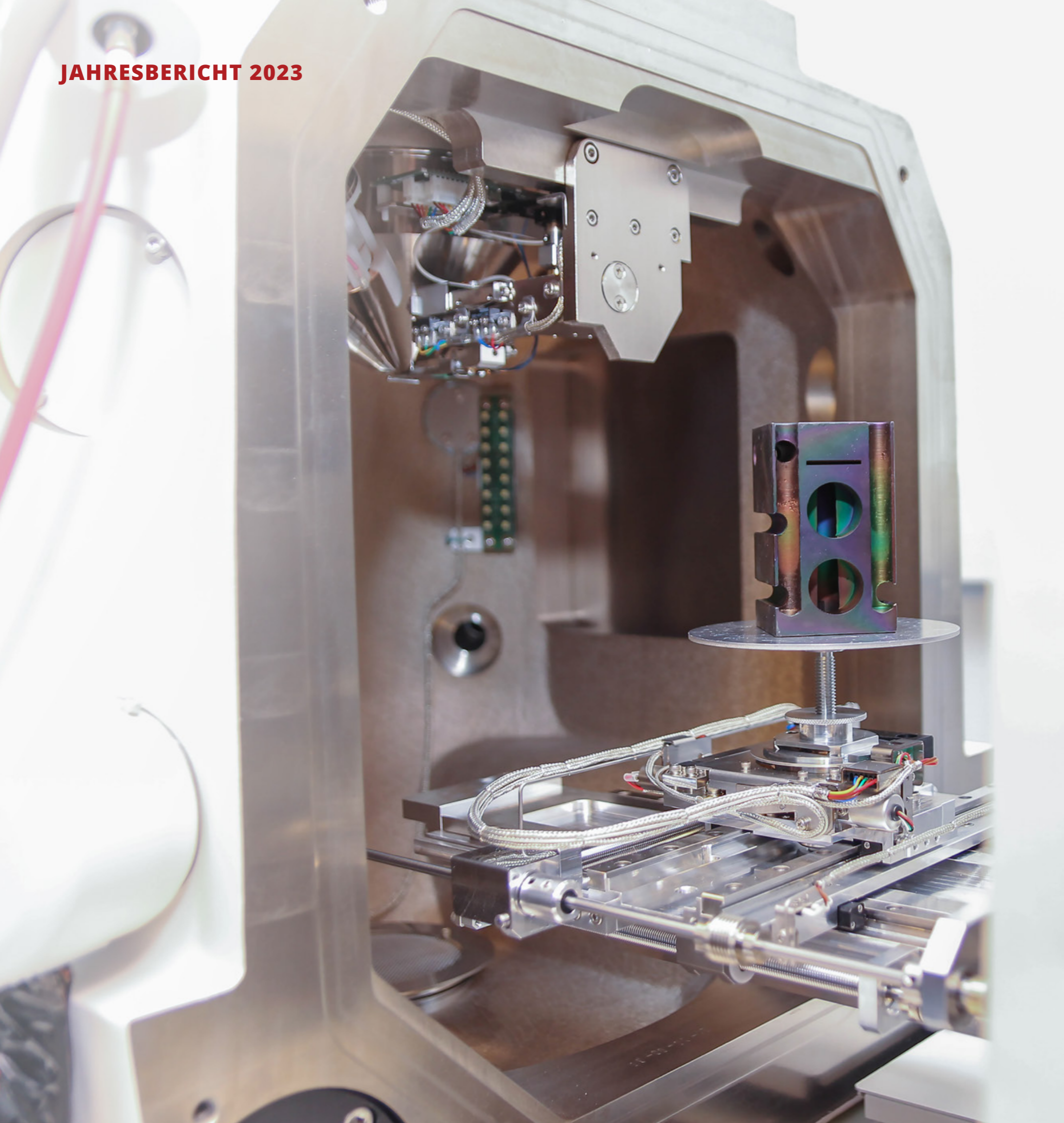
FORSCHUNG

INNOVATION

TECHNOLOGIE

NETZWERK

GEMEINNÜTZIGE KIMW FORSCHUNGS-GMBH  
**JAHRESBERICHT 2023**



## **INHALT**

ALLGEMEINES	<b>4</b>
WISSENSCHAFTLICHE TÄTIGKEITEN	<b>8</b>
NETZWERK	<b>38</b>
AUSSTATTUNG	<b>40</b>
ÖFFENTLICHKEITSARBEIT UND WISSENSTRANSFER	<b>50</b>

## VORWORT

## ANWENDUNGSNAHE FORSCHUNG FÖRDERN

**Sehr geehrte Leserinnen und Leser,**

auch im Jahr 2023 gab es wieder viele Ereignisse, die die Welt bewegten. Der Krieg in der Ukraine dauert weiter an, dazu kommen neue Krisengebiete im Nahen Osten. Die Energiewende, die überraschende Haushaltssperre und damit verbundene Haushaltsänderungen bestimmten und bestimmen nach wie vor die Politik, Wirtschaft und Gesellschaft in Deutschland. Auf den Punkt gebracht steht der Industrie- und Forschungsstandort Deutschland weiter unter erheblichem Druck. Volatilität, Unsicherheit, Komplexität und Ambivalenz scheinen das neue Normal zu sein.

**Stetiger Wandel als Impulsgeber**

Aufgrund von immer schnelleren und unvorhersehbaren Änderungen, wie z. B. geänderten Rahmenbedingungen oder Haushaltssperren, die u. a. Einfluss auf Förderkulissen, wie z. B. die Projektfinanzierung nehmen, erfordern schnelle Reaktionen und agile Anpassungsprozesse, wie beispielsweise intensivere wirtschaftliche Aktivitäten in Zukunftsmärkten. Auch die stetig zunehmende Geschwindigkeit der Nachhaltigkeitstransformation und damit verbundene neue Aspekte nehmen einen immer größeren Raum ein und führen zu komplexeren, interdisziplinär übergreifenden Fragestellungen, die einem fortlaufenden Änderungsprozess unterzogen werden, die nicht zuletzt auch aus einer weiter zunehmenden politisch induzierten Regulatorik herrührt.

Inmitten sich ständig ändernder Umfeldbedingungen hat die Gemeinnützige KIMW Forschungs-GmbH seine mittelfristige Forschungsstrategie neu ausgerichtet. Dieser strategische Schritt zielt darauf ab, die vorhandenen Kompetenzen des Instituts optimal zu nutzen und in den Zukunftsfeldern zu punkten. Die Neuausrichtung ist eine Reaktion auf die dynamischen Veränderungen in der Forschungslandschaft.

Mit dieser Neuausrichtung positioniert sich die Gemeinnützige KIMW Forschungs-GmbH als ein zukunftsorientiertes Forschungsinstitut, das bereit ist, die Herausforderungen von morgen anzugehen und dabei seine vorhandenen Kompetenzen optimal einzusetzen. Es ist ein klares Signal, dass die Gemeinnützige KIMW Forschungs-GmbH bereit ist, ihre Rolle in der Zukunftsgestaltung der Forschung zu spielen.

Die neuen Forschungsthemen konzentrieren sich auf zukunftsweisende Bereiche, wie Energiegewinnung, insbesondere durch Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologien, Energiespeicherung mit Schwerpunkt auf E-Batterien, Nachhaltigkeit mit Fokus auf Materialversorgung und -aufbereitung, sowie die eigenbetriebliche steuerliche Forschungsför-

derung zur Förderung von Innovationen.

Diese Erweiterung der Forschungsthemen unterstreicht das Engagement der Gemeinnützigen KIMW Forschungs-GmbH, sich an die Spitze der technologischen Innovation zu setzen und gleichzeitig einen Beitrag zur Lösung einiger der drängendsten Herausforderungen unserer Zeit zu leisten. Es ist ein weiterer Beweis für die Fähigkeit der Gemeinnützigen KIMW Forschungs-GmbH, ihre Forschungsaktivitäten dynamisch an die sich ändernden Bedürfnisse und Prioritäten der Gesellschaft anzupassen.

**Verzahnung von Know-how: Der Schlüssel zur Erschließung neuer Forschungsfelder**

Die steuerliche Forschungsförderung von Unternehmen erfreut sich einer zunehmenden Inanspruchnahme. Seit dem 2. Januar 2020 können Unternehmen für ihre eigenbetrieblichen FuE-Aktivitäten eine steuerliche Forschungszulage (Fzul) beantragen. Ein bemerkenswertes Merkmal dieser Regelung ist, dass Anträge sowohl für vergangene als auch für zukünftige FuE-Projekte gestellt werden können. Die Fzul bietet Anreize für die Entwicklung effizienterer Prozesse und innovativer Produkte im Rahmen der eigenbetrieblichen FuE-Tätigkeiten. Vor allem die Personalkosten, die für diese Aktivitäten anfallen, werden bezuschusst. Mit ihrer jahrelangen Erfahrung und umfangreichen Expertise unterstützt die Gemeinnützige KIMW Forschungs-GmbH Unternehmen bei der Erstberatung, der Prüfung der Innovationsförderfähigkeit und der Antragstellung und bietet einen leistungsstarken Service an.

Dank unserer Expertise in der CVD-Beschichtung zur 3D-fähigen Schichtabscheidung in Verbindung mit besonderen Schichteigenschaften konnten zukunftsorientierte Auftragsforschungsprojekte in Handlungsfeldern, wie die Energieerzeugung, -speicherung und -umwandlung gestartet werden. Durch unsere intensive Eigenforschung im Bereich der Precursorherstellung, die für die Herstellung von 2D- und Halbleitermaterialien unerlässlich ist, konnte die Gemeinnützige KIMW Forschungs-GmbH erfolgreich Entwicklungsergebnisse lizenzieren. Dieser Fortschritt unterstreicht die Fähigkeit des Instituts, innovative Lösungen zu entwickeln und diese auf den Markt zu bringen.

## INNOVATIONEN IN KRISENZEITEN

Der nächste Schritt in dieser Forschungsreise besteht darin, Materialien und Prozesse zu entwickeln, die Schichten erzeugen, welche bei sehr hohen Temperaturen eine hohe elektrische Leitfähigkeit bei gleichzeitig hoher Diffusionsfestigkeit aufweisen. Dieses Ziel stellt eine bedeutende Herausforderung dar, die die Gemeinnützige KIMW Forschungs-GmbH mit ihrem Fachwissen und ihrer Erfahrung zu meistern bereit ist.

Diese Ergebnisse konnten und können nur durch eine passgenaue und moderne Oberflächenanalytik für die Analyse von Werkstoffen und Schichten erzielt werden.

Die vorgestellten Beispiele illustrieren eindrucksvoll, wie das konsequente Verzahnen und Vorantreiben von Know-how zur Entstehung neuen Wissens und Expertise in verschiedenen Handlungsfeldern führen kann. Diese dynamische Entwicklung ermöglicht es, sich an verändernde Bedingungen anzupassen und neue Forschungsfelder zu erschließen.

Es wird deutlich, dass die kontinuierliche Weiterentwicklung und Integration von Wissen nicht nur zu Innovationen in bestehenden Bereichen führen, sondern auch die Grundlage für die Erschließung neuer Forschungsgebiete bildet. Dieser Prozess der ständigen Anpassung und Erneuerung ist ein Schlüssel zur Bewältigung der Herausforderungen in einer sich ständig wandelnden Forschungslandschaft. Es ist ein lebendiger Beweis für die Fähigkeit, Wandel als Chance zu begreifen und ihn aktiv zu gestalten.

An dieser Stelle bedankt sich die Gemeinnützige KIMW Forschungs-GmbH bei allen Projektpartnern, Kunden und Unterstützern und ganz besonders bei ihren Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern für die gute und vertrauensvolle Zusammenarbeit in dem für alle sehr herausfordernden Jahr 2023.



**Udo Hinzpeter**  
- Geschäftsführer -



**Frank Mumme**  
- Geschäftsführer -



**Dr. Fabian Schleithoff**  
- Südwestfälische Industrie- und Handelskammer zu Hagen Geschäftsbereichsleiter „Unternehmen beraten“ -

## GRUSSWORT

## MIT FORSCHUNG IN DIE ZUKUNFT

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

die aktuelle Zeit ist für Unternehmen in mehrfacher Hinsicht sehr herausfordernd. Sie müssen sich mit vielen Krisen auseinandersetzen. Gleichzeitig müssen sie sich in einer sich schnell wandelnden Welt für die Zukunft aufstellen. Die Entwicklung neuer Produkte und Ideen steht dabei für viele Unternehmen im Fokus. Und Forschung kann dazu einen wesentlichen Beitrag leisten.

Nach einem Zitat von Carl Friedrich von Weizsäcker ist Forschung das simple Vergnügen, etwas zu finden, was man früher nicht wusste. Für Forscher wird das sicherlich in einem gewissen Maß zutreffen. Für Unternehmen sind Investitionen in Forschung aber viel mehr der Drang, sich weiterzuentwickeln und eben zukunftsfähig zu bleiben oder zu werden.

Hier beginnt die Arbeit der Gemeinnützigen KIMW Forschungs-GmbH, die Unternehmen aus der Kunststoffbranche deutschlandweit bei ihren Forschungs- und Entwicklungsvorhaben unterstützt: von der Konzeption, über die Versuchsplanung bis zur Durchführung vollständiger F&E-Projekte.

Ich wünsche Ihnen eine interessante Lektüre des Jahresberichts 2023. Dabei geht Ihnen vielleicht auch ein Vorhaben in Ihrem Unternehmen durch den Kopf, bei dem die KIMW Forschungs-gGmbH Sie unterstützen kann.

**Ihr**  
**Fabian Schleithoff**

DIPL.-ING. MARKO GEHLEN

**TECHNOLOGIESCOUT**

**MESSEBESUCHER KEHREN ZURÜCK: NEUE TRENDS UND THEMEN**

Das abgelaufene Jahr 2023 war ein gutes Messejahr! Nach der langen Pandemie-Phase haben die meisten Veranstaltungen wieder stattgefunden und das auf einem hinsichtlich der Besucheranzahl beachtlichen Niveau. Den Auftakt im Januar hat die CES in Las Vegas gemacht, die größte Consumer Electronic Show der Welt, zu deren Schwerpunkten 2023 Künstliche Intelligenz, Metaverse, Autonomes Fahren, Fernseher und Audio gehörten. Die vier-tägige Messe besuchten ca. 115.000 Menschen.



Abbildung 1: CES 2023, Las Vegas Convention Center

Kurz nach der Messe für gedruckte Elektronik LOPEC in München fand Anfang März die jährliche Hausmesse bei Arburg als Jubiläumstage anlässlich des 100-jährigen Bestehens statt. Nahezu 6.000 Besucher aus 53 Ländern kamen, um sich u. a. über die innovativen Anwendungen, die auf den Maschinen präsentiert wurden, zu informieren. Die nur alle zwei Jahre stattfindende ISH, Internationale Messe für Sanitär- und Heizung in Frankfurt, hat beeindruckende 154.000 Menschen aus 154 Ländern angezogen und ist damit dem Ruf als Weltleitmesse voll gerecht geworden. Sie richtete den Fokus auf Baddesign, Heizungs- und Klimatechnik und intelligentes Wohnen. Sogar noch etwas internationaler war die Interpack im Mai in Düsseldorf (Besucher aus 156 Ländern), bei der es sich um die größte Messe für Verpackungsinnovationen und Prozesse handelt. Im Juni ging es dann für den Technologiescout zu einer besonderen Veranstaltung. Die Internationale Textilmaschinen Ausstellung ITMA, die dieses Mal in Mailand ausgerichtet wurde, findet nur alle vier Jahre statt. Hier wurden die neuesten Technologien, Maschinen und Materialien für die Textil- und Bekleidungsverarbeitung gezeigt. Unter der Schirmherrschaft des Bundesministeriums für Wirtschaft und Klima fand im Juni auch wieder der Innovationstag Mittelstand

statt. Trotz der vergleichsweise geringen Anzahl an Ausstellern (257) sind hier immer hochinteressante Innovationen zu erleben. Wirtschaftsminister Habeck lobte daher in seiner Ansprache auch die sehr hohe Innovationskraft des Mittelstands in Deutschland. Nach der Sommerpause ging es dann direkt mit zwei großen Publikumsmessen weiter. Die internationale Funkausstellung in Berlin und die IAA in München fanden sogar innerhalb einer Woche statt. Während die IFA sich allmählich stärker auf Handel und Reseller ausrichtet, steigt die Besucherzahl in München vor allem auch durch das zweiseitige Konzept, das Fachbesucher auf das Messegelände zieht und das Publikum in der Innenstadt kostenfrei zu begeistern versucht.



Abbildung 2: IAA 2023, München am Wittelsbacher Platz

Aus kunststofftechnischer Sicht war die Fakuma im Oktober in Friedrichshafen sicherlich das Highlight der zweiten Jahreshälfte, die aufgrund der K-Messe in Düsseldorf 2022 zuletzt vor zwei Jahren stattgefunden hat. Sie bot in diesem Jahr u. a. viele Neuheiten hinsichtlich der Abbaumöglichkeiten und Wiederverwertbarkeit von Kunststoffen. Die Messthemens insgesamt fußen auf den Themensäulen Digitalisierung, Automatisierung, Flexibilität, Energieeffizienz und Nachhaltigkeit. Kurzweilig und hochinnovativ kamen die Pitches auf dem High Tech Demo Day #3 von HIGH-TECH.NRW im November in Köln daher, einer Venture Plattform, die ein Accelerator Programm für High-Tech und Deep-Tech Start-ups bietet. Im Laufe des Jahres 2023 berichtete der Technologiescout von 35 Veranstaltungen und recherchierte dabei insgesamt 340 innovative Themen für seine Projektpartner.

**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  
Materialentwicklung



**Vanessa Frettlöh**  
M.Sc.  
Beschichtungstechnik



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

**WISSENSCHAFTLICHE, TECHNISCHE MITARBEITER UND BERATER**



Dr.-Ing.  
**Anatoliy Batmanov**



Dr. rer. nat.  
**Martin Ciaston**



**Patrick Engemann,**  
M.Sc.



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



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



Dipl.-Ing. (FH)  
**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 2023

## BEREICH: BESCHICHTUNGSTECHNIK

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

**3DMetoxcor**

3D fähige diffusionsfeste NiO/NiFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> Schichten

**Laufzeit:** 01.11.2023 bis 30.04.2026  
**Förderkennzeichen:** 49MF230024  
**Fördermittelgeber:** BMWK  
**Förderträger:** EURONORM GmbH  
**Förderprogramm:** INNO-KOM  
**Projektleiter:** Dr.-Ing. Anatolij Batmanov

**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:** 01.11.2021 bis 31.12.2023  
**Förderkennzeichen:** KK5023110EB1  
**Fördermittelgeber:** BMWK  
**Förderträger:** AiF Projekt GmbH  
**Förderprogramm:** ZIM FuE-Kooperationsprojekt  
**Projektleiter:** Dipl.-Ing. Frank Mumme

**BiPPMoldCoat**

Entwicklung eines Spritzgießwerkzeuges für die Herstellung von Bipolarplatten für Hochtemperatur-Polymer-Elektrolyt-Membran-Brennstoffzellen

**Laufzeit:** 01.01.2022 bis 30.06.2024  
**Förderkennzeichen:** KK5023109ZG1  
**Fördermittelgeber:** BMWK  
**Förderträger:** AiF Projekt GmbH  
**Förderprogramm:** ZIM FuE-Kooperationsprojekt  
**Projektleiter:** Vanessa Frettlöh, M.Sc.

**TriboSchicht**

Gleitbeschichtung für bewegliche Werkzeugelemente für die Kunststoffverarbeitung bei hohen Temperaturen

**Laufzeit:** 01.03.2021 bis 30.11.2023  
**Förderkennzeichen:** KK5023104FF0  
**Fördermittelgeber:** BMWK  
**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 31.12.2023  
**Förderkennzeichen:** KK5023105SA0  
**Fördermittelgeber:** BMWK  
**Förderträger:** AiF Projekt GmbH  
**Förderprogramm:** ZIM FuE-Kooperationsprojekt  
**Projektleiter:** Markus Pothmann, B.Eng.

Die genannten Forschungsvorhaben werden unterstützt durch: Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK)

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages

## 3DMETOXCOR

DR.-ING. ANATOLIY BATMANOV

### 3D-FÄHIGE DIFFUSIONSFESTE NiO/NiFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub>-BESCHICHTUNG

Aggressive Umgebungsbedingungen in der chemischen Industrie oder auch in Hochtemperatur-Brennstoffzellen (MCFC-SOFC) erfordern Werkstoffe, die den korrosiven und dynamisch-mechanischen Spannungszuständen über lange Zeiträume widerstehen. So sind beispielhaft in einer Brennstoffzelle die metallischen Werkstoffe zwischen den einzelnen Brennstoffzellen eine Schwachstelle im Dauer-einsatz der Energieerzeugung. Das übergeordnete Ziel der Gemeinnützigen KIMW Forschungs-GmbH ist die Entwicklung und Optimierung eines Beschichtungsverfahrens zur Abscheidung von Korrosionsschutzschichten, die einerseits einen guten Korrosionsschutz und eine wirksame Diffusionsbarriere gegen Cr und Ni bieten und andererseits eine hohe elektrische Leitfähigkeit aufweisen.

Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-bildende ferritische rostfreie Stähle (FSS) sind die vielversprechendsten und am weitesten verbreiteten Werkstoffe in der MCFC-SOFC-Technik, da sie eine akzeptable elektrische Leitfähigkeit und Oxidationsbeständigkeit aufweisen und der Wärmeausdehnungskoeffizient (CTE) mit anderen Brennstoffzellen-Komponenten übereinstimmt. Allerdings setzt der Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-Zunder flüchtige Cr(VI)-Spezies in der Kathodenumgebung frei, was zu einer Vergiftung der Kathodenmaterialien führt. Darüber hinaus führt das allmähliche Wachstum der Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-Zunder bei längerer Exposition zu einem Anstieg des elektrischen Widerstands.

1-5 µm dünne metalloxidische Schichten, bestehend aus den Elementen Nickel und Eisen, sollen in einem Multi-lagen-/gradierten Schichtaufbau die Migration von Cr nach außen im Temperaturbereich von 650-1000 °C wirksam verhindern. Die Schichten werden in einem Temperaturfenster unterhalb 600 °C abgeschieden, um die Vorteile der MOCVD, wie ein hohes Aspektverhältnis von mind. 1:6 und die Möglichkeit der großflächigen Applikation, aufgrund reduzierter thermisch induzierter Zersetzung der Precursoren, ausnutzen zu können. Um die Schichtstruktur und -zusammensetzung und damit auch die Schichtperformance zu optimieren, werden die beschichteten Bauteile kurzfristig (einige Stunden) bei 800-1000 °C in einem nachgelagerten Anlassprozess getempert. Eine gezielte Phasenumwandlung zu einem stabilisierten Metalloxidsystem kann so erreicht werden.

Im Rahmen des Projekts wird ein MOCVD Beschichtungsprozess für metallische Werkstoffe entwickelt und optimiert.

Als Precursoren werden kommerziell erhältliche Materialien verwendet, die bei Bedarf modifiziert werden können. Angestrebt wird eine Metalloxidschicht des Systems NiO/NiFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub>, die einer Phasenumwandlung von RT bis 1000 °C widersteht und eine Diffusionsbarriere für Sauerstoff- und Chromatome bietet. In dem Projekt wird anstatt einer NiFe-Legierung direkt die NiO/NiFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> Kombination abgeschieden.

Um die Schichtqualität, die elektrischen Eigenschaften sowie die Korrosionsschutzwirkung der Beschichtungen flächig zu beurteilen, kommt die elektrochemische Impedanzspektroskopie (EIS) zum Einsatz (Abbildung 1). Die Haftung und die Härte der abgeschiedenen Schichten werden durch Scratchtest und Nanoindentation bestimmt. Die chemischen Eigenschaften sowie die Schichtmorphologie werden mittels REM/EDX, XRD und XPS analysiert.

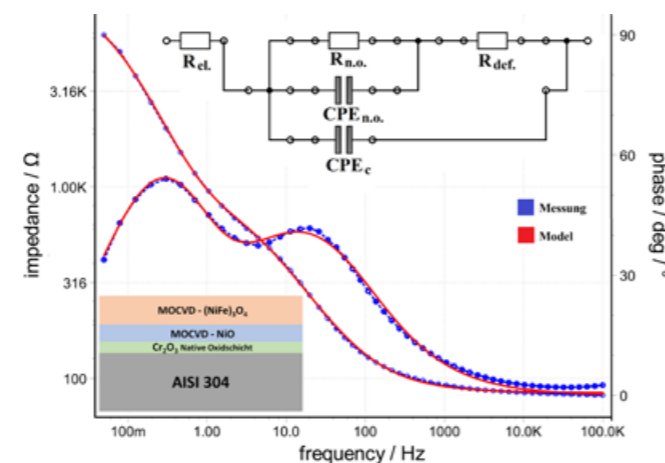


Abbildung 1: EIS-Ersatzschaltbild-Model einer Beschichtung

Gefördert durch:  
  
 aufgrund eines Beschlusses  
 des Deutschen Bundestages

## BIPPMOLDCOAT

VANESSA FRETTLÖH, M.SC.

### 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. für Bipolarplatten, liegt die Herausforderung in der vollständigen Füllung der Kavität. Durch den hohen Füllgrad und der damit erzeugten hohen Wärmeleitfähigkeit erstarren die verarbeiteten Compounds beim Einspritzen sehr schnell und erschweren damit den Füllvorgang. Zudem zeigen diese Compounds eine erhöhte Klebneigung an der Werkzeugoberfläche. Dem soll im Projekt mit einer Kombination aus thermischer Barriere- und Antiadhäsions-Beschichtung begegnet werden.

In der Gemeinnützigen KIMW Forschungs-GmbH wird mit MOCVD-Technologie und Feststoff-Precursorförderung eine thermische Barrierschicht auf Basis von Zirkoniumoxid auf den Spritzgießwerkzeugen appliziert, um die Formfüllung zu verbessern. Der Klebneigung des Kunststoffes wird mit einer chemisch Nickelschicht mit PTFE-Anteil, aufgebracht durch die Novoplan GmbH, begegnet. Erste Spritzgussversuche mit verschiedenen beschichteten kleinen Demonstrator-Werkzeugeinsätzen sind erfolgt und der Einfluss der Schichten auf die Prozessführung und die Qualität der Bauteile wurde bewertet. Die Erkenntnisse aus diesen Vorversuchen werden dann auf das hergestellte Spritzgießwerkzeug zur Herstellung der Bipolarplatten übertragen.

Als sehr aufwendig und herausfordernd stellte sich auch die spritzgusstechnische Auslegung des Flowfields im Werkzeug zur Herstellung der Bipolarplatten dar, da die filigranen Kanäle sowohl hinterher im Betrieb die Funktion der Gasleitung erfüllen müssen, als auch das Spritzgusswerkzeug zur Herstellung der Bipolarplatten mit dem Flowfield herstellbar sein muss. Auch die Peripherie des Werkzeuges, wie die Position und Form der Auswerferstifte, die Abstützung der Kavität und die thermische Entkopplung wurde im Rahmen des Projektes entwickelt und umgesetzt.

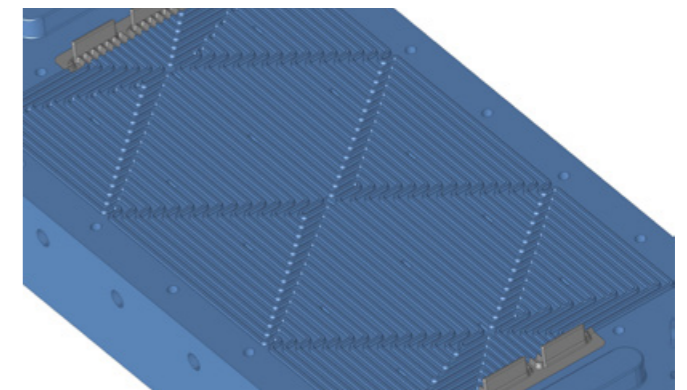


Abbildung 1: CAD-Modell des Werkzeugeinsatzes

Das fertig gestellte Werkzeug wird zunächst im unbeschichteten Zustand bemustert und die hergestellten Platten hinsichtlich Qualität, Bearbeitbarkeit und Performance untersucht. Nach Applikation der Kombinationsbeschichtung erfolgt dann eine weitere Bemusterung, um den Einfluss der Beschichtung auf den Spritzgussprozess und die Qualität der hergestellten Bipolarplatten zu analysieren.

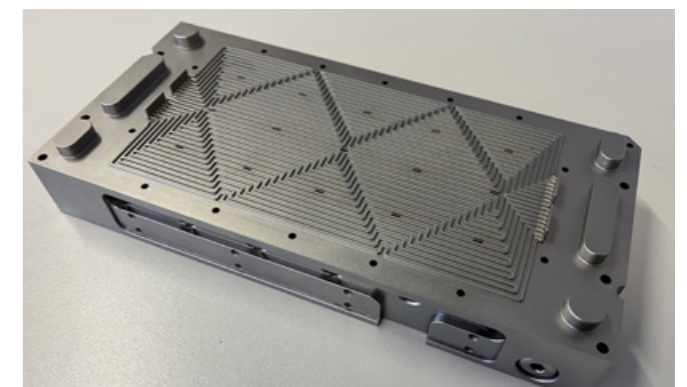


Abbildung 2: gefertigter Werkzeugeinsatz

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

Gefördert durch:  
  
 aufgrund eines Beschlusses  
 des Deutschen Bundestages

## CONTISPRAY

MARKUS POTHMANN, B.ENG.

ENTWICKLUNG NEUER METALLORGANISCHER PRECURSOR-REZEPTUREN FÜR SCHUTZSCHICHT IM THERMISCHEN SPRITZVERFAHREN, 0,1% POROSITÄT AUF BAUTEILOBERFLÄCHEN

Metallische und nichtmetallische Werkstoffoberflächen werden häufig durch Beschichtungen geschützt, um Korrosion und Verschleiß zu verhindern, was zu einer erheblichen Verlängerung der Haltbarkeit und Standzeiten der Materialien führt. Eine kosteneffiziente Strategie besteht darin, preiswertere Stähle mit speziellen Schutzbeschichtungen zu versehen, anstatt hochwertige, teure Grundmaterialien zu verwenden. Ein etabliertes Verfahren für diese Zwecke ist das thermische Spritzen, bei dem pulverförmige Ausgangsstoffe wie Metalle, Oxidkeramiken oder Carbide mit hoher kinetischer Energie und Temperatur auf die Werkstoffoberfläche geschleudert werden. Durch Adhäsions- und Kohäsionskräfte heften sie sich an und bilden somit eine schützende Schicht. Das ContiSpray-Projekt hat als primäres Ziel, die Restporosität von thermisch gespritzten Schichten, die üblicherweise bei etwa 2-4 % liegt, auf beeindruckende 0,1 % zu reduzieren. Dies wird durch das Auffüllen von Leerstellen im Beschichtungswerkstoff und die Bildung amorpher Schichten auf metallischen und nichtmetallischen Oberflächen erreicht. Solche Schichten können stark beanspruchte Wirkflächen sowohl punktuell als auch durch die Beschichtung ganze Bauteile schützen. Diese Maßnahme verringert nicht nur Korrosionsangriffspunkte, sondern verlängert auch die Lebensdauer der Bauteile und dies ohne den Einsatz umweltbelastender Lacke und Epoxidharze. Das Projekt setzt auf zwei Hauptinnovationen: die Entwicklung neuer metallorganischer Rezepturen der Reaktionspartner (Precursoren) und die Konstruktion eines neuartigen Zufördersystems für diese Precursoren. Die Abstimmung der einzelnen Bestandteile und Komponenten zielt darauf ab, sicherzustellen, dass die Reaktion der Precursorenpulver erst auf der Substratoberfläche erfolgt und ein vorzeitiges Abreagieren im heißen Flammstrahl vermieden wird. Ein weiterer innovativer Aspekt des Projekts ist die Konstruktion eines Minimalmengenextruders mit einem Durchsatz von 50 g Precursor-Pulver pro Stunde. Dieser Doppelschneckenextruder fördert pulverförmige Precursoren präzise und gleichmäßig in den Gasstrom. Der Extruder wurde vakuumdicht konstruiert, sodass er auch für CVD-Anwendungen ohne weitere Modifikationen eingesetzt werden kann. Der dritte zentrale Punkt des Projekts ist die Entwicklung des Einspritzsystems, einschließlich des Brennerkopfes, der Expansionsdüsen und der Halterungen zur Montage an den Roboterarmen. Diese Entwicklung wird in enger Zusammenarbeit mit den Projektpartnern Abler GmbH und Johannes Becker Werkzeugbau GmbH umgesetzt. Zum Abschluss

werden rotationssymmetrische und flache Probekörper beschichtet und einer eingehenden Untersuchung unterzogen, um die Schichtqualität und Restporosität zu analysieren und die Effizienz des modifizierten Flammstritzverfahrens umfassend zu bewerten.

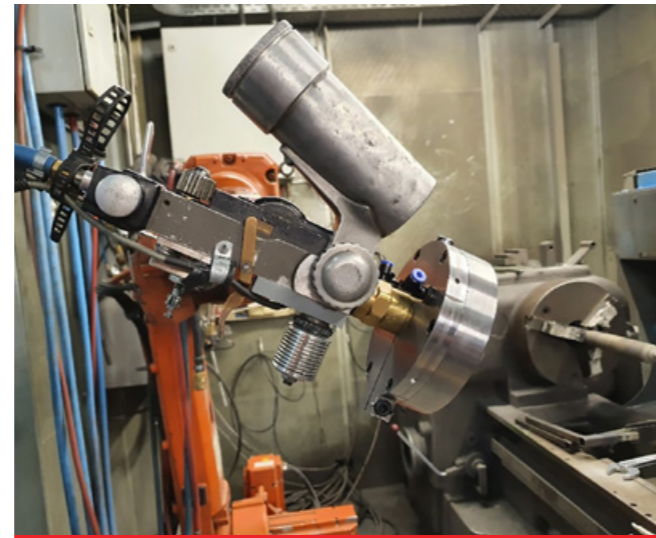


Abbildung 1: Flammstritzpistole auf Roboterarm (Abler GmbH)

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages



## MICROCOATING

MARKUS POTHMANN, B.ENG.

ENTWICKLUNG POLYSULFONBASIERTER BESCHICHTUNG, HOHE MECHANISCHE (KERBSCHLAGZÄHIGKEIT > 65 KJ/M<sup>2</sup>), CHEMISCHE BESTÄNDIGKEIT, ABLEITFÄHIGKEIT, INNENBESCHICHTUNG FÜR TANK- UND SCHÜTTGUTWAGGONS.

Im vergangenen Jahr standen die Bemühungen zur Korrosionsprävention im Fokus, insbesondere im Bereich der Transportbehälter für Schüttgut. Die Anwendung von Beschichtungen, speziell durch das thermische Spritzen von Kunststoffen, spielte dabei eine entscheidende Rolle. Neben dem Schutz vor Korrosion wird zudem angestrebt, das Behältermaterial vor jeglichen Veränderungen durch das transportierte Gut zu bewahren. Ein bedeutender Schritt in diesem Projekt war die Entwicklung einer maßgeschneiderten Kunststoff-Flammstritzanlage, die es ermöglicht, metallische Oberflächen effektiv mit einer Polyarylsulfonbeschichtung zu versehen. Gleichzeitig wurde sichergestellt, dass die zu beschichtende Oberfläche vor dem Prozess frei von Verunreinigungen und trocken ist. Die ausgewählten Polysulfone zeichneten sich durch ihre hohe chemische Beständigkeit und herausragende Zähigkeit/ Schlagzähigkeit aus, selbst bei extremen Einsatztemperaturen zwischen 170 und 200 °C, abhängig von der Typologie. Durch die gezielte Einbindung von Füllstoffen wie Kohlefasern, Glimmer, Ruß und Graphit können nicht nur die mechanischen und chemischen Eigenschaften des Compounds verbessert, sondern auch der Oberflächenwiderstand verringert werden. Dies ist entscheidend, um Transportwaggons mit einer chemisch inerten Schutzschicht auszustatten und so einer Funkenentladung während des Transports von brennbaren und explosiven Stoffen entgegenzuwirken. Die Gemeinnützige KIMW Forschungs-GmbH hat im Verlauf des Projekts intensiv an der Entwicklung des zu verspritzenden Compounds gearbeitet und es gezielt an die Anforderungen des Flammstritzprozesses angepasst. Hierzu wurde eine umfassende Recherche der verfügbaren Polyarylsulfone durchgeführt und Modifikationen der Typen wurden eingehend betrachtet. Die Anschaffung eines speziellen Compounders ermöglichte die Verarbeitung der Hochleistungskunststoffe, wobei sowohl die Schneckengeometrie des Doppelschneckenextruders als auch die Peripherie des Compounders entsprechend angepasst wurden. In enger Zusammenarbeit mit dem Projektpartner, der Bräuer Oberflächentechnik GmbH, wurde eine innovative Flammstritzpistole entwickelt. Diese Pistole ermöglicht das Aufschmelzen der Compounds und die präzise Applikation auf die Zieloberflächen. Dabei erfolgte eine gezielte Neuentwicklung, um die Verarbeitung von Hochleistungskunststoffen zu optimieren. Gleichzeitig wurde eine effiziente Beheizung und Trocknung der Oberfläche im Gesamtsystem integriert. Für die Anwendung wird ein Strangdurchmesser des Polyarylsulfonmaterials von 3 mm

angestrebt, wofür die Düse des Compounders entsprechend modifiziert wurde. Die Schutzvorrichtung der Spritzpistole, die für das Aufschmelzen des Kunststoffes hohe Temperaturen erfordert, wird zum Schutz des Bedieners mittels Luft- und Wasserzufuhr gekühlt. Nach dem präzisen Auftragen der Beschichtungen werden diese eingehend hinsichtlich Schichtdicke, Porosität und Rissbildung geprüft, um die einwandfreie Funktionalität der Schichten zu gewährleisten. Zusätzlich sind Messungen der elektrischen Leitfähigkeit des Materials von essenzieller Bedeutung, um die Anwendbarkeit der Beschichtung für zukünftige Anwendungen sicherzustellen.



Abbildung 1: Modifizierte Flammstritzpistole zur Ausbringung einer Polyarylsulfonbeschichtung (Bräuer Oberflächentechnik GmbH)

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages



## TRIBOSCHICHT

**VANESSA FRETTLÖH, M.SC.**

### GLEITBESCHICHTUNGEN FÜR BEWEGLICHE WERKZEUGELEMENTE

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 spritzgegossenen Formteile, 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 Werkzeugelemente für die Kunststoffverarbeitung bei hohen Einsatztemperaturen. Die Beschichtungen werden mittels metallorganischer chemischer Gasphasenabscheidung (MOCVD) unter Verwendung von Feststoffprecursoren aus der Stoffgruppe der Carbonyle und schwefelhaltigem Reaktivgas aufgebracht. 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. Nach der Durchführung von Screeningversuchen unter Variation der Prozessparameter Temperatur, Gasfluss und Art des Trägergases in einer kleineren CVD-Anlage, erfolgte die Aufskalierung des Prozesses in einer größeren MOCVD-Anlage. In dieser wurde dann die Abscheidung der Beschichtung mit optimierten Prozessparametern auf Auswerferstiften und Probekörpern, an denen die Performance der Schicht analysiert werden konnte, realisiert.

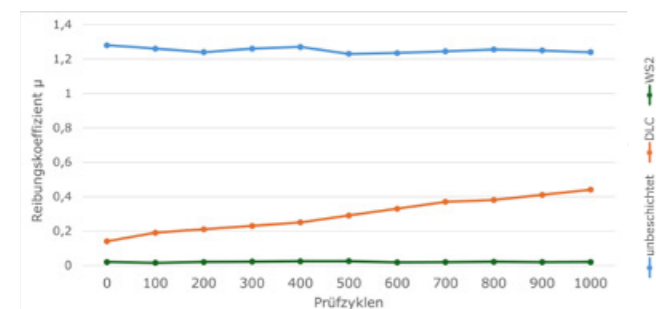


Abbildung 1: mit dem Reibprüfstand ermittelte Reibungskoeffizienten in Abhängigkeit vom Prüfzyklus; Messung auf Auswerfern aus 1.2210 bei 135°C



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. Dabei kam für die Förderung und Dosierung des Wolfram-Precursors die Minimalmengenförderung mittels Miniextruder 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 ca.  $\mu = 0,1$  der mittels Mikro-Tribo-Test (MTT) auf diversen Substraten und, vergleichend zu unbeschichteten Stählen, mit einer 100Cr6 Stahlkugel als Gegenkörper ermittelt wurde. Die Funktionsfähigkeit der Beschichtung wurde mit Hilfe von beschichteten Auswerferstiften an einem mit Ofen ausgestatteten Reibprüfstand nachgewiesen. Die Prüfungen mit einer Bewegungsgeschwindigkeit von 150 mm/s wurden sowohl bei Raumtemperatur als auch bei 135 °C durchgeführt. Dabei wurden auch DLC beschichtete und unbeschichtete Proben vergleichend gemessen. Parallel wurde die Technologie zur Minimalmengenförderung als auch die Verdampfertechnik für den Einsatz auf einer Industrieanlage angepasst und entsprechende Schichten abgeschieden. Auch wurden Bauteile zur Erprobung der Beschichtungen im Spritzgussprozess beschichtet. Zusammen mit den Projektpartnern Dreistegen GmbH und Stolz & Seng GmbH erfolgt die Übertragung der entwickelten Technik in die Industrieanwendung. Neben der Anwendung als Gleitbeschichtung für Auswerferstifte kann die Beschichtung auch im Bereich der Förderung von Wasserstoff oder Anwendungen im Vakuum zum Einsatz kommen.



Abbildung 2: Reibprüfstand ohne und mit Heizhaube



## ÜBERSICHT ÖFFENTLICH GEFÖRDERTER PROJEKTE 2023

## 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.

**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.

**FaeBS**

Funktionsauslegung und -erprobung eines innovativen Brennstoffzellen-Systems

**Laufzeit:** 01.11.2021 bis 29.02.2024  
**Förderkennzeichen:** 19I21035C  
**Fördermittelgeber:** BMWK  
**Förderträger:** TÜV Rheinland Consulting GmbH  
**Förderprogramm:** Neue Fahrzeug- und Systemtechnologien  
**Projektleiter:** Dr.-Ing. Anatoliy Batmanov

**IoT4CO2**

Entwicklung eines Systems zur Optimierung von CO<sub>2</sub>-Footprints in der Kunststoffindustrie

**Laufzeit:** 01.07.2023 bis 30.06.2025  
**Förderkennzeichen:** KK5023118GM2  
**Fördermittelgeber:** BMWK  
**Förderträger:** AiF Projekt GmbH  
**Förderprogramm:** ZIM FuE-Kooperationsprojekt  
**Projektleiter:** Alexander Paskowski, B.Eng.

**RADAR**

Reduzierung der Totzone von Radaren mithilfe innovativer Oberflächenstrukturierung der Radoms und wellenunterdrückender Mikrostreifentechnologie

**Laufzeit:** 01.06.2023 bis 31.05.2025  
**Förderkennzeichen:** KK5023117KX2  
**Fördermittelgeber:** BMWK  
**Förderträger:** AiF Projekt GmbH  
**Förderprogramm:** ZIM FuE-Kooperationsprojekt  
**Projektleiter:** Patrick Engemann, 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.

**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.

**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

Die genannten Forschungsvorhaben werden unterstützt durch: Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK)

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages

AMEDI

JAN-OLE MARAS, M.S.C.

ENTWICKLUNG EINER ANLAGENTECHNIK ZUR METALLDIREKTEINSPRITZUNG

Unsere Umgebung wird durch Smartifizierung immer intelligenter (Bsp. Smart Home Systeme). Um die, mit den steigenden Produkteigenschaften, gestiegenen Anforderungen an Prozesse und Verfahren zu bewältigen, wurde das Verfahren des Metalldirekteinspritzens in diversen Forschungsprojekten entwickelt. Dabei wird, ähnlich einem 2K-Prozess, flüssiges Metall in Kunststoffbauteile gespritzt, um hybride Kunststoff-Metall-Bauteile herzustellen. Für das Metalldirekteinspritzen müssen gegenüber den bisherigen Verfahren keine Halbzeuge gefertigt oder, wie bei dem MID-Verfahren, umweltgefährdende Chemikalien verwendet werden. Das Metalldirekteinspritzen zeichnet sich demnach durch einen einstufigen Prozess mit hohem Automatisierungsgrad aus.

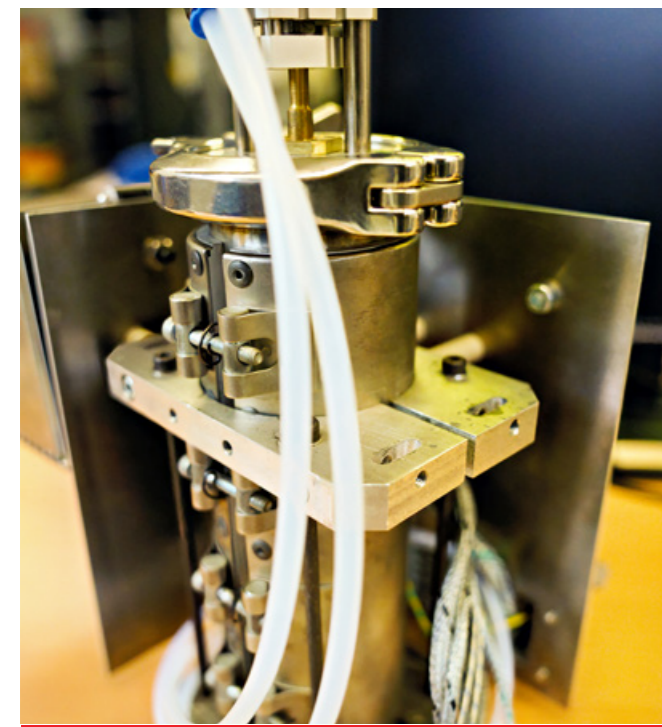


Abbildung 1: Prototyp der Metalldirekteinspritzanlage

Für die Erhöhung des Automatisierungsgrades muss eine qualifizierte Anlagentechnik vorhanden sein. Aus diesem Grund wurde gemeinsam mit der POLAR-FORM Werkzeugbau GmbH und der Balver Zinn Josef Jost GmbH & Co. KG das Forschungsprojekt „AMeDi“ ins Leben gerufen, um ebendiese Anlagentechnik zu entwickeln. In der ersten Projektphase fand eine Werkstoffauswahl

für den Bau des Metalldirekteinspritzaggregates statt. In dieser wurden unterschiedliche Werkstoffe mit verschiedenen Oberflächen und Beschichtungen der zu verspritzenden Metalllegierung ausgesetzt. Auf Basis der Werkstoffauswahl konnten erste Entwürfe für die Anlagenbestandteile Dosier- und Einspritzeinheit erstellt werden. Diese stellten die Grundlage für den Bau eines ersten Prototyps dar. Der in Abbildung 1 gezeigte Prototyp ist in der Lage Abschnitte der eingesetzten Metalllegierung aufzuschmelzen, aufzudosieren und einzuspritzen. Dabei können u. a. die Aufschmelztemperatur, die Dosiermenge und der Einspritzdruck eingestellt und geregelt werden. Dies muss in Abhängigkeit des herzustellenden Bauteils geschehen und bedarf einer individuellen Musterung. Neben dem Bau des Prototyps konnte in der zweiten Projektphase ein Spritzgießwerkzeug entwickelt und gefertigt werden, siehe Abbildung 2. Dieses Spritzgießwerkzeug ist speziell für die Anforderungen des Metalldirekteinspritzens ausgelegt. Somit kann mit Hilfe ebendieses Spritzgießwerkzeugs in nachfolgenden Projektschritten die Prototypenanlage qualifiziert und breite Tests mit unterschiedlichen Leiterbahngeometrien durchgeführt werden. Während dieser Prozessuntersuchungen wird eine innovative Materialzuführung für die Anlage entwickelt.

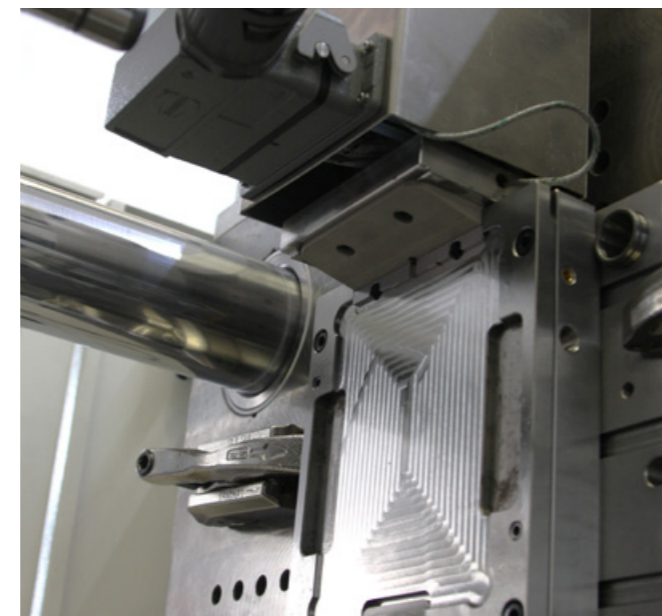


Abbildung 2: AMeDi Spritzgießwerkzeug



DRAKO

PATRICK ENGEMANN, M.S.C.

DRAHTLOSE KONTAKTIERUNG

Glatte Bauteiloberflächen mit Touchbedienung sind heute aus unserem Alltag kaum noch wegzudenken und halten in immer mehr Bereichen unseres Lebens Einzug. Insbesondere die voranschreitende Miniaturisierung eröffnet dabei neue Möglichkeiten. So konnte im Projekt „DraKo“ (Abk. Drahtlose Kontaktierung) erstmalig ein drahtloses Bedienpanel entwickelt werden, welches im Spritzguss angefertigt wird und bei dem die notwendigen elektronischen Bauteile vollständig im Kunststoff eingebettet sind. Hierdurch sind die elektronischen Komponenten vor äußeren Einflüssen wie Staub und Spritzwasser geschützt. Die gedruckten Leiterbahnen sorgen dabei für eine Energieverteilung innerhalb des Formteils und ermöglichen überdies ein kapazitives Bedienfeld mit neun Tasten. Eine dekorative Folie auf der Sichtseite des Formteils sorgt dafür, dass die elektronischen Komponenten dem Betrachter verborgen bleiben. Für die Kommunikation zwischen Bedienpanel und Basis sorgt eine IR-LED, die die Eingabe auf dem Bedienfeld optisch übermitteln. Die Eingabe kann von der dazugehörigen Basis, die auch als Energiequelle dient, entgegengenommen werden.

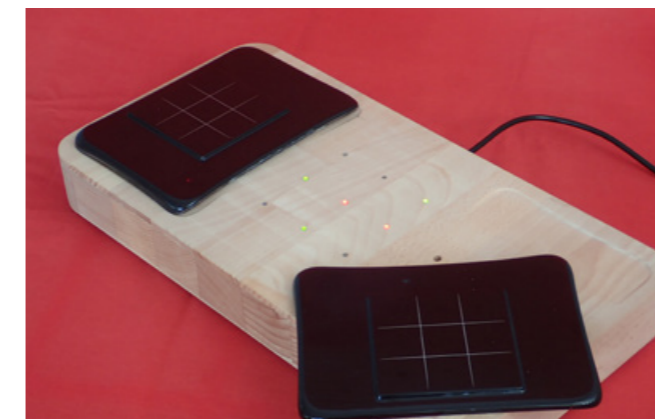


Abbildung 1: Demonstrator aus dem Projekt DraKo

Im Rahmen des Projektes wurde ein „Tik-Tak-Toe“-Demonstrator entwickelt, der die technischen als auch die optischen Möglichkeiten verdeutlicht. Die notwendige Energiequelle befindet sich innerhalb einer Holzbox, die gleichzeitig als Spielbrett dient. Die bereitgestellte Leistung reicht dabei aus, um die Bedienpanels durch die Holzoberfläche zu betreiben. Eine Öffnung in der Holzoberfläche ermöglicht die Kommunikation zwischen Bedienpanel und Basis. Die Energieversorgung der Bedienpanels erfolgt automatisch nach dem Auflegen des Bedienpanels. Eine optische Ausgabe der



Spielzüge erfolgt durch farbige LED in der Mitte des Spielfeldes. Darüber hinaus quittiert das Bedienpanel jeden Spielzug durch eine der neun roten LEDs auf dem Eingabefeld. Ein im Formteil integrierter Microcontroller verarbeitet dabei die Eingabe unmittelbar und gibt diese an die nachfolgende Datenschnittstelle weiter. Die Spielzüge erfolgen wechselseitig auf zwei baugleichen Bedienpanels.

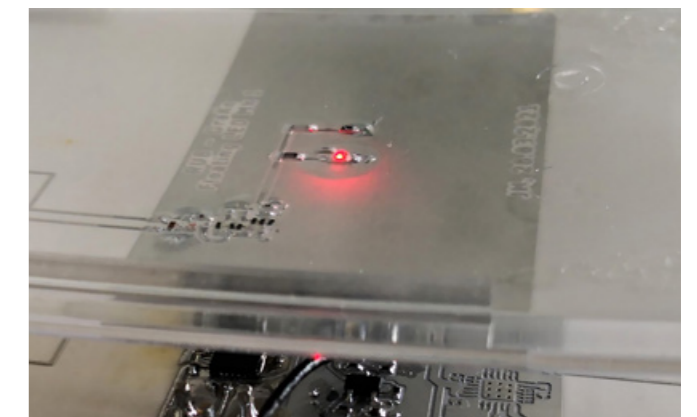


Abbildung 2: Versuchsstand zur Antennenentwicklung

Für den optisch hochwertigen Eindruck müssen zwei Folien gleichzeitig in einem Spritzgussprozess verarbeitet werden. Dabei handelt es sich um eine dekorative Folie für die Sichtseite und eine mit Elektronik bestückte Funktionsfolie auf der Rückseite des Formteils. Die Dekorfolie wurde dabei mit Linien versehen, die nicht nur optisch wahrnehmbar sind, sondern auch haptisch empfunden werden können. Die zeitgleiche Verarbeitung von zwei Folien machten die Entwicklung eines eigenen Werkzeugkonzeptes erforderlich, mit dem der Kunststoff zwischen die Folien in die Kavität gespritzt werden kann. Hierfür wurde ein entsprechendes Angusskonzept entwickelt, das den Spritzgussprozess zwischen den Folien ermöglicht. Realisiert werden konnte das Projekt durch die Zusammenarbeit der Niebling GmbH, der POLAR-FORM Werkzeugbau GmbH, der Pröll GmbH, der Ruhruniversität Bochum und der Gemeinnützigen KIMW Forschungs-GmbH.

FAEBS

DR.-ING. ANATOLIY BATMANOV

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 Lüdenscheld 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.

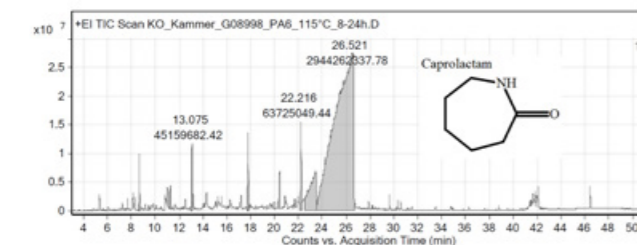


Abbildung 1: Chromatogramme und MS-Zuordnung aus Emissionsversuchen



Abbildung 2: Autoklav und Probekörper

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 - verbreitete 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. Im zweiten Jahr wurden die Versuche zur Quantifizierung durchgeführt und ausgewählte Materialien mittels GC-MS-Methode analysiert (Abbildung 1). Die prominentesten Signale wurden identifiziert und, sofern zutreffend, typischen Zusatzstoffen wie Stabilisatoren oder Prozesshilfen zugeordnet. Parallel zur Emissionsanalytik erfolgten Auslagerungsexperimente von Normprobekörpern vom Typ 5A in eigens zu diesem Zweck adaptierte Autoklaven (Abbildung 2), bei denen mutmaßliche Katalysatorgifte im Spurenbereich innerhalb verschiedener Szenarien nachgewiesen wurden. In den letzten Projektmonaten wurden die Versuche am ZBT, bei BMW und der KIMW Forschungs-gGmbH sinnvoll miteinander verzahnt: Die Belastungszyklen, die in den Testprotokollen der Prüfstände gefahren wurden, müssen mit den analytischen Randbedingungen in Einklang gebracht werden. Hier gilt es, zulässige Adaptionen der Prüfverfahren zu entwickeln, die eine legitime Korrelation von beobachteten Leistungsabfällen der PEMFC und der Konzentration bestimmter Kontaminanten erlauben.



IOT4CO2

ALEXANDER PASKOWSKI, B.ENG.

IOT-CO<sub>2</sub>-FOOTPRINT-OPTIMIERUNG IN DER KUNSTSTOFFPRODUKTION

Die Emission von Treibhausgasen, insbesondere von CO<sub>2</sub>, stellt eine der größten Herausforderungen an unsere globale Gemeinschaft dar. Um die ambitionierten, aber weitestgehend unbestritten als notwendig anerkannten Ziele des Pariser Abkommens von 2015 rechtzeitig umzusetzen, bedarf es einer massiven Anstrengung auf allen Ebenen von Politik, Industrie und Gesellschaft. Die abgeleiteten Handlungen durchdringen dabei alle Industriezweige und erfordern schnell umsetzbare Maßnahmen, die zwecks maximaler Akzeptanz von Barrieren auch für kleine und mittelgroße Betriebe gelten müssen. Vor diesem Hintergrund soll das Projektvorhaben speziell die kunststoffverarbeitende Industrie adressieren und dabei helfen, den resultierenden Veränderungen in der nationalen Gesetzgebung Rechnung zu tragen. Gemäß dem Gesetz zur Änderung des Brennstoffemissionshandelsgesetzes seit dem 10.11.2020 werden zukünftig die CO<sub>2</sub>-Emissionen entlang von Prozessketten zur Herstellung von Verbrauchsgütern erfasst und bepreist, um das Ziel der Treibhausgasneutralität bis 2050 zu erreichen. Seit 2021 sind demnach Erzeuger von Treibhausgasen dazu verpflichtet, ihre Emissionen zu dokumentieren und durch eine Prüfstelle verifizieren zu lassen. An diesem Punkt knüpft das Projekt IoT4CO<sub>2</sub> an und soll insbesondere für kleine und mittelständische Unternehmen eine Lösung darbieten, um ihre hergestellten Produkte entlang der Entstehungsprozesskette zu bilanzieren.

derem in der Automobilbranche gefordert wird, unabhängig von herstellerspezifischen Lösungen rechtsverbindlich zu ermitteln und ihren Kunden gegenüber darzulegen. Dabei soll das System in der Lage sein, Empfehlungen zur Variation ausgewählter Prozessparameter zu geben. Hierbei behält der Anwender die Kontrolle über Kosten, CO<sub>2</sub>-Fußabdruck und Produktqualität, wobei diese Kriterien unterschiedlich stark gewichtet werden können. Der Aufbau eines solchen Demonstrators markiert den Anfang des Entwicklungsprojekts, während die Entwicklung des dazugehörigen Kommunikations-Gateways und des Analysemoduls für die Cloud-Plattform zur Verarbeitung der gesammelten Daten sowie der Aufbau einer Pilotanlage und deren Integration in eine industrielle Umgebung weitere wichtige Schwerpunkte des Projekts bilden. Dazu gehören verschiedene Echtzeit-Datenanalysen, die in der Plattform implementiert sind und von der Überprüfung der Sensordaten bis hin zu den Algorithmen zur CO<sub>2</sub>-Bilanzierung reichen. Die Grundlage für die Anwendbarkeit auf verschiedene Sensoren und Anlagen bildet eine einheitliche Kennzeichnung aller übertragenen Daten im System (Metadaten-system), das auch Parameter für die Datenanalyse enthält. Um die Entscheidungsparameter realistisch darzustellen, ist es geplant, ein Demonstratorbauteil zu entwerfen, das auf verschiedenen Fertigungswegen hergestellt wird. Zum Abschluss des Projekts soll dieses Bauteil transparent hinsichtlich Qualität, Wirtschaftlichkeit und CO<sub>2</sub>-Bilanz sein.

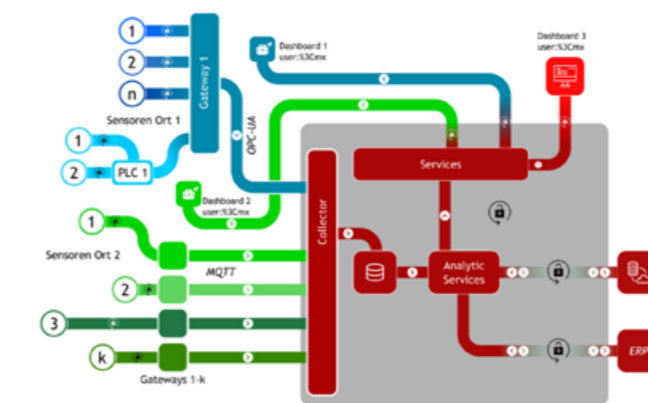


Abbildung 1: Schematische Darstellung des Demonstrators zur Prozessdatenerfassung

Das Ziel ist es, eine Lösung für die Anforderung einer CO<sub>2</sub>-Bilanzierung bereitzustellen, die es Kunden ermöglicht, den spezifischen Energiebedarf ihrer Produkte, wie er unter an-

**RADAR**

**PATRICK ENGEMANN, M.SC.**

**MINIMIERUNG DER TOTZONE**

Die Radartechnologie spielt eine zunehmend größere Bedeutung im industriellen als auch privaten Umfeld. Dies zeigt sich insbesondere im Hinblick auf das autonome Fahren im zukünftigen Straßenverkehr. Mit dem Projekt Radar hat sich die Projektgruppe das Ziel gesetzt, die Totzone im Nahbereich des Radars zu minimieren oder sogar zu eliminieren. Durch die neu zu entwickelnde Technologie wird es möglich, Objekte in unmittelbarer Nähe zum Radar zu erkennen und den Abstand zwischen dem Radarziel und dem Radar präzise zu ermitteln. Hierdurch entfällt die Notwendigkeit eines zweiten Messsystems zur Abtastung des Nahbereiches. Die Projektgruppe setzt sich dabei aus der Fa. Sondev GmbH, dem Präzisionsformenbau Gärtner GmbH, der Fachhochschule Südwestfalen und der Gemeinnützigen KIMW Forschungs-GmbH zusammen.

Erzielt werden soll dieser Effekt durch absorbierende Strukturen aus unterschiedlichen Werkstoffen auf der Oberfläche des Radoms, welche sich vor den Send- und Empfängerantennen befindet, sowie einer Struktur zwischen den Send- und Empfangsantennen, die übertretende Signale aus der Sendeantenne eliminieren soll. Um die Totzone eines Radars zu ermitteln, entstand im Rahmen des Projektes ein Versuchsstand, bei dem ein Radarziel millimetergenau an das Radar herangeführt werden kann. Ein Maßstab ermittelt dabei parallel den exakten Abstand zwischen dem Ziel und dem Radar. Mit Hilfe des Versuchsstandes können im weiteren Verlauf die mittels Spritzgusses eingebrachten unterschiedlichen Strukturen begutachtet und hinsichtlich ihres Einflusses bewertet werden. Für die praktischen Untersuchungen ist daher im weiteren Verlauf des Projektes die Herstellung eines Spritzgusswerkzeuges geplant, mit dem die Strukturen reproduzierbar abgebildet werden können. Darüber hinaus erfolgt eine Betrachtung der unterschiedlichen Strukturen auf dem Radom mittels Simulation, um eine Vorauswahl an geeigneten Konzepten treffen zu können. Um eine minimale Totzone zu erhalten oder diese eliminieren zu können, erfolgt parallel zur Entwicklung des Radoms eine Platinenentwicklung. Der Abstand zwischen Send- und Empfangsantenne wird dabei für die Anwendung optimiert und trägt dazu bei, dass es zu keinem Überspringen von der Sendeantenne auf die danebenbefindliche Empfangsantenne kommt. Darüber hinaus wird das Radom so an den Aufbau der Platine angepasst, dass jedes Signal aus den Sendeantennen optimal fokussiert wird, um eine Beeinträchtigung der Messung im Nahbereich zu verhin-

dern. Um ein innovatives Radarsystem zu erhalten, werden alle entwickelten Komponenten in ein eigens entwickeltes Gehäuse montiert und anschließend mit Hilfe des Versuchsstandes eingehend auf seine Funktionalität getestet.

Die neue Technologie soll unter anderem bei der Füllstands-ermittlung von industriellen Behältern Anwendung finden. Damit tritt das Radar mit den unterschiedlichsten Medien in Kontakt, die bei der Entwicklung berücksichtigt werden müssen. Um eine möglichst genaue Abbildung im Nahbereich zu erhalten, müssen anhaftende Verunreinigungen oder Kondensate durch ein entsprechendes Material und Oberflächenbeschaffenheit vermieden werden. Darüber hinaus wird eine Anwendung der neuen Technologie im Bereich des Automobils angestrebt, wo noch weitere Anforderungen an die Technologie gestellt werden.

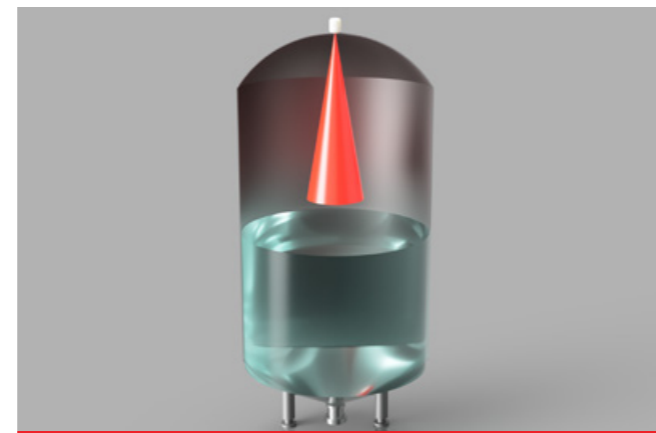


Abbildung 1: schematische Darstellung eines Füllstandssensors an einem Silo



**RE:EPP**

**KATHARINA PRAMMER, B.ENG.**

**WIE ALTE EPP-BAUTEILE OHNE UMWEGE EIN NEUES LEBEN ERHALTEN**

Gerade in der heutigen Zeit wird die End-Of-Life Betrachtung von Bauteilen zunehmend wichtiger. Während es im Bereich von kompakten Bauteilen von guten Ansätzen bis hin zu bereits geschlossenen Kreisläufen viele Lösungen gibt, sind im Bereich der Partikelschäume wie EPP die Herausforderungen noch zu lösen. Zwar gibt es bereits etablierte Verfahren, wie die Rückgewinnung von PP aus EPP, welches als Regranulat wiederverwendet werden kann, dennoch kann man sich die Frage stellen, ob für jeden Fall der Rückschritt von EPP zu PP notwendig ist, oder es einen kleineren Zyklus geben kann, der für einige Anwendungen vollkommen ausreichend ist.



Abbildung 1: Kreislaufführung und die Auswirkungen auf den CO<sub>2</sub>-Fußabdruck

Bei der Auslegung von Recyclingkreisläufen sollte man berücksichtigen, dass der Fußabdruck umso größer ist, je weiter man in der Prozesskette zurückgeht, wie in Abbildung 1 dargestellt. Das Projekt Re:EPP verfolgt den Ansatz, den kleinstmöglichen Recyclingkreislauf zu entwickeln, um das größtmögliche Einsparpotenzial an CO<sub>2</sub>-Emissionen zu erlangen. Hierfür werden zurückgeführte Bauteile in der bestmöglichen Qualität geschreddert und dem Prozess wieder zugeführt. Hierbei ist besonders auf die Prozessierbarkeit, aber auch Qualität der Bauteile zu achten. Durch den Prozess des Schredderns wird das Grundmaterial, die sogenannten Beads, zum Teil zerstört, was beim Fertigungsprozess und auch bei den Materialeigenschaften eine Rolle spielt. Sind diese Beads als Virgin-Material rund und mit geschlossener Oberfläche, so finden sich im Mahlgut überwiegend Beads mit offener Oberfläche. Dies stellt den Verarbeiter vor gewisse Herausforderungen, da sich dieses Rohmaterial in der Verarbeitung vollkommen anders verhält als das bisher gängige EPP-Rohmaterial. Die Verarbeitung der Recyclingbeads wird in verschiedenen Beigabemengen erprobt. Angestrebt wird die größtmögliche prozentuale Beimischung, um die größtmöglichen Energie-

und CO<sub>2</sub>-Einsparungen zu erzielen, ohne einen merklichen Qualitätsverlust oder Einbußen bei den optischen und vor allem mechanischen Eigenschaften. Im Rahmen der ersten Bemusterungen traten gerade hinsichtlich der Oberflächeneigenschaften neue Effekte auf, die sich im späteren Verlauf positiv auf z. B. Beschichtungen oder Folierungen auswirken könnten, da sich die Oberfläche glatter ausprägt und somit die charakteristische Schaumperlenstruktur verändert wird, was ein Vorteil sein kann, je nach Anwendungsgebiet. Zusätzlich zu der Machbarkeit und Prozessierung steht auch die Anzahl von möglichen Zyklen im Fokus. Hierfür werden die im Projekt hergestellten Bauteile mehrfach recycelt, um zu ermitteln, wie sich die Qualität im Laufe der Zeit verändert. Hierbei können sowohl Qualitätsminderungen auftreten oder sich neue Eigenschaften ergeben, die für neue Anwendungsfälle geeignet sind. Dies gilt es im weiteren Projektverlauf zu ermitteln. Zusätzlich zum Grundmaterial werden Oberflächendekore erprobt, die eine ebene Oberflächenprägung ermöglichen und damit die Anwendungsgebiete erweitern. Erste Bemusterungen haben gezeigt, dass unter Verwendung von 100% Recyclingmaterial eine glatte Oberfläche mit 250 µm starken Folien gut umsetzbar ist.



Abbildung 2: Möglichkeiten zur Oberflächenausprägung mit 250 µm PC-Folie

Wie in Abb. 2 zu sehen ist, ist die mit Folie versehene Oberfläche (rechts im Bild) geschlossenporig und damit leichter zu reinigen als die „normale“ Oberfläche von EPP-Bauteilen aus Virgin-Material (links im Bild). Weitere Dekormöglichkeiten, wie zum Beispiel der Einsatz von bedruckten Dekorfolien und weiteren Materialien, werden im Rahmen des Projektes begleitend zur Materialentwicklung ebenfalls betrachtet.



**TIGER**

**CHRISTIAN RUST, M.ENG.**



**GEWICKELTE THERMOPLASTISCHE EINLEGER**

Das TIGER-Projekt hat das Ziel, einen einstufigen Produktionsprozess für thermoplastisch spritzgegossene Hybridbauteile zu entwickeln, basierend auf gewickelten thermoplastischen Halbzeugen. Durch die Verwendung des entwickelten Composite-Wickelhalbzeugs von Inometa konnten hochpräzise und hochfeste Demonstrator-Bauteile hergestellt werden. Die gewickelten thermoplastischen Composite-Halbzeuge zeichnen sich durch geringe Wanddicken und hohe maßliche Genauigkeit aus und eröffnen somit Potenziale für bisher wirtschaftlich unrentable Faserverbundbauteile.

Die erzielten Ergebnisse können als äußerst erfolgreich betrachtet werden. Die Zugfestigkeit konnte durch den entwickelten Prozess von 35,2 MPa auf 75,1 MPa mehr als verdoppelt werden. Besonders bei der Berstdruckfestigkeit wurde eine signifikante Steigerung von 545 % nachgewiesen, insbesondere bei dünnen Wandstärken. Dies unterstreicht das Potenzial des Verstärkungsmaterials.

Ein entscheidender Schwerpunkt des Projekts lag auf der Entwicklung eines automatisierten Einlegeprozesses für die präzise gewickelten Einleger. Der Einlegeprozess wurde so konzipiert, dass eine maschinelle, automatisierte Einlegung der Halbzeuge in das Spritzgießwerkzeug möglich ist. Dies ist essenziell, um den Prozess wirtschaftlich zu gestalten. Die erfolgreiche Versuchstechnik zur Erprobung unterschiedlicher Fixierungsmöglichkeiten hat gezeigt, dass eine präzise Halbzeugeinlegung realisierbar ist. Die Weiterverarbeitung der gewickelten thermoplastischen Halbzeuge im Spritzgießprozess ermöglichte nicht nur die Funktionsintegration, etwa durch das Anspritzen von Schnapphaken, sondern auch die Reduzierung des Bauteilteilgewichts durch partielle Substitution von metallischen Einlegern.

Die Verwertung der Projektergebnisse sieht Inometa in der Bearbeitung verschiedener Kundenanfragen, während die KIMW Forschungs-gGmbH und der Werkzeugbau Röttger die Ergebnisse bereits erfolgreich auf Messen wie der Kuteno präsentierten. Direktes Kundeninteresse zeigt sich bei Inometa im Bereich Aerospace & Defense für den Bau hochfester Rahmen und beim Werkzeugbau Röttger bei der Herstellung hochgenauer Rundlaufbauteile. Die erzielten Ergebnisse bieten nicht nur Potenzial zur Umsatzsteigerung durch die Vermarktung bei Projektpartnern, sondern auch durch das Angebot neuer Produkte und Leistungen. Die Vielseitigkeit der gefertigten Probekörper und die beeindruckende

Erhöhung der Berstdruckfestigkeit von 545 % durch die Einbringung der gewickelten Hülsen sind dabei klare Alleinstellungsmerkmale. Zukünftig werden die Projektpartner aktiv auf verschiedene Kundenkreise zugehen und die Ergebnisse gezielt bewerben.

Das TIGER-Projekt wurde mit Erfolg abgeschlossen. Die erzielten Ergebnisse und Innovationen versprechen nicht nur eine nachhaltige Steigerung der Bauteilqualität, sondern eröffnen auch neue Perspektiven für die Wirtschaftlichkeit und Marktfähigkeit der entwickelten Technologie.



Abbildung 1: Gewickelte thermoplastische Einleger

**QUALODOROMAT**

**DIPL.-ING. JENS HÜNDORF**



**ENTWICKLUNG EINES GERÄTS ZUR GERUCHSBEWERTUNG VON KUNSTSTOFFEN**

Das ZIM-Kooperationsprojekt "Qualodoromat" (hervorgegangen aus dem ZIM-Innovationsnetzwerk 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 sich auf eine technische Lösung: die „Künstliche Nase“ für Kunststoffproben. Basierend auf Kunststoffproben, die von Experten der Gemeinnützigen KIMW Forschungs-GmbH recherchiert, beschafft und mittels menschlicher Nase vermessen worden sind, erfolgt die Modellierung von Geruchsprofilen durch Genie Enterprise. Hierfür werden verschiedene aktuelle KI-Verfahren eingesetzt und adaptiert. Hierdurch soll es gelingen, Kunststoffproben automatisiert in Geruchsprofile einzuordnen und daraus objektiv Geruchsnoten abzuleiten. Durch das Zusammenspiel der verschiedenen Komponenten eines Kunststoffes, ergeben sich hoch komplexe Daten für die Geruchsbewertung. Diese werden schrittweise aufbereitet, vorverarbeitet und final ML-Modellen als Trainingsmaterial zugeführt. Im aktuellen Projektfortschritt konnte gezeigt werden, dass ohne Vorkenntnisse über das Material oder dessen Zusammensetzung, sowie ohne Nutzung spezifische Informationen über Stoffgruppen bereits Geruchsbewertungen vorgenommen werden können, die im Varianzbild menschlicher Bewerter liegt (siehe Abb. 1). Bei entsprechender Regressionsaufgabe mit Testdaten, die nicht in Trainingsdaten enthalten waren, gelingt es bereits ebenfalls im Varianzspektrum menschlicher Verprober zu bleiben (mittlerer Fehler liegt bei 0,5 Notenwerten). Aktuell werden weitere Datenerhebungen durchgeführt, die für Opti-

mierungen an den Modellen verwendet werden. In weiteren Schritten des Projektes werden außerdem Untersuchungen vorgenommen, wie Kombinationen von Gassensoren und Nicht-Gassensoren zur weiteren Verbesserung der Klassifikationsleistung beitragen.

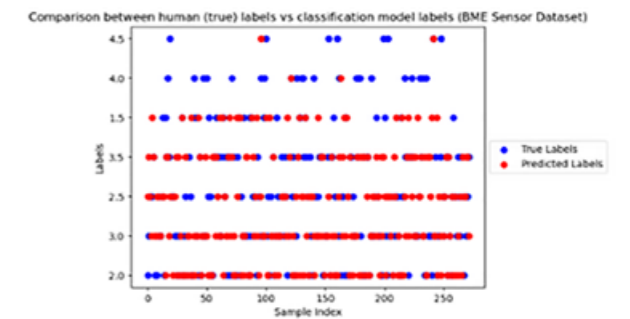


Abbildung 1: Vergleich von menschlicher Geruchsbewertung (ground truth; blaue Punkte) und automatisch klassifizierten Ergebnissen (rote Punkte).

Die Hochschule Trier entwickelt einen Forschungsdemonstrator, 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 hat sich die Hochschule Trier und Genie Enterprise Aspekten der aktiven Sensorsteuerung gewidmet. Hier werden Verfahren des Adaptive and Behavioural Learnings auf die Adaption von Sensorparametern übertragen. Durch das Zusammenwirken von KI-Verfahren, Sensoradaptation, unterstützender Robotik und Expertenwissen aus der Geruchsprüfung, kann das ZIM-Kooperationsprojekt "Qualodoromat" ein objektives und performantes System für die Geruchsbewertung von Kunststoffen schaffen.

## ÜBERSICHT ÖFFENTLICH GEFÖRDERTER PROJEKTE 2023

### BEREICH: WERKZEUGTECHNIK

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

#### MikrOHD

Entwicklung einer Heißkanaldirektanspritzung für mikrooptische Bauteile

**Laufzeit:** 01.02.2023 bis 31.01.2025  
**Förderkennzeichen:** 16KN100533  
**Fördermittelgeber:** BMWK  
**Förderträger:** VDI/VDE Innovation + Technik GmbH  
**Förderprogramm:** ZIM-Innovationsnetzwerke  
**Projektleiter:** Dipl.-Ing. (FH) Matthias Militsch

#### 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:** IraSME  
**Projektleiter:** Alexander Paskowski, B.Eng.

Die genannten Forschungsvorhaben werden unterstützt durch:  
 -Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK)

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses  
 des Deutschen Bundestages

#### TemPor

Optimierte Entlüftung von Spritzgießwerkzeugen durch zyklisch hochtemperierte poröse Werkzeugeinsätze

**Laufzeit:** 01.07.2021 bis 31.12.2023  
**Förderkennzeichen:** KK5023106KX1  
**Fördermittelgeber:** BMWK  
**Förderträger:** AiF Projekt GmbH  
**Förderprogramm:** ZIM FuE-Kooperationsprojekt  
**Projektleiter:** Dipl.-Ing. (FH) Matthias Militsch

#### VEPP

Entwicklung einer Verbundschicht aus EPP im One Shot

**Laufzeit:** 01.08.2023 bis 31.07.2025  
**Förderkennzeichen:** 49MF220224  
**Fördermittelgeber:** BMWK  
**Förderträger:** EURONORM GmbH  
**Förderprogramm:** INNO-KOM  
**Projektleiter:** Katharina Prammer, B.Eng.

## MIKROHD

### DIPL.-ING. (FH) MATTHIAS MILITSCH

#### ENTWICKLUNG EINER HEISSKANALDIREKTANSPRITZUNG FÜR MIKROOPTISCHE BAUTEILE

Wie bereits in anderen Bereichen, wird auch in der Produktion von Mikrooptiksystemen die Verwendung von Heißkanälen immer relevanter. Dies hat einerseits mit den hohen Kunststoffmaterialkosten zu tun, aber auch mit dem Thema Nachhaltigkeit, da bei einem, mit einem Kaltkanal produzierten Bauteil sehr viel Angussabfall anfällt, der danach für optische Anwendungen nur schwierig wiederzuverwerten ist. Dieser Angussabfall kann das Formteilmgewicht deutlich übersteigen, da hier großzügig dimensionierte Fließkanäle die Nachdruckübertragung gewährleisten sollen. Gerade bei größeren Stückzahlen, wie sie z. B. im Telekommunikationsmarkt benötigt werden, gibt es erhebliche Einsparpotentiale. Weitere Potentiale ergeben sich bei der aufwändigen und kostenintensiven Nacharbeit der Angusstrennung. Aktuell wird die Angusstrennung in den meisten Fällen noch manuell durchgeführt, wobei es immer wieder zu hohen Ausschussraten durch Beschädigungen der Optik kommt. Ziel des Projektes ist es daher, ein Konzept zu entwickeln, bei dem man die Mikrooptiken direkt mit einem Heißkanal anbinden kann, um, wie oben beschrieben, einerseits die Materialkosten zu minimieren, aber auch den Aufwand der Nacharbeit und somit weitere Kosten zu reduzieren.

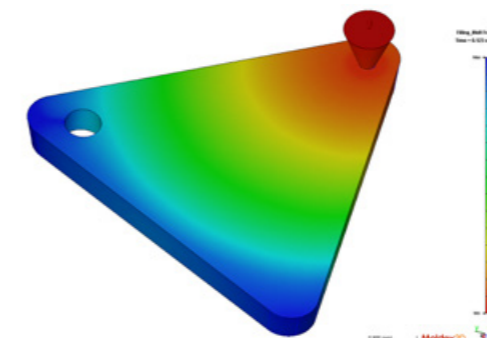


Abbildung 1: Füllsimulation des Demonstratorbauteils

Diese Projektidee bringt gleich mehrere Risiken zum Thema Heißkanal und Werkzeugauslegung mit sich. Hier ist insbesondere die Thematik zur Auswahl des Anspritzpunktes zu nennen. Da auch hier, wie bei allen anderen optischen Bauteilen, nur der optisch nicht funktionale Bauteilrand als Möglichkeit in Betracht kommt, dieser aber bei Mikrooptiken nur wenige Millimeter hoch ist, muss dementsprechend

auch die Heißkanaldüse in der Größe deutlich reduziert werden. Außerdem müssen für die Weiterverarbeitung und die Montage als Optiksistem in ein Gehäuse, die Außendurchmesser sehr sauber und präzise sein. Zudem dürfen keine "Fädchen" vom Abreißen überstehen, die bei der späteren Montage stören bzw. zum Ausschuss der Optik führen können. Zusätzlich spielt die benötigte Oberflächenqualität der Mikrooptiken, welche in der Regel im Nanometerbereich liegt sowie die Formtreue im  $\mu\text{m}$ -Bereich, eine große Rolle. Zum Erreichen solcher geringer Toleranzen sind eine sehr präzise Steuerung der benötigten Materialmenge, identische Druckverhältnisse, aber auch eine sehr gute Temperaturführung notwendig. Als Demonstrator wird ein flaches Bauteil gewählt, das bei der Überprüfung der optischen Eigenschaften das Licht geradlinig durchlässt. Der Anspritzpunkt ist sehr klein und am Bauteilrand. Ein Durchbruch soll eine Binde-naht als Fehlerquelle hervorrufen. Ziel der Konstruktion des Heißkanals ist ein geringes Schmelzkanalvolumen bei gleichzeitig geringem Druckbedarf. Im Vorfeld werden die verschiedenen Geometrien mit mehreren Materialien und unterschiedlichen Viskositäten simuliert, um den Druckbedarf abschätzen zu können und die Kombination aus Düsen und Verteiler zu optimieren. Das Werkzeug mit Heißkanal wird im Technikum gemustert, um die Einflüsse der Verfahrensparameter zu bestimmen und eine Arbeitspunktoptimierung durchzuführen. Die Bauteile werden auf ihre optische Qualität und eventuelle Materialschädigungen untersucht.

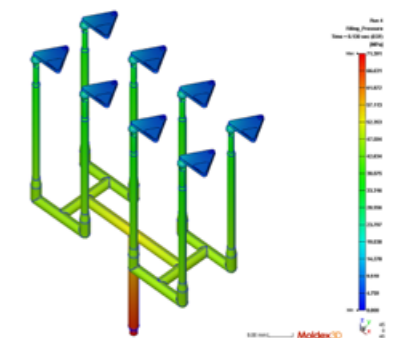


Abbildung 2: Simulation der Schmelzkanäle



**SUB-MI-T**

**ALEXANDER PASKOWSKI, B.ENG.**

**NEUES VERFAHREN ZUR ABBILDUNG NANOSTRUKTURIERTER WERKZEUGE**

Auch heute noch gewinnen Sub-Mikrometer strukturierte Oberflächen in der Industrie und Technik immer mehr an Bedeutung. Die gezielte Manipulation von Licht bei transparenten Bauteilen, das Schaffen einzigartiger Oberflächenstrukturierung mit besonderen Eigenschaften oder die Realisierung neuartiger Lösungsansätze im Bereich der Mess- und Sensortechnik sind dabei nur einige nennenswerte Vorteile. Um diese Bauteile schnell und effektiv in hoher Stückzahl mittels urformenden Verfahren in Kunststoff zu replizieren, muss hierbei das formgebende Werkzeug bereits über eine solch feine Strukturierung verfügen. Neben den galvanischen und lithografischen Verfahren zur Herstellung dieser Strukturen, beschäftigt sich das Projekt Sub-Mi-T hiergegen mit einer völlig neuen Methode zur Herstellung solch metallischer Werkzeugeinsätze.

Im Gegensatz zu gängigen Formherstellungsverfahren verfolgt das Projekt einen neuen Fertigungsverfahren. Im ersten Schritt wird die formdefinierende Urform mittels 2-Photon-Polymerisation (2PP) hergestellt. Die Urform wird im Anschluss mit der sogenannten Glassomer® Technologie in ein hochtemperaturstabiles Quarzglasgefüge umkopiert. Die kopierte Form kann anschließend über ein Metallguss- oder Metallprägeverfahren in ein amorphes Metall übertragen werden, welches den klassischen Werkzeugeinsatz bildet. Hierdurch ergibt sich einerseits der Vorteil der schnellen Werkzeugeinsatzherstellung sowie andererseits der reduzierten Herstellungskosten.

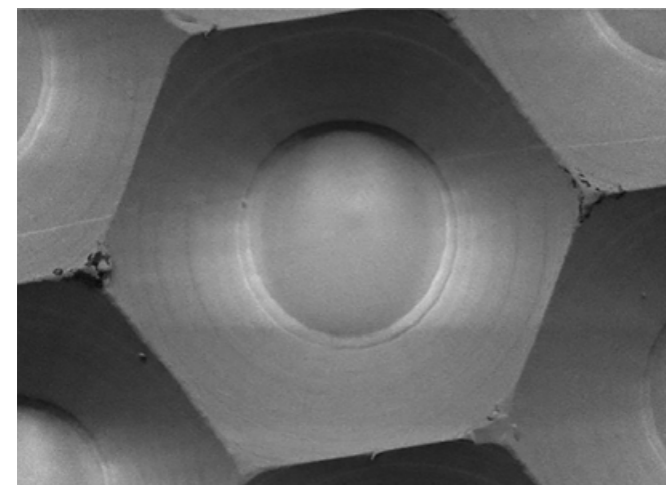


Abbildung 1: REM-Aufnahme Ionenkonverter

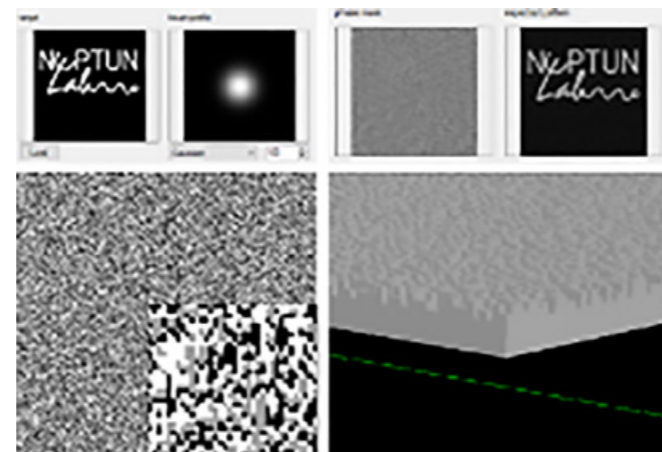


Abbildung 2: Diffraktive Optik; Simulation und Herstellung des Bauteiles

Nach der Definition der zu untersuchenden Geometrien und der Festlegung relevanter Strukturen innerhalb des Forschungsprojektes wurde die Glassomer®-Formulierung angepasst. Durch eine geeignete Rezepturumstellung mit Partikelgrößen <20 nm wurden zunächst PDMS Urformen untersucht. Dabei ließen sich bereits Strukturen mit einer Auslösung von <400 nm korrekt abformen. Gleichzeitig wurde die 2PP parametertechnisch soweit angepasst, dass nun Liniengrößen <150 nm mit Strukturhöhen von 250 nm mit einem reduzierten Stitching-Effekt möglich sind.

Nach der Herstellung der ersten Glassomer®-Bauteile, mit den zuvor definierten Geometrien, wurden unterschiedliche Analysemethoden hinsichtlich ihrer Leistungsfähigkeit (Auflösung, Messdifferenz sowie Aspektverhältnisse) charakterisiert. Hierbei macht eine Kombination aus Rasterelektronenmikroskopie, Konfokalmikroskopie sowie der Laserfunktionsüberprüfung es nun möglich, die Abformbarkeit jedes einzelnen Prozessschrittes beurteilen zu können. Zusätzlich kann die Funktion des DoE's (Diffraktives optisches Element) durch einen Messaufbau verifiziert und der Abformgenauigkeit zugeordnet werden.

In den nachfolgenden Schritten werden die 2PP hergestellten Urformen in ein amorphes Metall überführt und ein Werkzeugeinsatz konstruiert, um so die Kunststoffreplikation sowie die Standfestigkeit der selbst erzeugten Werkzeugeinsätze zu beurteilen.



**TEMPOR**

**DIPL.-ING. (FH) 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 durchgeleitet wird. 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.

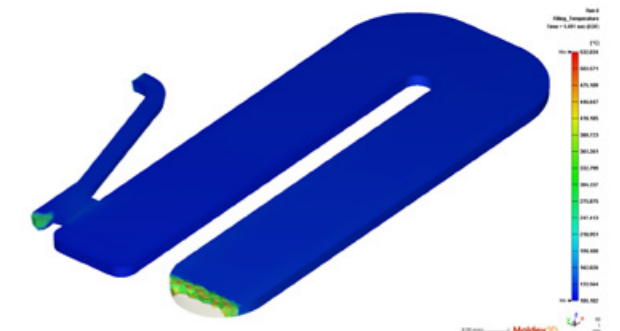


Abbildung 2: Entlüftungssimulation



## VEPP

## KATHARINA PRAMMER, B.ENG.

## VERBUND VON EPP UND SPRITZGUSS IM ONE-SHOT-VERFAHREN

Die Kombination aus Spritzguss und EPP ist in der heutigen Zeit immer mehr gefragt. Die Vorteile des Werkstoffes EPP, mit seinem Anteil von bis zu 96% Luft, liegen sowohl im Bereich der Gewichtsreduzierung als auch im geringeren Materialeinsatz und der damit einhergehenden Kosteneinsparpotenziale. Zudem hat EPP eine hohe Dämmwirkung, welche je nach Anwendungsfall für Energieeinsparung genutzt werden kann.

Kombiniert mit Spritzguss als kompakte „Außenhaut“ ergibt sich eine Bauteilstruktur, die ähnlich einem Knochen aufgebaut ist, sehr hohe Festigkeit und Steifigkeit und dennoch ein geringes Bauteilgewicht aufweist. Zudem kann durch die glatte Oberfläche des Spritzgusses eine geschlossene Oberfläche realisiert werden, die nicht nur leichter zu reinigen ist, sondern auch eine höhere Akzeptanz durch Dekorierbarkeit und Funktionalisierung zeigt.



Abbildung 1: Knochenstruktur

Die Fragestellung, mit der sich das Projekt VEPP auseinandersetzt ist, wie man ein Verfahren entwickelt, mit dem es möglich ist, EPP auf einer Spritzgussmaschine zu verarbeiten und hybride Bauteile herzustellen.

Ziel hierbei ist es, eine Verfahrenskombination zu entwickeln, bei der in einem Werkzeug sowohl das EPP-Bauteil als auch die Spritzgusskomponente hergestellt wird. Bei der Konzipierung des Verfahrens wird eine Lösung angestrebt, bei der zunächst das EPP-Bauteil geschäumt und dann im zweiten Schritt mit Kunststoff umspritzt wird, sowie der umgekehrte Schritt, also erst die Herstellung der Spritzgusskomponente und dann die EPP-Komponente als Hinterschäumung.

Die Auswahl der Reihenfolge spielt sowohl im Bereich der Dekorationsverfahren eine Rolle als auch bei der Bauteilauslegung, die von dem Einsatzgebiet des herzustellenden Bauteils abhängt. Wird zunächst die Spritzgusskomponente gefertigt, kann diese zum Beispiel mittels Folienhinterspritzen veredelt werden. Zusätzlich zum dekorativen Aspekt könnte eine Funktionalisierung mittels gedruckter Elektronik auf den Folien ebenfalls umgesetzt werden.

Im umgekehrten Fällen, also der Herstellung der EPP-Komponente im ersten Schritt, kann diese nahezu vollständig umspritzt werden. Eine nachträgliche Lackierung wäre durch die geschlossene Bauteiloberfläche der Spritzguss-haut in beiden Fällen möglich.

Die Realisierung der Technologie erfolgt in Anlehnung an die bereits etablierten Werkzeugtechnologien aus dem Bereich des Mehrkomponentenspritzgusses. Hierbei werden für gewöhnlich in einem zweistufigen Prozess zwei Spritzgusskomponenten miteinander zusammengebracht. Ziel des Projektes ist es, die zweite Spritzgusskomponente durch EPP zu ersetzen. Um dies zu realisieren, muss ein Werkzeug entwickelt werden, welches so modifiziert wird, dass sowohl die Peripheriekomponenten für die Verarbeitung von EPP angeschlossen und auch angesteuert werden können als auch der Verarbeitungsschritt des EPP-Rohmaterials ermöglicht wird.

Hierbei soll auf ein dampffreies Verfahren zurückgegriffen werden, welches eine energieeffizientere Fertigung darstellt und zeitgleich die Verarbeitung bei einem Spritzguss-Verarbeiter ohne erhöhte Investitionen in neue Maschinen und Dampfversorgung ermöglicht.

Durch ein solches Verfahren werden die notwendigen Prozessschritte für die Fertigung eines Hybridbauteils auf das Minimum reduziert. Die Prozesskette, die für gewöhnlich die Herstellung der ersten Komponente auf einer ersten Maschine, sowie das Hinzufügen der zweiten Komponente auf einer zweiten Maschine und dem Transport dazwischen beinhaltet, wird somit eliminiert und zu einem sogenannten One-Shot-Prozess zusammengeführt. Durch die Reduktion von Prozessschritten werden Energieverbrauch, Verpackungskosten und Personalressourcen eingespart und die Gefahr von Ausschuss minimiert. Zusätzlich dazu kann auf eine Maschine, und zwar für die Herstellung von EPP-Bauteilen, gänzlich verzichtet werden, wodurch Platz, Energie, Wartung und Instandhaltung sowie Investitionskosten eingespart werden können.

## ÜBERSICHT VORWETTBEWERBLICHER EIGENFORSCHUNGSPROJEKTE

## BEREICH: VORLAUFFORSCHUNG

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

**DecoFoam**

Oberflächenoptimierung geschäumter Bauteile mittels IMD

**Projektleiter:** Alexander Paskowski, B.Eng.

**RFID**

Integration von RFID-Tags in Spritzgießbauteile

**Projektleiter:** Christian Rust, M.Eng.

**3D-Hartstoffschichten**

Harte Beschichtungen für komplexe Geometrien

**Projektleiter:** Dipl.-Ing. Frank Mumme

**BioDeCoat**

Entschichten von lackierten Kunststoffbauteilen

**Projektleiter:** Dr. Angelo Librizzi

**Precursormodifikation**

Angepasste Precursoren für die Abscheidung von Beschichtungen im MOCVD Verfahren

**Projektleiter:** Dipl.-Ing. Frank Mumme

**Fördersystem für Feststoffe**

Weiterentwicklung der innovativen Fördertechnik

**Projektleiter:** Dipl.-Ing. Frank Mumme



## DECOFOAM

ALEXANDER PASKOWSKI, B.ENG.

### OBERFLÄCHENOPTIMIERUNG GESCHÄUMTER BAUTEILE MITTELS IMD

In-Mould-Decoration (IMD) ist ein Verfahren zur Oberflächenveredelung, das hochwertige Sicht- und Funktionsoberflächen im Spritzgießzyklus ermöglicht. Dabei wird eine dünne Folie mit dem gewünschten Oberflächeneffekt in der Spritzgießform befestigt. Durch den Druck und die Temperatur der Kunststoffschmelze wird die Oberflächenveredelung auf das Bauteil übertragen und bildet eine feste Verbindung zwischen Lackschichten und Substrat. Dies ermöglicht unter anderem Hochglanz- oder elegant matte Oberflächen im Fahrzeuginnenraum oder die Funktionsintegration in geschlossene Oberflächen für die Fahrzeugbedienung.

Im Gegensatz dazu steht das thermoplastische Schaumspritzgießen (TSG), ein spezielles Verfahren zur Herstellung von Kunststoffprodukten mit dem Ziel, das Bauteilgewicht zu reduzieren. Durch das Einbringen von Inertgasen in die plastifizierte Formmasse und die Nukleierung in der Formgebungsphase, wird ein Teil des Formvolumens durch Gas ersetzt. Das Ergebnis ist ein Bauteil mit einer kompakten Randschicht und einem Kern aus einer Porenstruktur. Neben der offensichtlichen Materialeinsparung durch das Ersetzen von Kunststoff durch Gas sind weitere Gewichts- und Materialeinsparungen durch das Aufweichen von kunststoffgerechten Konstruktionsrichtlinien möglich. Beispielsweise ist die Gefahr von Verzug aufgrund von Materialanhäufungen bei Verrippungen oder Ecken reduziert. Dies erhöht den Freiheitsgrad beim Design und der Konstruktion von Bauteilen mit hohen Anforderungen an Qualität und Anmut. Ein weiterhin großer Nachteil bei marktetablierten TSG Verfahren ist jedoch noch die Oberflächenqualität etwaiser Bauteile. Durch die Expansion des Treibgases während der Füllphase, beginnt bereits die Porenbildung. Durch die Quellströmung werden diese Poren an die Kavitätsoberfläche transportiert und zeichnen sich dort als silberschlierige Oberfläche ab. Um dieses Problem zu umgehen, sind Industrieunternehmen gezwungen weitere aufwendige Werkzeugtechnik im Bereich der Variothermie einzusetzen.

An diesem Punkt soll die Verfahrenskombination aus IMD und TSG unter dem Namen „DecoFoam“ angreifen. Durch die Untersuchung in der Zusammenarbeit mit Folienherstellern sowie den späteren Anwendern sollen die Vorteile beider Verfahren kombiniert werden. Die Hauptaugenmerke der Vorlauftforschung liegen dabei einerseits auf der Implementierung bekannter Sonderverfahren und die Veränderung bzw. Optimierung bestehender Werkzeug- und

Beschichtungstechniken, um im Vorfeld die Oberflächenqualität für den IMD-Prozess vorzubereiten. Der zweite große Schwerpunkt liegt gleichzeitig in der Betrachtung und Veränderung der Dekorfolien sowie der Lackformulierungen für die Nutzung im Schaumspritzgussbereich. Durch das Zusammenführen beider Sonderlösungen sollen somit hochwertige Sichtbauteile mit reduziertem Eigengewicht produziert werden können.



Abbildung 1: Verfahrenskombination TSG (oben) mit IMD (schwarze Dekorfolie unten)

## BIODECOAT

DR.-ING. ANGELO LIBRIZZI

### ENTSCHICHTEN VON LACKIERTEN KUNSTSTOFFBAUTEILEN

Die marktübliche Verwertung von post industrial waste (piw) und post consumer waste (PCW) laminierten Kunststoffbauteile und laminierten Textilien ist ein Zuführen zum thermischen Recycling. Dieses, als „verbrennen“ zusammenfassendes Verfahren, setzt CO<sub>2</sub> frei und verhindert, dass die Rohstoffe, die den Materialien zugrunde liegen, in den Wertstoffkreislauf zurückgeführt werden können. Der Materialstrom ist somit nicht in einem Kreislauf geschlossen, da zur Produktion neuer Teile immer neue Rohware benötigt wird. Dies ist gerade bei rohölbasierenden Materialien, wie den Kunststoffbauteilen zugrundeliegenden Polymeren PC, ABS, PMMA etc., als auch deren Beschichtungen aus vor allem PU, Acrylat und PVC nicht nur aus ökologischer Sicht bedenklich. Auch unter der Betrachtung ökonomischer Faktoren – Deutschland hat keine Rohölvorkommen vorzuweisen – liegt es nahe, die in Deutschland und der EU anfallenden PIW- und PCW-Ströme nicht zu verbrennen, sondern diese aufzuarbeiten. Zudem hat die Europäische Kommission ein umfangreiches Programm für das Recycling von Kunststoffen gestartet: Die Circular Plastics Alliance, in der über 100 private und öffentliche Akteure aus der gesamten Kunststoff-Wertschöpfungskette ein Versprechen unterzeichneten, die Menge an recyceltem Kunststoff von 4 Mio. t auf 10 Mio. t bis 2025 zu erhöhen. Um den Vorgaben zu entsprechen, müssen regionale Lösungen für die Kreislaufwirtschaft gefunden werden, ohne auf Exporte der hiesigen Abfallströme angewiesen zu sein.

Ein Flaschenhals in der Wiederverwendung laminierten, textiler und kunststoffbasierter, lackierter Werkstoffe ist die Sortenreinheit. Die Nutzung von Beschichtungen auf Kunststoffprodukten hat in den letzten Jahren auf Grund der Vorteile in Bezug auf Optik, Schutzfunktion und Funktionalität eine immer größere Bedeutung erlangt. Jedoch stellt die Entschichtung eine große Herausforderung dar, besonders, wenn konventionelle Methoden eingesetzt werden, bei denen häufig teils giftige und nicht biologisch abbaubare Lösungsmittel verwendet werden. Die Entwicklung nachhaltiger und umweltfreundlicherer Methoden zur Entschichtung von Kunststoffkomponenten ist daher von großer Bedeutung.

Innerhalb der Vorlauftforschung der KIMW Forschungs-gGmbH wurde daher eine Entschichtung mit biobasierten Lösungsmitteln (Green Chemistry) erprobt. Dabei konnte gezeigt werden, dass eine Separierung von Kunststoffen

und PU-Lacken, durch einfaches Rühren und Erwärmen von Probenmaterialien in einem biobasierten Lösungsmittel, möglich ist.

Diese vielversprechenden Vorversuchsergebnisse hat die KIMW Forschungs-gGmbH zum Anlass genommen, gemeinsam mit weiteren Kooperationspartnern, ab April 2024 einen Waschprozess zur Entschichtung von Kunststoffbauteilen, in einem geförderten F&E-Projekt zu entwickeln.



Abbildung: Beschichtete Bauteile vor und nach dem Entschichtungsprozess mit biobasierten Lösemitteln

## RFID

CHRISTIAN RUST, M.ENG.

## INTEGRATION VON RFID-TAGS IN SPRITZGIESSBAUTEILE

Die Integration von RFID-Tags in Spritzgussbauteile stellt einen bedeutenden Fortschritt in der modernen Fertigungstechnologie dar. RFID (Radio-Frequency Identification) ist eine drahtlose Technologie, die es ermöglicht, Daten über Funkwellen zwischen einem Sender (Tag) und einem Empfänger (Lesegerät) zu übertragen. Diese Technologie hat in verschiedenen Branchen Anwendung gefunden, von Logistik bis hin zur Qualitätssicherung. Die Integration von RFID-Tags in Spritzgussbauteile eröffnet neue Möglichkeiten für die Verfolgung, Identifikation und Verbesserung von Produktionsprozessen.

Die grundlegende Idee hinter der Integration von RFID-Tags in Spritzgussbauteile besteht darin, jedem Bauteil eine eindeutige Identifikation zuzuweisen. Dies ermöglicht eine präzise Rückverfolgbarkeit während des gesamten Produktlebenszyklus. Der RFID-Tag kann während des Spritzgussprozesses in das Bauteil eingebettet werden, indem er in das Material eingefügt oder auf der Oberfläche platziert wird. Diese Integration eröffnet die Tür zu zahlreichen Anwendungen, die die Effizienz und Qualität der Fertigung verbessern.

Ein wesentlicher Vorteil der RFID-Integration in Spritzgussbauteile liegt in der verbesserten Rückverfolgbarkeit. Jedes Bauteil erhält eine eindeutige Kennung, die es ermöglicht, den gesamten Herstellungsprozess zu überwachen. Dies ist besonders wichtig in Branchen wie der Automobilindustrie, Luft- und Raumfahrt oder der Medizintechnik, wo strenge Qualitätsstandards eingehalten werden müssen. Mit RFID können Hersteller den Ursprung von Bauteilen genau verfolgen, Rückrufaktionen effizienter durchführen und Qualitätsprobleme schneller identifizieren. Ein weiterer entscheidender Aspekt ist die Verbesserung der Lagerverwaltung und Logistik. Durch die Integration von RFID-Tags können Lagerbestände automatisch erfasst werden, ohne dass jedes Bauteil manuell gescannt werden muss. Dies führt zu schnelleren und genaueren Bestandsdaten, reduziert Fehler und optimiert die gesamte Lieferkette.

Um die spezifischen Anforderungen dieser Integration zu erfüllen, hat die KIMW Forschungs-GmbH eigens ein Spritzgießwerkzeug entwickelt. Dieses Werkzeug ermöglicht das Umspritzen verschiedener RFID-Transponder mit kundenspezifischen Spritzgießmaterialien. Besonders die Prozesstemperaturen stehen dabei im Vordergrund, um sicherzustellen, dass die RFID-Tags nahtlos in die Bauteile integriert werden können, ohne ihre Funktionalität zu beeinträchtigen. Diese innovative Lösung trägt dazu bei, die Anwendung von RFID in

der Spritzgussfertigung auf eine neue Stufe zu heben und den Weg für präzisere, effizientere und intelligentere Fertigungsprozesse zu ebnet.

Die entwickelten Spritzgießwerkzeuge eröffnen die Möglichkeit, verschiedene Einbausituationen zu simulieren. Dies ist von entscheidender Bedeutung, um gemeinsam mit dem Kunden die Machbarkeit der RFID-Integration zu überprüfen und sicherzustellen, dass die Tags optimal in die Bauteile integriert werden können. Die enge Zusammenarbeit mit den Kunden ermöglicht es, individuelle Anforderungen zu berücksichtigen und maßgeschneiderte Lösungen zu entwickeln.

Die Simulationsmöglichkeiten des Spritzgießwerkzeugs ermöglichen es, die Integration von RFID-Tags in verschiedenen Szenarien zu testen und die optimalen Bedingungen für eine reibungslose Umsetzung zu finden. Dieser ganzheitliche Ansatz trägt dazu bei, sicherzustellen, dass die RFID-Integration nicht nur technisch machbar, sondern auch wirtschaftlich sinnvoll ist.

Insgesamt demonstriert die Entwicklung des Spritzgießwerkzeugs das Engagement für fortschrittliche Fertigungstechnologien und die Bereitschaft, innovative Lösungen für die Herausforderungen der Industrie anzubieten. Durch die Kombination von technischem Know-how und kundenorientiertem Service trägt die KIMW Forschungs-gGmbH maßgeblich dazu bei, die Integration von RFID-Tags in Spritzgussbauteile auf ein neues Niveau zu heben.

## ANGEPASSTE PRECURSOREN FÜR DIE ABSCHIEDUNG VON BESCHICHTUNGEN IM MOCVD VERFAHREN

DIPL.-ING. FRANK MUMME

Für die CVD-Abscheidung von Beschichtungen bei reduzierten Prozesstemperaturen werden vorteilhaft metallorganische Verbindungen eingesetzt.

Die Auswahl der möglichen chemischen Verbindungen richtet sich u. a. nach den folgenden Kriterien:

- geringe Zersetzungstemperatur
- hoher Dampfdruck
- einfache Handhabung
- einfache Dosierung
- hohe Volatilität
- rückstandsfreies Verdampfen
- geringe Kosten

Für eine industrielle Abscheidung von unterschiedlichen funktionalen Beschichtungen wird der Ansatz einer kostengünstigen Beschaffung von „Grundchemikalien“ verfolgt. Diese werden im institutseigenen Labor hinsichtlich ihrer Eigenschaften angepasst und mit geeigneten Fördersystemen in den CVD-Prozess eingebracht.

Mit dieser Vorgehensweise ist eine maximale Flexibilität bei der gleichmäßigen Abscheidung von Schichten an 3D-Konturen und der Einstellung der eigentlichen Schichtzusammensetzung möglich.

Erfolgreich wurden auf Acetylacetonaten basierende Precursoren modifiziert, speziell „Seltene Erden“ Precursoren (Lanthan, Gadolinium) konnten so hinsichtlich ihrer Verdampfungseigenschaften optimiert werden. Eingesetzt werden diese Schichten für die thermische Barriere und mediendichte Ausführung von Beschichtungen.

In Arbeit ist die Anpassung von Metallcarbonylen der Metalle Wolfram, Molybdän und Chrom. Mit diesen Verbindungen wird das Ziel verfolgt tribologisch wirksame und verschleißfeste Beschichtungen abzuscheiden.

Grundsätzlich beeinflusst das bestehende Precursormolekül aufgrund seiner Bindungscharakteristik und Ligandenausbildung die oben aufgeführten Zielgrößen. Werden diese nicht im ausreichenden Maße erreicht, kann durch Beeinflussung der Liganden im Precursormolekül die Volatilität und Reaktionskinetik beeinflusst werden. Reagiert z. B. ein Precursor zu schnell an der Bauteiloberfläche ab, so begrenzt dieses die Konformität der Schichtabscheidung. Durch Beeinflussung der „thermischen Stabilität“ des Precursors, ändert sich dessen Reaktionskinetik und eine gleichmäßigere Schichtabscheidung ist möglich.

Für eine reproduzierbare Beschichtung ist eine genaue Dosierung der Reaktionspartner notwendig. Für gasförmige und flüssige Precursoren bestehen marktübliche Dosiersysteme, die in einem weiten Mengenbereich eine exakte Dosierung ermöglichen (Massflowcontroller).

Für Feststoffprecursoren hat die Gemeinnützige KIMW Forschungs-GmbH eine eigene Handhabung für das Fördern und Verdampfen von pulverförmigen Precursoren entwickelt. Die patentierte Förderung und Verdampfung ermöglicht eine genaue Dosierung von Kleinstmengen in der Größenordnung von 0 – 50 g/h für unterschiedlichste pulverförmige Stoffe.

Feststoffe haben gegenüber gasförmigen oder flüssigen Precursoren weitere nachteilige Eigenschaften hinsichtlich der Volatilität und der rückstandsfreien Verdampfung. Hierzu wurde ein Verdampfungssystem entwickelt, welches im Vakuum spontan Feststoffe in die Dampfphase überführt. Vorteilhaft sind hierbei die geringe thermische Degradation des Precursors und die hohe Effizienz der Verdampfung.



Abbildung 1: Feststoffzuführung in CVD-Prozess

## 3D HARTSTOFFSCHICHTEN

DIPL.-ING. FRANK MUMME

### HARTE BESCHICHTUNGEN FÜR KOMPLEXE GEOMETRIEN

Die chemische Gasphasenabscheidung (CVD) ermöglicht das Beschichten komplexer Geometrien mit homogenen und gleichförmigen Schichten. Im Besonderen macht der Einsatz metallorganischer Precursorchemie die Abscheidung einer Vielzahl von nitridischen und carbidischen Schichten oder einer Mischung derselben bei Prozesstemperaturen unter 500 °C möglich. Auf Basis von Wolframcarbid ist es gelungen, eine sehr harte und abriebfeste Hartstoffbeschichtung dreidimensional abzuscheiden. Im ersten Entwicklungsschritt bestand die Herausforderung in der Bestimmung geeigneter Prozessparameter für die Darstellung der gewünschten Eigenschaften. Für den erfolgreichen Einsatz der Schicht in industriellen Anwendungen ist zudem eine gute Haftung der Beschichtung an der Werkzeugoberfläche zwingend erforderlich.

#### Vielseitiger Hartstoff $W_2C$

$W_2C$  ist ein Hartstoff, der neben einer hohen Härte von bis zu 2200 HV ein sehr hohes E-Modul aufweist (700 GPa). Dieser Werkstoff wird im großen Umfang als Hartstoff für Zerspanungsprozesse verwendet.

Er ist bis 700 °C thermisch stabil und zeichnet sich durch eine ausgezeichnete chemische Widerstandsfähigkeit aus. So löst Salzsäure Wolframcarbid im Gegensatz zu Chrom oder chromhaltigen Stählen nicht an.

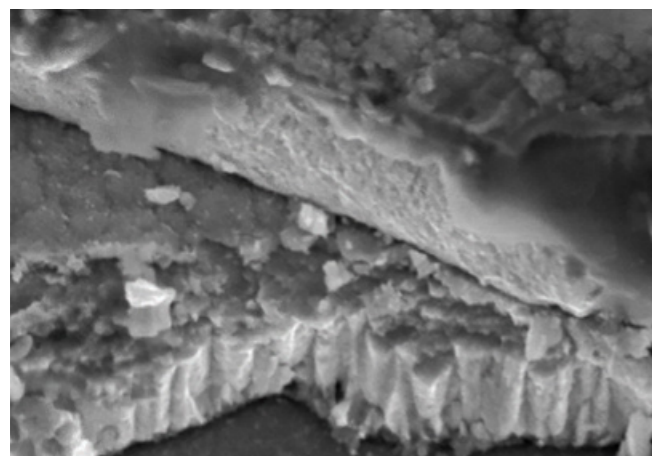


Abbildung 1: REM-Aufnahme, Gradientenschichtaufbau Nickel+ $W_2C$

#### 3D-fähig und spaltgängig

Der Forschungsstelle ist es gelungen die Hartstoffschicht haftfest mit Stahlwerkstoffen zu verbinden. Hierdurch ist es

erstmalig möglich geworden diese Art Verschleißschutzschicht dreidimensional abscheidbar industriell anbieten zu können.



Abbildung 2: Formeinsatz für Metallspritzguss  $W_2C$  beschichtet in einem tiefliegenden Konturbereich mit anschließender Ausstoßerbohrung

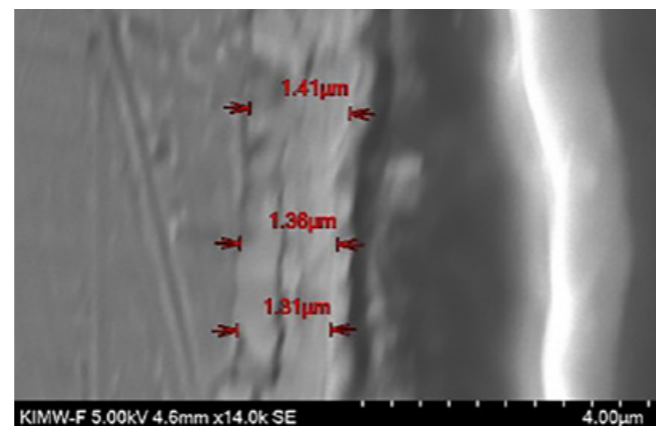


Abbildung 3: Lichtmikroskopische Aufnahme einer  $W_2C$  Schicht in einer tiefliegenden Auswerferbohrung, Durchmesser von 2 mm Spaltweiten von 1 mm und Tiefen von 40 mm sind erreichbar. Die beschichtbaren Abmessungen liegen im Bereich von 350 x 800 x 350 mm<sup>3</sup>.

## FÖRDERSYSTEME FÜR FESTSTOFFE

DIPL.-ING. FRANK MUMME

### WEITERENTWICKLUNG DER INNOVATIVEN FÖRDERTECHNIK

Pulverförmige Stoffe zu dosieren ist eine Herausforderung in vielfacher Hinsicht. Die Gemeinnützige KIMW Forschungs-GmbH arbeitet seit nun ca. zehn Jahren an einem Fördersystem, das es ermöglicht, Feststoffe kontinuierlich zu dosieren und in einem nachgeschalteten Gasstrom dem Zielort zuzuführen.

Technische Schwierigkeiten, die es bei der Förderung zu vermeiden galt, wurden im Zuge einer permanenten Weiterentwicklung umgangen:

- Lagerung der Stoffe unter Umgehung der Brückenbildung von Partikeln in der Fördersäule
- Förderung der Feststoffe in einem Schneckengang unter Ausschluss der Blockade im Schneckengang
- Dosierung der Feststoffe über ein Düsensystem mit integrierter Regelung der Fördermenge

Aktuell stehen zwei Fördersysteme zur Verfügung: ein Einschneckenextruder für Fördermengen von 0-10 g/h sowie ein Doppelschneckenextruder für Mengen von 2-50 g/h.



Abbildung 1: Doppelschneckenextruder mit sichtbaren Schneckenspitzen

Das entwickelte System trennt die Dosierung von der Verdampfung durch eine Förderung der Pulverpartikel im Vakuum mittels Gasstroms bei Raumtemperatur. Im nachgeschalteten Verdampfer wird der feste Precursor spontan erhitzt und verdampft bei einer regelbaren Temperatur. Eine vorzeitige Precursorersetzung wird ausgeschlossen. Somit kann über praktisch unbegrenzte Zeiträume eine gleichmäßige Schichtabscheidung aufrechterhalten werden.

Im Aufbau ist eine Sensorik, die eine Regelung der Precursormenge ermöglicht.

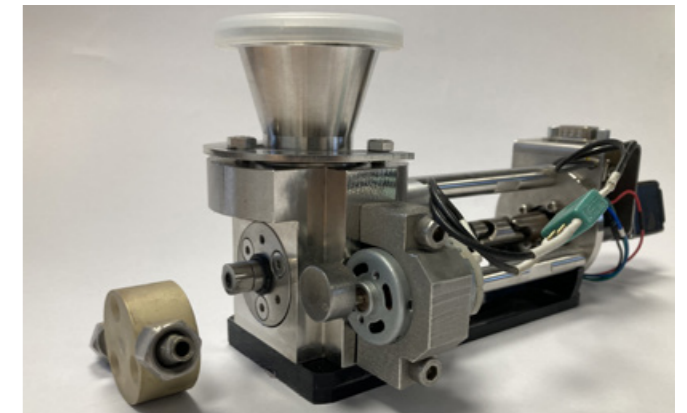


Abbildung 2: Einschneckenextruder, \*Patentierter Technologie: Deutschland, Europa; eingereicht: weltweit



## 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 konnte sich die KIMW Forschungs-gGmbH an verschiedenen Arbeitsgruppen beteiligen und ihre Expertise im Bereich der Werkzeugtechnik einbringen. Die Themenschwerpunkte reichen dabei von der Adaption des klassischen Werkzeugaufbaus für diese Technologie bis hin zur optimalen Abbildung von Oberflächenstrukturen. Ein erstes Förderprojekt mit weiteren Industriepartnern, welches sich thematisch in der Abdichtung von IMC-Werkzeugen ansiedelt, konnte im 3. Quartal ausformuliert und gemeinsam mit weiteren Industriepartnern beantragt werden.



## 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, wie z. B. das geringere Gewicht sowie die Integration von Funktions- und Befestigungselementen.

Im ZIM-Kooperationsnetzwerk wurde der Bedarf an Mikrooptiksystemen analysiert und Realisierungswege aufgezeigt. Das Netzwerk besteht aus 30 Unternehmen und Forschungseinrichtungen. Der Branchenfokus liegt dabei in den Bereichen Automotive, Medizintechnik und Consumer Electronics.

Innerhalb des Netzwerkes wurde mit den Netzwerkpartnern der Bedarf an Entwicklungslinien erarbeitet, wovon bisher drei FuE-Kooperationsprojekte bewilligt wurden. Das Netzwerk wurde nach der regulären Laufzeit von drei Jahren mit einem Präsenztreffen in den Räumen des Fraunhofer IPT erfolgreich beendet. Die zukünftige Zusammenarbeit wird in der „Fokusgruppe Kunststoffoptik“ in Kooperation der KIMW Management GmbH und dem Photoniknetzwerk Optence e. V. fortgeführt



## 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  
 frettloeh@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.

Das Netzwerk ist im Mai 2023 in die zweite Netzwerkphase gegangen und die Projektanträge entsprechend der Entwicklungsroadmap werden derzeit in den thematischen Schwerpunkten optische Elemente, miniaturisierte, geschützte Sensoren, dichtende, medienbeständige Elemente mittels 2-K-Komponententechnik, gedruckte Elektronik und antibakterielle Kunststoffoberflächen vorbereitet. Die KIMW Forschungs-gGmbH wird zusammen mit Partnern aus der Industrie an einer smarten Verpackung für chirurgische Instrumente und an der Entwicklung einer intelligenten Biopsiezange arbeiten.



## POLY4NATURE ALTERNATIVE ROHSTOFFE UND NATÜRLICHE POLYMER

ZIM-INNOVATIONSNETZWERKE

**Weitere Informationen:**  
**Vanessa Frettlöh, M.Sc.**  
 Tel.: +49 2351 6799-911  
 frettloeh@kunststoff-institut.de

Um den CO<sub>2</sub> Eintrag in die Umwelt deutlich zu reduzieren und einen großen Schritt in Richtung Klimaneutralität zu machen kommt der Nutzung biogener Ressourcen zur Herstellung von alternativen Rohstoffen eine Schlüsselrolle zu. Im Fokus des ZIM-Innovationsnetzwerkes steht deshalb die Nutzung neuer und alternativer Rohstoffquellen für die Herstellung natürlicher Polymere und deren Verarbeitung. Dabei soll auch eine nachhaltige Kreislaufwirtschaft sowie der Aufbau neuer Wertschöpfungsketten ermöglicht und Potenziale natürlicher Polymere analysiert und aufgezeigt werden. Hauptsächlich sollen Biokunststoffe der 2. und 3. Generation zum Einsatz kommen. Diese werden aus Rohstoffen hergestellt, die nicht lebensmittelbasiert sind, aus Biomasse oder Abfällen aus der Land- und Holzwirtschaft oder aus einem side stream der Lebensmittelindustrie stammen bzw. auf bodenunabhängigen Kulturen wie Algen oder Pilzen basieren und damit keine Konkurrenz zum Anbau von Lebens- und Futtermitteln darstellen. Die Phase 2 des Netzwerkes wird im Februar 2024 beantragt und soll dann nahtlos an die Phase 1 anknüpfen. Die gemeinnützige KIMW Forschungs-GmbH wird sich im Rahmen eines Netzwerkprojektes gemeinsam mit Partnern aus der Industrie mit der Entwicklung von Dämmstoffen für die Estrichverlegung beschäftigen.



## IMPEDANZSPEKTROSKOPIE (EIS)

DR.-ING. 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.

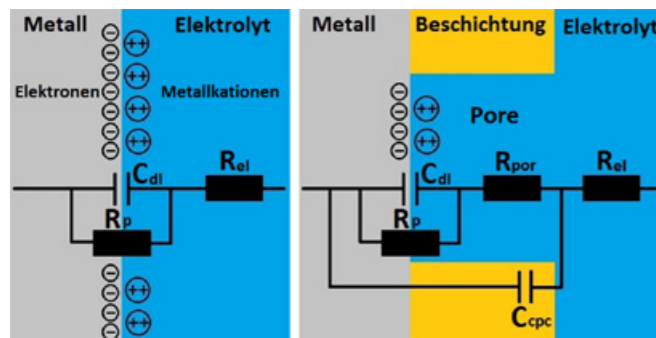


Abbildung 1: Metall/Elektrolyt und Metall/Schicht/Elektrolyt Modelle

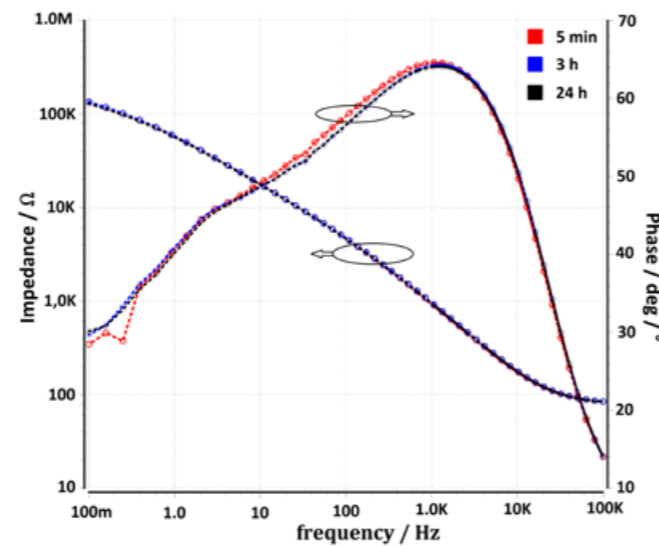


Abbildung 2: Impedanzspektrum (Bode-Diagramm) einer  $ZrO_x$  Schicht

#### 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 @ 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

VANESSA FRETTLÖH, M.SC.

### MESSUNG VON SCHICHTDICKE UND VERSCHLEISSBESTÄNDIGKEIT

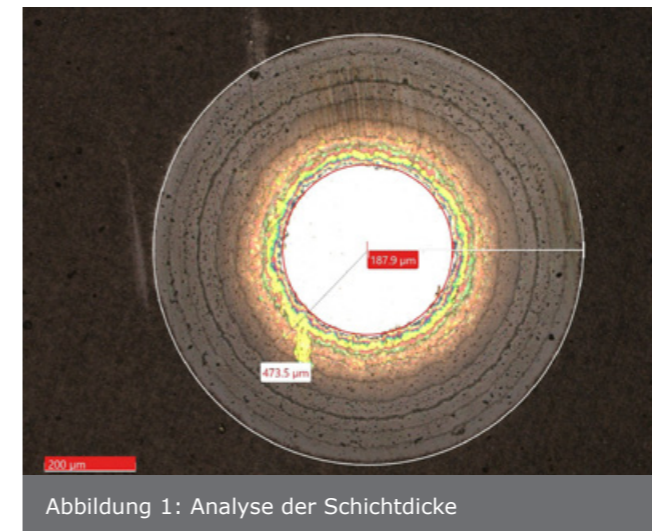


Abbildung 1: Analyse der Schichtdicke

Das Kalottenschliffgerät ermöglicht in Kombination mit der Digitalmikroskopie eine Schichtdickenmessung auf ebenen Probekörpern. Mit einer Stahlkugel und einer Schleifsuspension wird eine Kalotte in die Schicht bis zum Grundmaterial geschliffen. Mittels Digitalmikroskopie wird anschließend der Durchmesser der entstandenen Kreise 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.

## LEUCHTDICHTEMESSUNG

DIPL.-ING. (FH) MATTHIAS MILITSCH

### ERMITTLUNG DER LEUCHTDICHTE AN SYMBOLBELEUCHTUNGEN UND LEUCHTFLÄCHEN

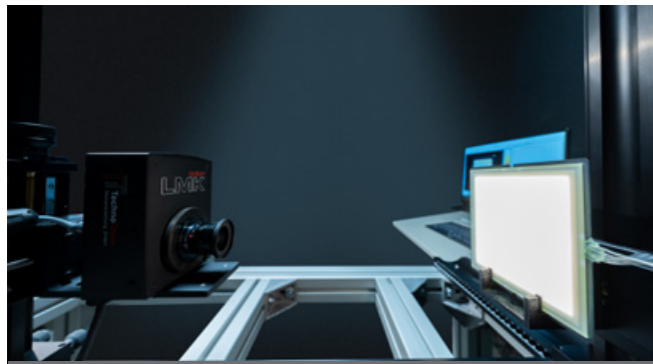


Abbildung 1: Leuchtdichtemesskamera LMK5-5 Color mit einer OLED

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.

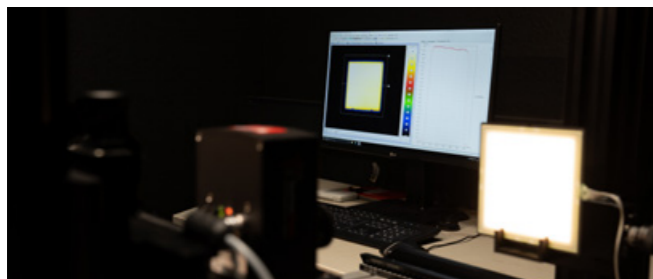


Abbildung 2: Softwareauswertung einer vermessenen OLED

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

VANESSA FRETTLÖH, M.SC.

### 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).

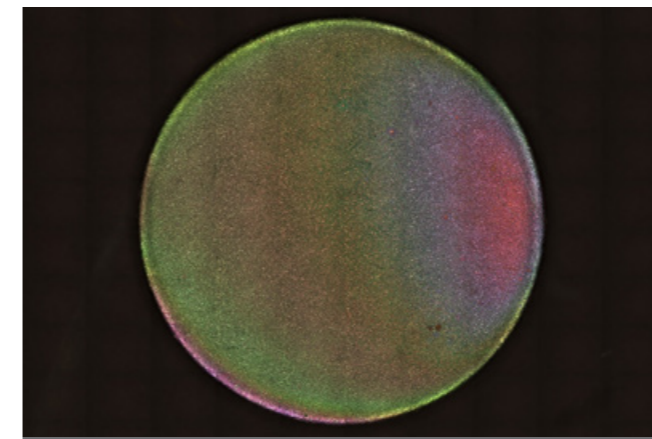


Abbildung 1: Korrosionsanalyse (1.0330)

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).

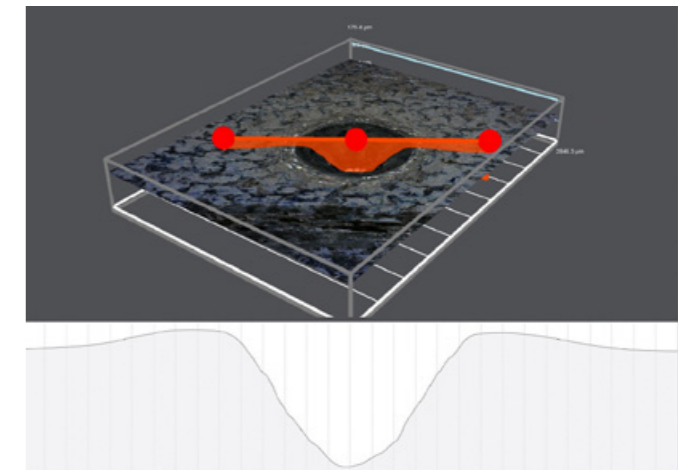


Abbildung 3: Höhenprofilmessung

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

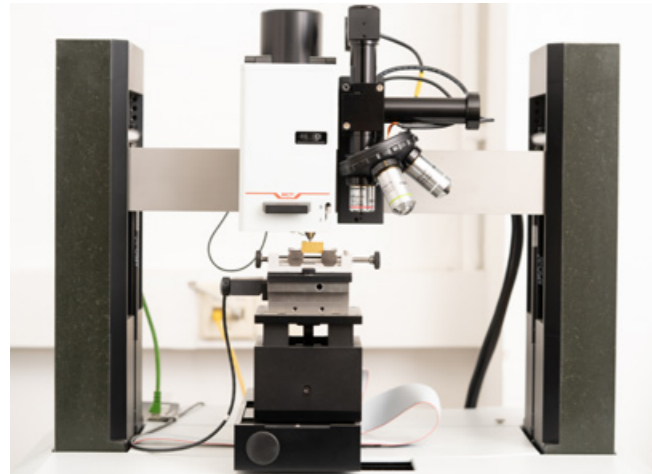
#### Stativ:

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

## MCT – MULTI-COMBI-TESTER

VANESSA FRETTLÖH, M.SC.

### 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 Schichthftung 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.

Der MTT ermöglicht neben der Bestimmung der Reibungskoeffizienten und damit der tribologischen Untersuchung von z. B. Gleitbeschichtungen auch die Analyse von Verschleiß auf Oberflächen, wenn bei linearer Belastung eine kugelförmiger Gegenkörper genutzt wird.

#### 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)

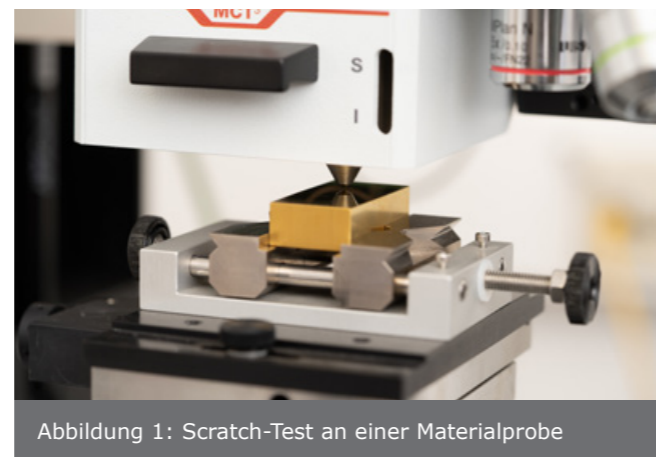


Abbildung 1: Scratch-Test an einer Materialprobe



Die Landesregierung  
Nordrhein-Westfalen



## RASTERELEKTRONENMIKROSKOP

DR.-ING. ANATOLIY BATMANOV

### 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 hochaufgelöste Betrachtung der Oberfläche elektrisch leitfähiger und elektrisch isolierender Proben ist möglich. Durch den Einsatz eines UVD-Detektors im Niedervakuum ist die Bespatterung 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

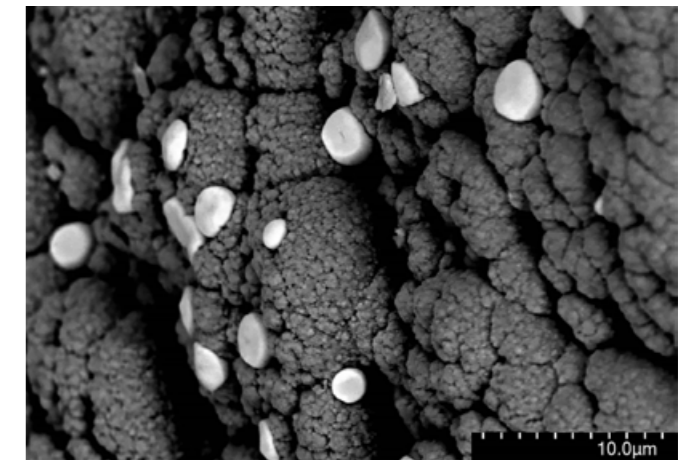


Abbildung 2: Nano- und Mikropartikel (Materialkontrast-Abbildung)

## RESTGASANALYSATOR (RGA)

DR.-ING. 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.

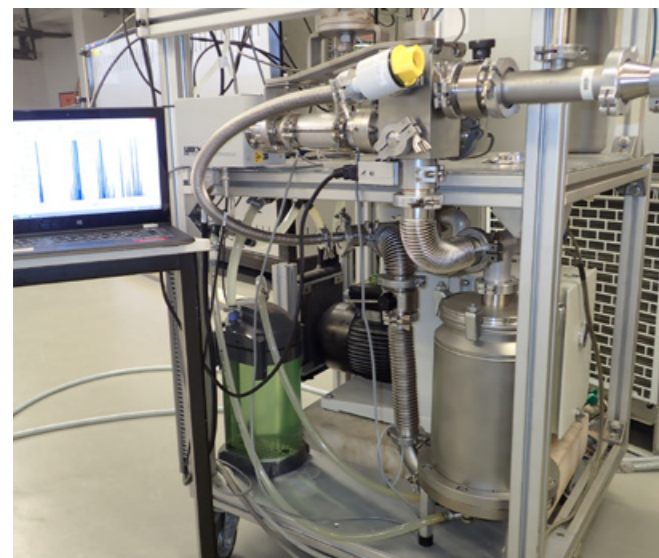


Abbildung 1: RGA mobile Messstation

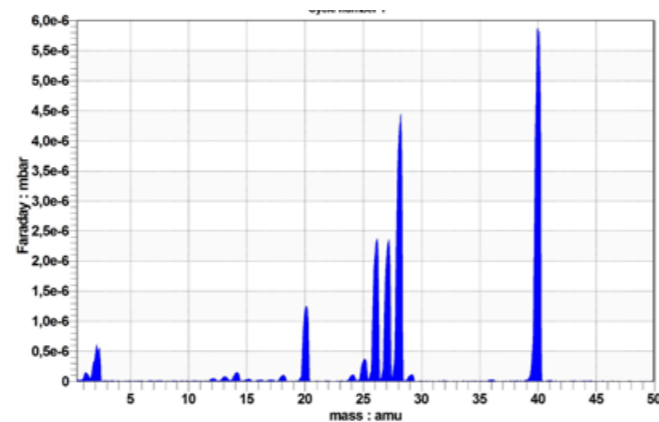


Abbildung 2: Darstellung eines Gas-Massenspektrums

#### 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-Detektor:	$1 \times 10^{-11}$ mbar
mit EM:	$2 \times 10^{-13}$ mbar
Kathode:	Iridium, $Y_2O_3$ -beschichtet
Ausheiztemperatur des Analysators ohne Elektronik:	max. 250 °C

## RÖNTGENFLUORESZENZANALYSE

VANESSA FRETTLÖH, M.SC.

### ZERSTÖRUNGSFREIE MATERIAL- UND SCHICHTDICKENANALYSE

Die Röntgenfluoreszenzanalyse (RFA) ermöglicht die Elementaranalyse von Metallen, Keramiken und anderen Materialien und somit eine zerstörungsfreie Messung von Schichtdicken galvanisierter Kunststoffe und beschichteter Werkzeugoberflächen. Mit dem Silizium-Drift-Detektor lassen sich auch dünnste Schichten gut analysieren. Zudem lässt sich bei aus mehreren Elementen bestehenden Schichten gleichzeitig die Schichtdicke und der prozentuale Anteil der einzelnen Elemente darstellen. So ist z. B. der Phosphoranteil in funktionellen NiP-Schichten direkt bestimmbar.

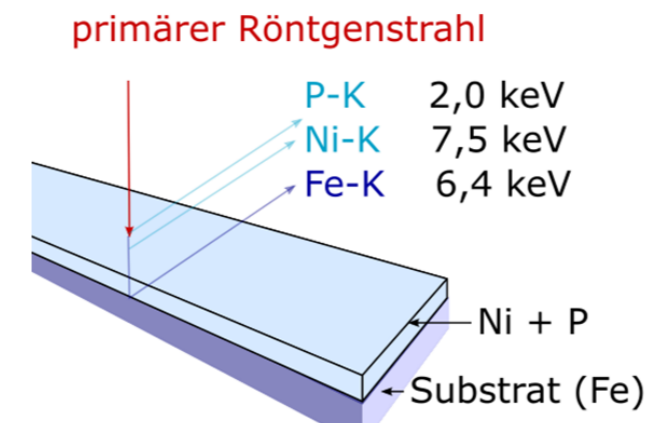


Abbildung 1: direkte Bestimmung des P-Anteils in NiP-Schichten

Die Einhaltung von Grenzwerten für Blei, Cadmium, Quecksilber, sechswertiges Chrom und polybromierte Biphenyle/polybromierte Diphenylether (Pb, Cd, Hg, Cr-VI, PBDE/PBDE) wird durch die EU-Richtlinie 2011/65/EG von den Gesetzgebern gefordert. Eine geeignete Methode zur Überprüfung der Einhaltung dieser Anforderungen ist das Screening mittels Röntgenfluoreszenzanalyse. Diese Analysemethode ist besonders praktikabel und schnell, bietet aber gleichzeitig auch eine kostengünstige Möglichkeit für Einzelmessungen. Durch wechselbare Primärfilter und Blenden lassen sich für jede Messung ideale Bedingungen schaffen. Zudem können individuelle und auf das Substrat und die Oberflächenbeschichtung zugeschnittene Messprogramme erstellt und verwendet werden.



Abbildung 2: Röntgenfluoreszenzanalysegerät

- Detektor:** Silizium-Drift-Detektor mit Peltierkühlung
- Röntgenquelle:** Mikrofokus-Wolframanode mit Berylliumfenster stufig einstellbar 10 kV, 30 kV, 50 kV
- Blende:** 4-fach wechselbar
- Primärfilter:** 6-fach wechselbar
- Kleinster Messfleck:** Ø 0,25 mm
- Max. Probengröße:** 300 x 350 x 140 mm
- Max. Probenmasse:** 25 kg



## BESCHICHTUNGSTECHNIK

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.

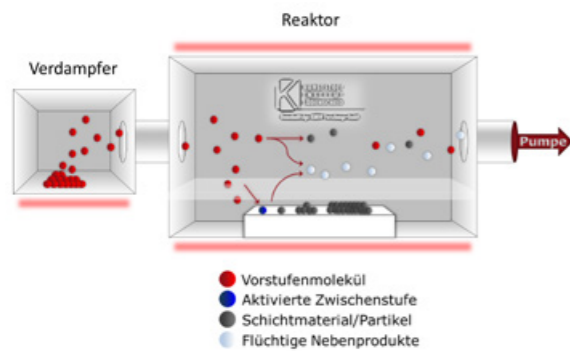


Abbildung 1: Darstellung eines CVD Heißwandreaktors mit Verdampfer

Die Peripherie wurde gezielt an die Reaktoren und die abzuscheidenden 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 Reaktandenzufluss, 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	210x1800

#### 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

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 Verdampfer-temperatur 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 angeschlossenem 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 Verdampfer-einheit 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. **Paskowski, A.; Werner, M.; Seul, T.:** QSchaum – Development of a non-destructive measurement method for quality assessment of foamed plastic products. In: International Polymer Colloquium. Poster, 31.03.2023
2. **Frettlöh, V.:** Keimen den Garuas machen. In: Plastverarbeiter, MedPlast 2023, S. 60-62
3. **Paskowski, A.:** Gasbasierte Temperierung von Spritzgießwerkzeugen. In: Kunststoffe 6/2023, S. 41-43
4. **Engemann, P.:** DraKo: Vernetzt, eingebettet, drahtlos. In: VWDF im Dialog 3/23
5. **Gehlen, M.:** Hochwertige Zukunft: 3D-konforme, funktionale Werkzeugbeschichtungen. In: K-Impulse
6. **Paskowski, A.; Korres, M.:** Vermessung des Entformungsverhaltens bei der Verarbeitung von Thermoplastischen Materialien. In: TECHNOMER 2023 - P1.16, ISBN: 978-3-939382-16-4
7. **Paskowski, A.; Korres, M.:** Vermessung des Entformungsverhaltens bei der Verarbeitung von Thermoplastischen Materialien. In: TECHNOMER 2023, Chemnitz, 10.11.2023
8. **Engemann, P.:** DraKo – Drahtlose Kontaktierung. In: TECHNOMER 2023 - P1.10, ISBN: 978-3-939382-16-4
9. **Engemann, P.:** DraKo – Drahtlose Kontaktierung. In: TECHNOMER 2023. Chemnitz, 10.11.2023
10. **Gehlen, M.:** Optimierung des Entformungsverhaltens von Kunststoffen durch KiCoat Beschichtungen des Kunststoff-Instituts Lüdenscheid. In: VDWF im Dialog 1/2023, S. 30-32
11. **Engemann, P.; Baer, C.:** DraKo – Drahtlose Kontaktierung von umspritzter Elektronik. In: Fachtagung Folienhinterspritzen, Lüdenscheid, 22.11.2023
12. **Günther, J.; Engemann, P.:** DraKo - wireless contacting of overmolded electronics. In: automotive interiors expo, Stuttgart, 06.12.2023

## 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)

