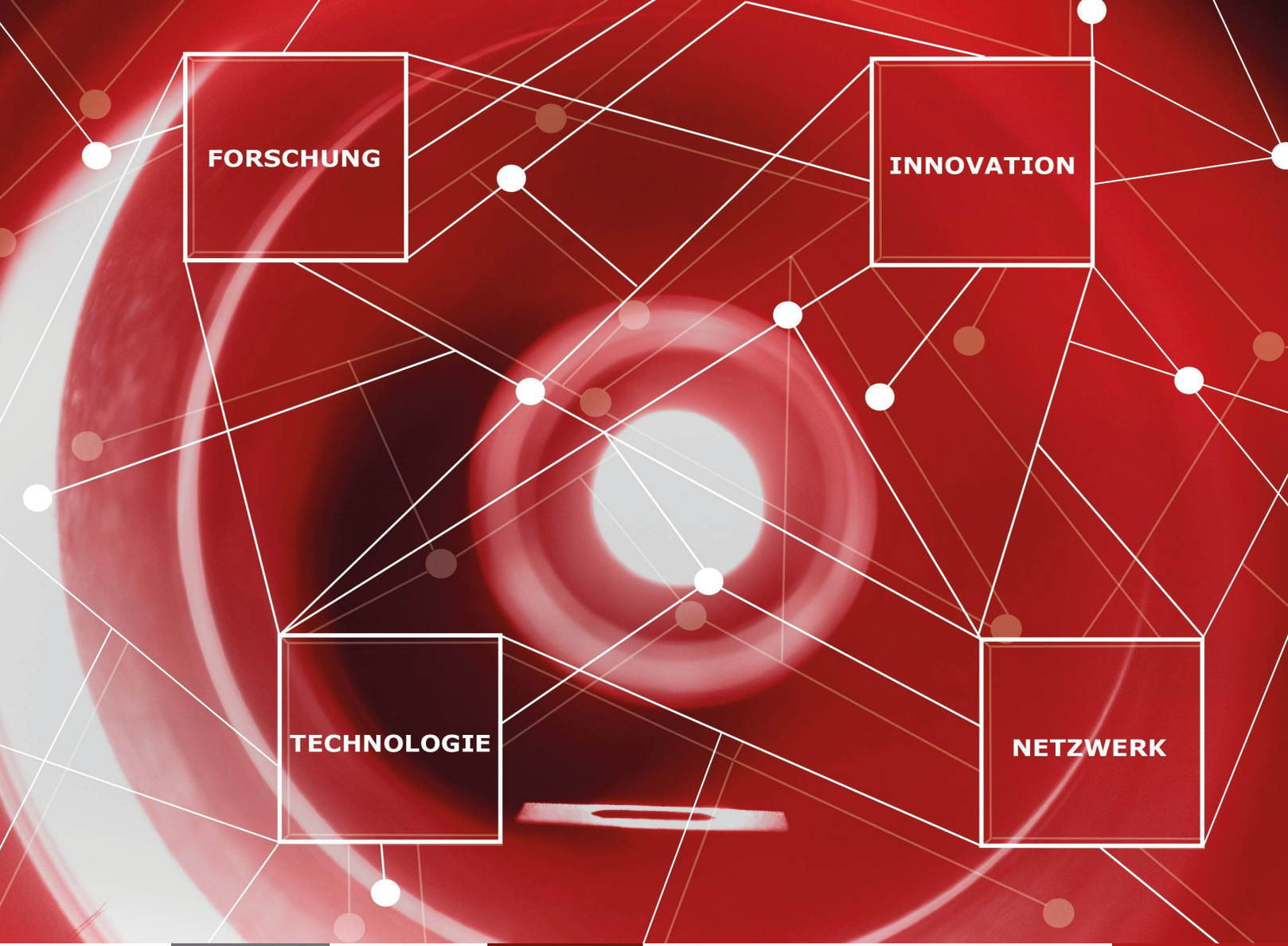
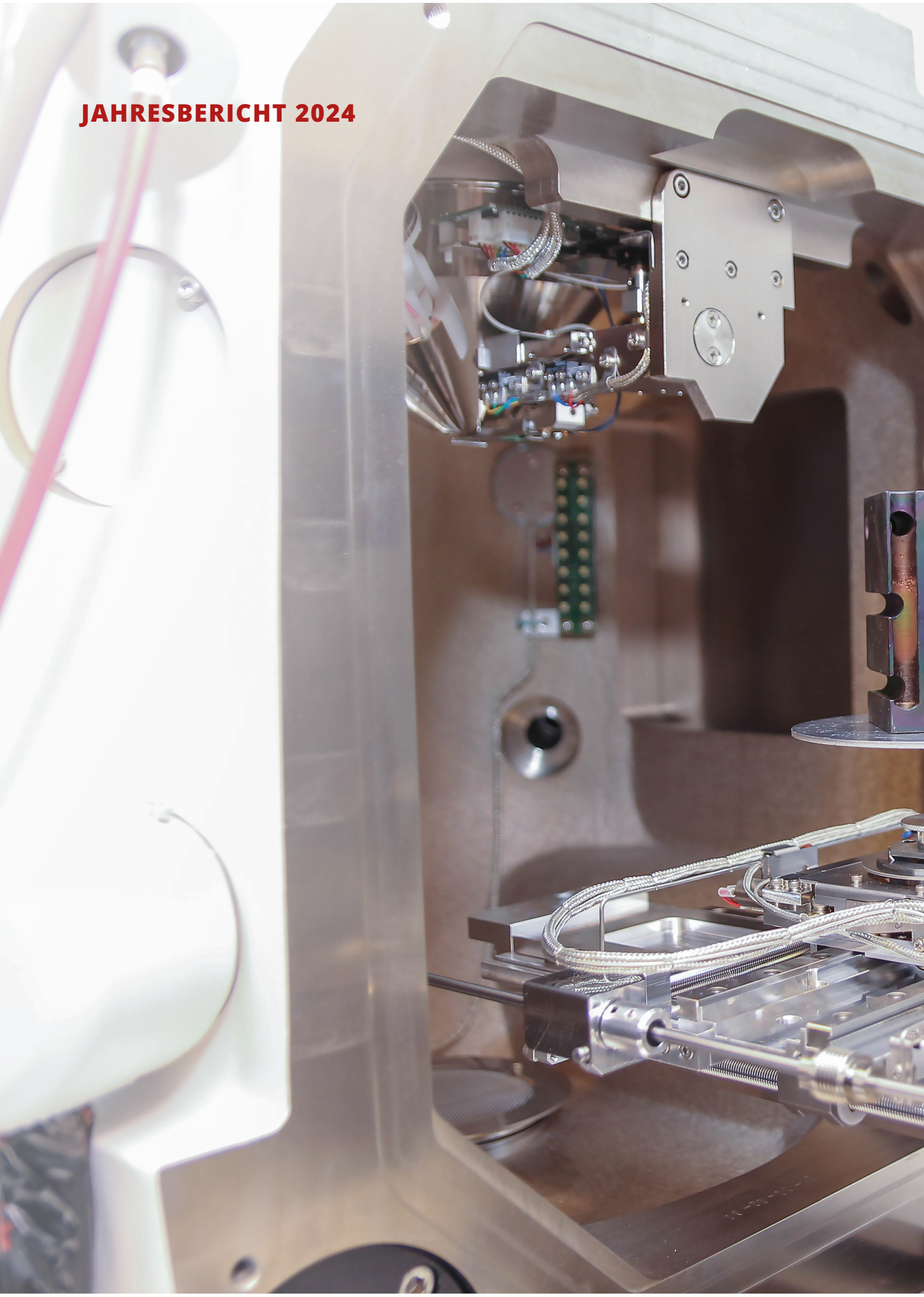


GEMEINNÜTZIGE KIMW FORSCHUNGS-GMBH

JAHRESBERICHT 2024

WWW.KIMW-F.DE

JAHRESBERICHT 2024



INHALT

ALLGEMEINES **4**

WISSENSCHAFTLICHE TÄTIGKEITEN **8**

NETZWERK **35**

AUSSTATTUNG **39**

ÖFFENTLICHKEITSARBEIT UND WISSENSTRANSFER **51**

NOTIZEN **53**

VORWORT

FORSCHUNG IM WANDEL DER ZEIT

Sehr geehrte Leserinnen und Leser,
das Jahr 2024 wurde geprägt von dem anhaltenden Krieg in der Ukraine und der allgemeinen politisch unsicheren Weltlage. Dies beeinflusste auch die deutsche Wirtschaft in seiner Entwicklung nachteilig. So ist die Belastung durch Energiekosten mittlerweile zu einem großen Hemmnis für die Fortführung energieintensiver Prozesse geworden, die Auflagen durch verschärfte Vorschriften im Bereich Arbeitssicherheit, Datenerfassung und Umweltschutz bindet Kapazitäten und mindert nachhaltig die Wettbewerbsfähigkeit Deutschlands. Die Ausrichtung der Forschungslandschaft ist durch diese „Rahmenbedingungen" in die Diskussion geraten. Intensiv wird über die zivile Forschung auch für militärische Anliegen gerungen. Können an Universitäten Projekte unterhalten werden die eine „Dual Use" Nutzung ermöglichen?
Weiterhin war das vergangene Jahr geprägt von tiefgreifenden Veränderungen und Herausforderungen, die unsere Gesellschaft und die wissenschaftliche Gemeinschaft gleichermaßen betroffen haben. Die rasante Entwicklung neuer Technologien, die fortschreitende Digitalisierung und die nach wie vor überbordende Bürokratie haben unsere Arbeit maßgeblich beeinflusst.

Fortschritt und Innovation durch zukunftsweisende Forschung
In diesem Kontext hat die gemeinnützige KIMW Forschungs-GmbH ihre Forschungsaktivitäten weiter intensiviert und ausgebaut. Wir haben uns auf zukunftsweisende Themen wie die Energiegewinnung durch Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologien, die Energiespeicherung mit E-Batterien sowie die Wehrtechnik und Nachhaltigkeit konzentriert. Diese Bereiche sind von entscheidender Bedeutung, um den aktuellen und zukünftigen Herausforderungen unserer Zeit zu begegnen.

Die Konzentration auf unsere Alleinstellungsmerkmale, wie 3D-fähige Beschichtungsprozesse, amorphe Schichten, Feststoffördersysteme und Metalldirekteinspritzung, hat es uns ermöglicht, zukunftsorientierte Auftragsforschungsprojekte in den Handlungsfeldern Energieerzeugung, -speicherung und -umwandlung sowie Bauteilbeschichtungen zu starten. Durch unsere intensive Eigenforschung im Bereich der Precursorherstellung, die für die Produktion von 2D- und Halbleitermaterialien unerlässlich ist, kann die Gemeinnützige KIMW Forschungs-GmbH nun begehrte Metallcarbonyle (Wolfram/Molybdän) selbst vertreiben. Weitere Initiativen für das Metall Chrom sind in der Umsetzung. Zukünftig werden wir auch die Eigenschaften spezifischer Precursormoleküle verändern, um CVD-Prozess- und Schichteigenschaften weiter zu verbessern. Dieser Fortschritt unterstreicht unsere Fähigkeit innovative Lösungen zu entwickeln und auf den Markt zu bringen.

Nächste Schritte
Der nächste Schritt in dieser Forschungsreise besteht darin, Materialien und Prozesse zu entwickeln, die Schichten auf strukturierten Oberflächen oder 3D-Strukturen ermöglichen. In Kombination mit nachgelagerten Wärmebehandlungsprozessen (Tempern, Oxidieren) werden Eigenschaften erzeugt, die bei unterschiedlichen Temperaturen (RT-1000 °C) eine hohe elektrische Leitfähigkeit, hohe Diffusionsfestigkeit oder Katalyseaktivität 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.

Erfolgreiche Entwicklungsschritte in der Werkzeug- und Prozesstechnik
Auch in der Werkzeug- und Prozesstechnik konnten wir weitere Entwicklungsschritte erfolgreich umsetzen. Im Bereich des Metalldirekteinspritzens sind wir einen bedeutenden Schritt näher an die Serienumsetzung gekommen. Ebenso ist es uns gelungen, eine selbstreinigende Werkzeugentlüftung zu entwickeln. Diese Fortschritte unterstreichen unsere Fähigkeit, gute Ideen in Lösungen zu überführen und erfolgreich in die Praxis umzusetzen.

Die vorgestellten Beispiele zeigen eindrucksvoll, dass es unerlässlich ist, unsere vorhandenen Kompetenzen optimal zu nutzen und weiter auszubauen, um den Herausforderungen gerecht zu werden. Die Verzahnung von Know-how und die enge Zusammenarbeit mit Unternehmen und anderen Forschungseinrichtungen sind dabei von zentraler Bedeutung. Auch die steuerliche Forschungsförderung bietet hierbei wertvolle Anreize, um innovative Projekte durch Eigenforschung weiter voranzutreiben.

Gelungene Transformation
Wir sind stolz darauf, dass unsere Neuausrichtung erfolgreich war und die einzelnen Aktivitäten nachhaltig integriert und positiv aufgenommen wurden. Dies bestätigt, dass wir auf dem richtigen Weg sind und bereit, die Herausforderungen der Zukunft aktiv anzugehen. Während wir uns vor fünf Jahren noch ausschließlich mit spezifischen Fragestellungen rund um Kunststoffverarbeitungsprozesse beschäftigten, machen

GRUSSWORT

die neuen Technologiefelder inzwischen einen erheblichen Teil unserer Aktivitäten aus.
In diesem Jahresbericht möchten wir Ihnen einen umfassenden Überblick über unsere Forschungsaktivitäten und -ergebnisse geben. Wir danken allen Partnern, Förderern und Mitarbeitenden für ihre Unterstützung und ihr Engagement. Gemeinsam werden wir weiterhin daran arbeiten, innovative Lösungen zu entwickeln und einen nachhaltigen Beitrag zur Gesellschaft zu leisten.

Die Gemeinnützige KIMW Forschungs-GmbH möchte sich herzlich bei allen Projektpartnern, Kunden und Unterstützern bedanken. Ein besonderer Dank gilt unseren Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern für die hervorragende und vertrauensvolle Zusammenarbeit in dem für alle sehr herausfordernden Jahr 2024.

Mit freundlichen Grüßen,

Udo Hinzpeter & Frank Mumme
- Geschäftsführer –

Gemeinnützige KIMW Forschungs-GmbH

Sehr geehrte Leserinnen und Leser,
sehr geehrte Damen und Herren,
unsere Welt befindet sich in einem stetigen Wandel. Steigende Kosten, wachsende Anforderungen an Nachhaltigkeit und sich schnell verändernde Märkte: Die Kunststoffbranche ist von den aktuellen Herausforderungen besonders betroffen. Doch genau in diesen anspruchsvollen Zeiten liegen auch Chancen.
Um langfristig erfolgreich zu sein, ist es für Unternehmen wichtiger denn je, sich auf die Zukunft vorzubereiten. Dabei ist Forschung und Entwicklung nicht nur eine Antwort auf gegenwärtige Probleme, sondern eine Investition in Fortschritt und Wettbewerbsfähigkeit. Neue Technologien, Materialien und Verfahren sind der Schlüssel, um den Anforderungen von morgen gerecht zu werden.
Die Gemeinnützige KIMW Forschungs-GmbH begleitet Unternehmen auf diesem Weg. Mit ihrer Expertise unterstützt sie von der ersten Idee über die Entwicklung bis hin zur Umsetzung von Forschungsprojekten. Ziel ist es, gemeinsam Lösungen zu schaffen, die nicht nur den Herausforderungen begegnen, sondern auch neue Perspektiven eröffnen.
Der vorliegende Jahresbericht gibt Ihnen Einblicke in die Arbeit und die Projekte, die im vergangenen Jahr realisiert wurden. Lassen Sie sich inspirieren und entdecken Sie Möglichkeiten, wie Sie die KIMW-F im neuen Jahr unterstützen kann.
Mit herzlichen Grüßen
Ihr Fabian Schleithoff
Geschäftsbereichsleiter bei der Südwestfälische Industrie- und Handelskammer zu Hagen
Geschäftsführer der Trägergesellschaft Kunststoff-Institut e. V.

Ihr
Fabian Schleithoff

Udo Hinzpeter
- Geschäftsführer -

Frank Mumme
- Geschäftsführer -

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

DIPL.-ING. MARKO GEHLEN

TECHNOLOGIESCOUT

TROTZ WELTWEITER KRISEN: TRENDS UND INNOVATIONEN IM FOKUS

2024 war ein intensives Jahr! Die Corona-Pandemie scheint schon weit weg, jedoch haben verschiedene andere Krisen auf der Welt auch die Wirtschaft ganz schön durcheinandergebracht. Zudem wurde u. a. durch die Streichung der Förderung Ende 2023 der ohnehin schon von Unsicherheit geprägten Transformation hin zur Elektromobilitätein ordentlicher Dämpfer verpasst, der auch in der Zulieferer- und Kunststoffbranche zu spüren war.
Je größer der Druck für die Unternehmen wird, desto wichtiger ist es für sie zu wissen, welchen Trends sie folgen, welche neuen Technologien und welche Materialien sie einsetzen können, um die eigene Wettbewerbsfähigkeit zu stärken. Genau hier liegt die Intention des Verbundprojekts Technologiescout, das seit 2011 in der aktuell fünften Auflage fortbesteht.

Abbildung 1: Projekttreffen Technologiescout im Juli 2024

Neben dem Besuch von verschiedensten Messen und Konferenzen gehören Internet- und Literaturrecherchen und die Durchführung von regelmäßigen Projekttreffen zum Aufgabengebiet des Technologiescouts.
Im abgelaufenen Kalenderjahr 2024 wurde über 23 Messen und 12 Tagungen berichtet. Dabei wird versucht, immer wieder neue Veranstaltungen mit in die Planung aufzunehmen.
So fand im Februar erstmalig die Fachtagung zu nachhaltigen Werkstoffen bei einem lokalen Verwerter in Ochtrup statt, die sich einerseits mit dem Recycling und andererseits mit Biopolymeren befasst hat.
Ebenfalls neu war der Fokustag zu per- und polyfluorierten Alkylsubstanzen (PFAS), der die aktuelle Situation zusammengefasst hat, aber auch die Auswirkungen eines Verbots dargestellt und Alternativen für bestimmte Anwendungen aufgezeigt hat.
Im Juni feierte die IMCcon, eine Tagung zu den vielfältigen Möglichkeiten des InMould Coatings, Premiere. Hier kamen sowohl Material- als auch Anlagenhersteller zu Wort. Die Veranstaltung wurde außerdem von einer kleinen Ausstellung begleitet.
Das Messehighlight der Branche war die Fakuma in Friedrichshafen im Oktober. Die Stimmung bzgl. der wirtschaftlichen Situation wurde von der Chefradakteurin der Kunststoffe, Susanne Schröder, mit „schwierig, durchwachsen bis optimistisch" überschrieben, was durchaus treffend ist. Ein Schwerpunktthema der Messe war Effizienz, die Unternehmen eben auch in schweren Zeiten Potentiale möglich macht.
Gleich im Anschluss hat sich die Zuliefererbranche in Wolfsburg versammelt. Auf der europäischen Leitmesse der Automobilzulieferer IZB, die in Zelten stattfindet, auf ein Fachpublikum ausgerichtet ist und über 840 Aussteller und nahezu 40.000 Besucher anzieht, wird die Wertschöpfungskette vollständig abgebildet.

Abbildung 2: Zeltmesse IZB 2024, Wolfsburg

Nach der Internationalen Zulieferer Börse gab es weitere Höhepunkte wie die Medizin-Technologie-Messe Compamed in Düsseldorf, die Automatisierungsmesse SPS in Nürnberg, die Formnext in Frankfurt und auch den High-Tech.NRW Demo Day in Bochum, auf dem junge Start-up Unternehmen ihre neuesten Entwicklungen und Produkte in Pitches vorstellen und auch ausstellen.
Das Projekt lebt vom Austausch unter den Teilnehmern und mit externen Experten. Daher wurden die Projekttreffen, wie schon in den vorangegangenen Jahren, wieder bei wechselnden Projektpartnern durchgeführt. Viele interessante Einblicke und Gespräche und darüber hinaus die Präsentation der Messeberichte runden die Projekttreffen ab.
Im April 2025 wird ein neues Projekt starten, das allen Interessierten offensteht.

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 Reppel
M.Sc.
Beschichtungstechnik

Marko Gehlen
Dipl.-Ing.
Strategie
Innovation

WISSENSCHAFTLICHE, TECHNISCHE MITARBEITER UND BERATER

Dr.-Ing.
Anatoliy Batmanov

Patrick Engemann,
M.Sc.

Jan-Ole Maras,
M.Sc.

Dipl.-Ing. (FH)
Matthias Militsch

Alexander Paskowski,
B.Eng.

Markus Pothmann,
B.Eng.

Dr. rar. nt.
Jens Handelmann

Dipl.-Ing.
Jens Hündorf

Prof. Dr.-Ing.
Andreas Ujma

ÜBERSICHT ÖFFENTLICH GEFÖRDERTER PROJEKTE 2024

BEREICH: BESCHICHTUNGSTECHNIK

Weitere Informationen:
Vanessa Reppel, M.Sc.
Tel.: +49 2351 6799-911
reppel@kunststoff-institut.de

3DMetoxcor

3D fähige diffusionsfeste NiO/$NiFe_2O_4$ Schichten

Laufzeit: 01.11.2023 bis 30.04.2026
Förderkennzeichen: 49MF230024
Fördermittelgeber: BMWK
Förderträger: EURONORM GmbH
Förderprogramm: INNO-KOM
Projektleiter: Dr. rer. nat. Jens Handelmann

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 Reppel, M.Sc.

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

Gefördert durch:

Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz

aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages

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

3DMETOXCOR

DR. RER NAT. JENS HANDELMANN

3D-FÄHIGE DIFFUSIONSFESTE NiO/$NiFe_2O_4$-BESCHICHTUNG

Die Entwicklung von leistungsfähigen Brennstoffzellen ist ein wichtiger Baustein in der Energiewende. In ihrer Eigenschaft als Energiewandler können sie beim Einsatz von nachhaltigen Brenngasen eine Möglichkeit der klimafreundlichen Erzeugung elektrischer Energie darstellen. Die Anforderungen an die Lebensdauer von Brennstoffzellen sind mit 40.000 Betriebsstunden enorm. Entscheidend für die Erreichung dieser langen Betriebsdauer ist es, die Alterung aller Bauteile stark zu reduzieren. Insbesondere die verwendeten metallischen Werkstoffe in einem Brennstoffzellen-Stack sind eine Schwachstelle. Dies ist vor allem in MCFC (molten carbonate fuel cell)- und SOFC (solid oxide fuel cell)- Zellen aufgrund der hohen Betriebstemperaturen von 600 – 800 °C ein Problem.

Das übergeordnete Ziel im Projekt 3DMetoxCor ist die Entwicklung und Optimierung eines Beschichtungsverfahrens zur Abscheidung von Korrosionsschutzschichten, die einerseits einen guten Korrosionsschutz und eine wirksame Diffusionsbarriere gegen Chrom (Cr) und Nickel (Ni) bieten und andererseits eine hohe elektrische Leitfähigkeit aufweisen. Angestrebt wird, eine Beschichtung zu entwickeln, welche den Einsatz von günstigen rostfreien Stählen in der Brennstoffzellentechnik ermöglicht.

Dünne metalloxidische Schichten mit einer Dicke von 1-5 µm der Elemente Nickel und Eisen sollen in einem Multilagen/gradierten Schichtaufbau die Migration von Cr nach außen im Temperaturbereich von 650-1000 °C wirksam verhindern. Die Abscheidung der graduierten Mischoxid-Schichten geschieht mithilfe eines MOCVD-Prozesses. Hierbei werden simultan die Precursor-Verbindungen $Ni(acac)_2$ sowie $Fe(acac)_3$ in einen CVD-Reaktor eingetragen. Durch den Einsatz einzelner Dosier-Extruder kann eine feine Einstellung der Schicht-Stöchiometrie erfolgen. Zunächst wird eine NiO-Schicht abgeschieden und im Anschluss darauf eine Mischoxid-Schicht aus NiO und Fe_2O_3. Die Applikation der NiO-Schicht verfolgt zwei Ziele. Durch Variation der Prozesslaufzeit der Abscheidung der NiO-Schicht kann die Stöchiometrie gezielt verändert werden, indem der Ni-Gehalt variiert wird. Ebenfalls kann die NiO-Schicht als Vermittlungsschicht zwischen der Spinell-Beschichtung und dem Stahl-Substrat agieren, dies ist insbesondere wichtig für den nachgelagerten Anlassprozess. Um die Schichtstruktur und -zusammensetzung und damit auch die Schichtperformance zu optimieren, werden die beschichteten Bauteile kurzfristig (2 Std.) bei 800 °C in einem nachgelagerten Anlassprozess getempert (Abbildung 1). Eine gezielte Phasenumwandlung zu einem stabilisierten Metalloxidsystem (mit Spinell-Struktur) kann so erreicht werden. Ebenfalls wird durch die Phasenumwandlung eine kristalline Beschichtung erzeugt, wodurch die Schichtdicke zunimmt. Erste Ergebnisse der XRD-Messung zeigen eine Umwandlung der amorphen Beschichtung zu einer kristallinen Schicht aus Fe_2O_3 und $NiFe_2O_4$ Spinell.

Abbildung 1: Beschichtete Probekörper während des Anlassprozesses

Um die Schichtqualität, die elektrischen Eigenschaften sowie die Korrosionsschutzwirkung der Beschichtungen flächig zu beurteilen, kommt die elektrochemische Impedanzspektroskopie (EIS) zum Einsatz. Die Morphologie der Schichten wird im REM und die Schichtstöchiometrie durch EDX-Messungen charakterisiert. Durch Korrelation aller Analyseergebnisse kann die am geeignetsten erscheinende Stöchiometrie der Beschichtung ausgewählt werden. Nach erfolgter Definition des vielversprechendsten Beschichtungsergebnisses, wird der MOCVD-Prozess optimiert, mit dem Ziel, ein homogenes Beschichtungsergebnis über die gesamte Reaktorlänge von 700 mm zu erreichen.

Gefördert durch:
Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz
aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages
ZIM Zentrales Innovationsprogramm Mittelstand

BIPPMOLDCOAT

VANESSA REPPEL, M.SC.

SPRITZGIESSWERKZEUG ZUR HERSTELLUNG VON BIPOLARPLATTEN

Das wesentliche Ziel des Projektes BiPPMoldCoat (BiPolarPlateMoldCoating), welches am 30.06.2024 beendet wurde, war die Entwicklung eines Spritzgießwerkzeuges und dessen Beschichtung für die Herstellung von Bipolarplatten (BPP) für Hochtemperatur-Polymer-Elektrolyt-Membran-Brennstoffzellen im Spritzprägeverfahren. Bei der Herstellung von dünnwandigen Bauteilen aus hochgefüllten Compounds liegt die Herausforderung in der vollständigen Füllung der Kavität und der hohen Klebeneigung der Compounds. Dem wurde im Projekt mit einer Kombination aus thermischer Barriere- und Antiadhäsions-Beschichtung begegnet.
In der Gemeinnützigen KIMW Forschungs-GmbH wurde mit MOCVD-Technologie eine thermische Barriereschicht auf Basis von ZrO_x auf den Spritzgießwerkzeugen appliziert, um die Formfüllung zu verbessern. Der Klebeneigung des Kunststoffes wurde mit einer chemisch-Nickelschicht mit PTFE-Anteil begegnet. Die Anbindung erfolgte über eine im MOCVD-Prozess applizierten Kupferbeschichtung. Eine alternativ als Decklage abgeschiedene SiO_2-Beschichtung konnte das Anhaften des hochgefüllten Compounds ebenfalls deutlich verbessern.
Als sehr herausfordernd stellte sich auch die spritzgusstechnische Auslegung des Flowfields im Werkzeug zur Herstellung der Bipolarplatten dar, da die filigranen Kanäle sowohl 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, wurden im Rahmen des Projektes entwickelt und umgesetzt.
Das fertig gestellte Werkzeug wurde zunächst im unbeschichteten Zustand bemustert und die hergestellten Platten aus hochgefülltem PPS hinsichtlich Qualität, Bearbeitbarkeit und Performance untersucht.

Abbildung 1: Werkzeugeinsatz (oben), spritzgegossene Bipolarplatte (unten)

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

Die Vermessung der nachgearbeiteten Platten ergab eine gute Abformung des Flowfields mit Kanälen von gleichmäßiger Tiefe. Die Platten wurden verschiedenen Funktionstests und Messungen in Short-Stacks unterzogen. Ein Unterschied zwischen gefrästen und gestrahlten Platten konnte nicht festgestellt werden. Die Platten zeigten im Betrieb einen sehr gleichmäßigen Widerstand über die Bauteilfläche und über die gesamte Prozesszeit (330 h), der zudem vergleichbar mit einer zugekauften Platte im Messaufbau war, was den Platten eine sehr gute Funktionalität bescheinigt.

Um eine bessere Performance im Spritzgussprozess zu erzielen, wurde das Werkzeug vor der Beschichtung nachgearbeitet und die Durchbrüche entfernt. Die Beschichtung erfolgte mit einer SiO_2-Decklage statt der chemisch-Nickel-PTFE Schicht. Bei der Bemusterung des Werkzeuges wurde durch die mögliche Reduzierung der Werkzeugwandtemperatur ein Anhaften des Kunststoffes an der Werkzeugoberfläche gänzlich vermieden und gute Platten konnten in einer deutlich kürzeren Zykluszeit hergestellt werden. Ein Anstieg des Prozessdruckes blieb jedoch aus und die Fertigung war ohne Trennmittel möglich, was auf einen positiven Effekt durch die Beschichtung schließen lässt.

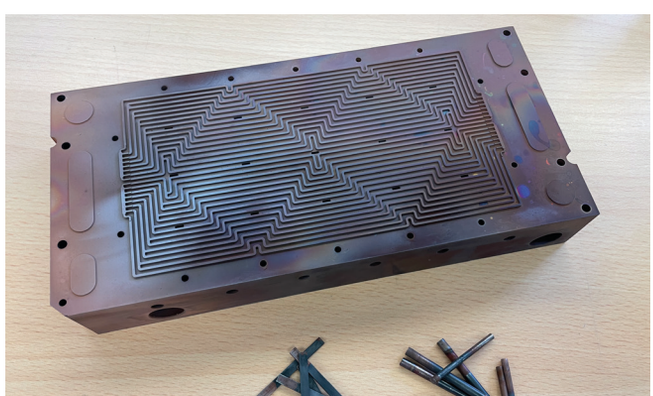


Abbildung 2: beschichteter Werkzeugeinsatz mit Stiften zum Verschließen der Auswerferbohrungen

ÜBERSICHT ÖFFENTLICH GEFÖRDERTER PROJEKTE 2024

BEREICH: PROZESSTECHNIK

Weitere Informationen:
Dr.-Ing. Angelo Librizzi
Tel.: +49 2351 1064-134
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.

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
Projektleiterin: Vanessa Reppel, M.Sc.

IoT4CO2

Entwicklung eines Systems zur Optimierung von CO_2-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: Markus Pothmann, B.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:

Bundesministerium
für Wirtschaft
und Klimaschutz

aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

Gefördert durch:
Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz
aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages
ZIM Zentrales Innovationsprogramm Mittelstand

AMEDI

JAN-OLE MARAS, M.SC.

ANLAGENENTWICKLUNG METALLDIREKTEINSPRITZEN

In Zeiten der Elektrifizierung und Smartifizierung von Produkten kommt der Herstellung von hybriden Kunststoff-Metall-Bauteilen eine immer größere Bedeutung zu. Daraus resultieren ebenso gestiegene Anforderungen an die Effizienz der Herstellungsverfahren. Um diesen Anforderungen zu begegnen, wurde das Verfahren des Metalldirekteinspritzens entwickelt. Hiermit können in einem One-Shot Prozess die oben genannten hybriden Bauteile produziert werden. Die Vorteile bestehen vor allem in dem hohen Automatisierungsgrad, dem hohen CO_2- und Energieeinsparpotential, durch das Wegfallen der Halbzeugproduktion und -transport, sowie der hohen Gestaltungsfreiheit der Produkte. Für die Herstellung der Artikel, die bspw. für elektronische Informationsübertragung, EMV-Abschirmung oder für die Antennen-/Kommunikationstechnik eingesetzt werden können, wird eine qualifizierte Anlagentechnik benötigt, die in dem FuE-Projekt „AMeDi" in Zusammenarbeit mit der POLAR-FORM Werkzeugbau GmbH und der Balver Zinn Josef Jost GmbH & Co. KG im Rahmen einer ZIM-Förderung entwickelt wurde.

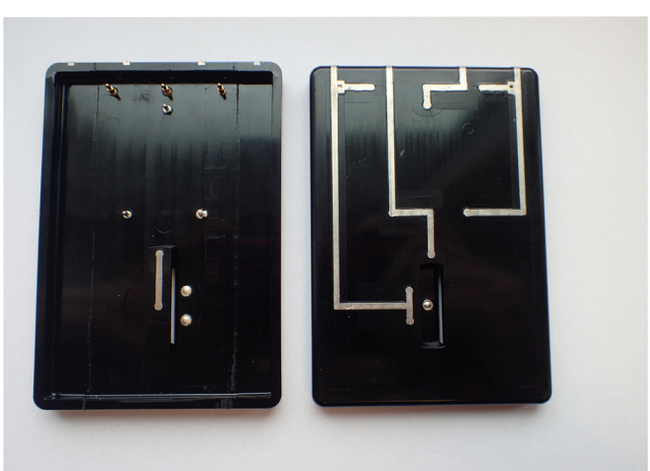


Abbildung 1: Mit dem Metalldirekteinspritzen gefertigter Demonstrator

Das Ziel des Projektes war die Entwicklung einer Anlagentechnik, die neben dem Aufschmelzen, Vordosieren und Einspritzen, eine höchstmögliche Automatisation aufweist. Dabei war ein Kriterium, dass es sich um eine Stand-Alone-Anlage handelt, die als Add-On mit nahezu jedem gängigen Spritzgießwerkzeug eingesetzt werden kann. Ebenso hatte die einfache Handhabung, d. h. der Betrieb mit 230 V und üblicher Druckluft, Priorität.
Um die geplanten Ziele zu erreichen, wurden in der ersten Projektphase die notwendigen Anlagenteile, Materialzuführungs-, Aufschmelz-, Dosier- und Fördereinheit, ausgelegt und konstruiert. Darüber hinaus wurden Werkstoff- und Beschichtungstests durchgeführt, um möglichst wenig Anhaftungen der Metalllegierung innerhalb der Anlage zu gewährleisten. In der zweiten Phase wurden die Anlagenteile gefertigt und weitere Optimierungen an diesen durchgeführt. Ebenso wurde in dieser Phase des Projektes eine elektronische Steuerung entwickelt und gefertigt, die die Metalldirekteinspritzanlage automatisiert. In der letzten Phase des Projektes wurde die Materialzuführung, die den Einsatz von Metallpellets möglich macht, in die Anlage integriert. Darüber hinaus wurde die Anbindung an das in Phase 2 entwickelte Demonstratorwerkzeug optimiert und für den Einsatz in Zweikomponentenwerkzeugen reif gemacht.
Durch die erfolgreiche Entwicklung ist eine Anlagentechnik entstanden, die es möglich macht, vorgespritzte Kunststoffbauteile mit Leiterbahnen, Antennen und Steckkontakten auszustatten. Die Anlage wird durch eine externe Steuerung gesteuert, die in Zukunft mit der Spritzgießmaschine kommunizieren soll und so das Metalldirekteinspritzen vollständig in den Spritzgießprozess integriert.

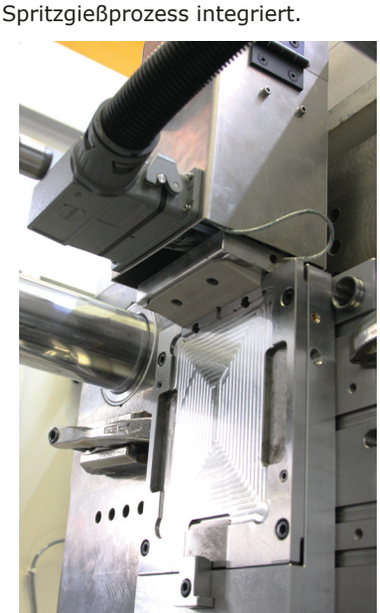


Abbildung 2: Prototyp Anlagentechnik

Gefördert durch:
Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz
aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages
ZIM Zentrales Innovationsprogramm Mittelstand

FAEBS

VANESSA REPPEL, M.SC.

MATERIALQUALIFIKATION FÜR NIEDERTEMPERATUR-BRENNSTOFFZELLEN

Die Einbeziehung von „grünem" Wasserstoff ist ein wichtiger Baustein in den zukünftigen Mobilitäts- und Energiekonzepten. Die Entwicklung einer PEMFC (Proton Exchange Membrane Fuel Cell) zu marktkompatiblen Preisen ist im Projekt zur *Funktionsauslegung und -erprobung eines innovativen Brennstoffzellensystems (FaeBS)* zur Nutzung im Individualverkehr das Ziel.

Der Fokus bei der KIMW-F lag auf der Entwicklung von ex-situ Charakterisierungsmethoden für Systemmaterialien, die reale Fahrzeugbedingungen in einem beschleunigten Stresstest simulieren. Damit erfolgte dann die Bewertung der potenziell geeigneten Materialien hinsichtlich ihres Kontaminationsverhaltens – freigesetzte Substanzen dürfen die Funktion der Brennstoffzelle nicht dauerhaft stören - in flüssiger und gasförmiger Phase, die das Lastenkollektiv im Brennstoffzellenbetrieb abbilden.

Im Rahmen des Projektes wurden unterschiedlichste relevante Emissions- und Elutionskontaminanten gefunden und quantifiziert. Eine spezifische Prüfkammer wurde aufgebaut und für die im Projekt entwickelten schnellen ex-situ Prüf- und in-situ-Testmethoden für die Materialauswahl eingesetzt. Emissionen aus den Materialproben wurden mittels GC-MS analysiert. Durch Auslagerung von Normprobekörpern in eigens zu diesem Zweck adaptierten Autoklaven, gefüllt mit unterschiedlichen Elektrolytlösungen, wurden Kontaminationen im Elektrolyt quantifiziert. Die Versuche wurden bei den Partnern standardisiert. In den letzten Projektmonaten wurden die Versuche am ZBT, bei BMW und der KIMW Forschungs-gGmbH sinnvoll miteinander verzahnt, um die beobachteten Leistungsabfälle mit der Quantifizierung der Kontaminationen zu korrelieren.

Insgesamt konnte ein signifikanter Anstieg des pH-Wertes in der Elektrolytlösung über die Auslagerungszeit beobachtet werden. Dieser hängt mit der Anwesenheit der Glasfaserverstärkung in den Materialien zusammen, stellt jedoch in der Brennstoffzelle aufgrund der regelmäßigen Regeneration kein signifikantes Hemmnis dar. Die Kontaminationsintensität hängt von der Temperatur und dem pH-Wert im Elektrolyt ab. Deutliche Unterschiede zeigten sich auch in den nachgewiesenen TOC- (Total Organic Carbon) (Abbildung 1) und TNb- (Total Nitrogen bound) Werten. Durch eine Hydrolysestabilisierung konnte der Austrag deutlich reduziert werden. Die hohen Werte bei PA6 und PA66 sind für eine signifikante Performanceänderung der Brennstoffzelle verantwortlich.
Die Analyse der Emissionen zeigte die Freisetzung unterschiedlicher Kontaminanten, die auf Glasfaserschlichte, die Glasfasern sowie auf Additive zur Wärmealterungsstabilisierung/ Antioxidationsmittel, zur Verbesserung der mechanischen Eigenschaften oder für den Flammschutz zurückzuführen sind. Auch konnten Monomerbestandteile bei PP und PA6 nachgewiesen werden. Zu Beginn der Emissionsanalyse konnte ein stärkerer Austrag an Emissionen detektiert werden, der im Laufe der Analysezeit abnimmt. Wie die Elution ist auch die Emission temperaturabhängig und konnte durch eine Stabilisierung der Polymere deutlich reduziert werden (PA6T und PA9 in Abbildung 1).

Die Meilensteine im Projekt wurden erreicht und die entwickelten Charakterisierungsmethoden stehen für eine standardisierte Analyse in-situ und ex-situ zur Verfügung.

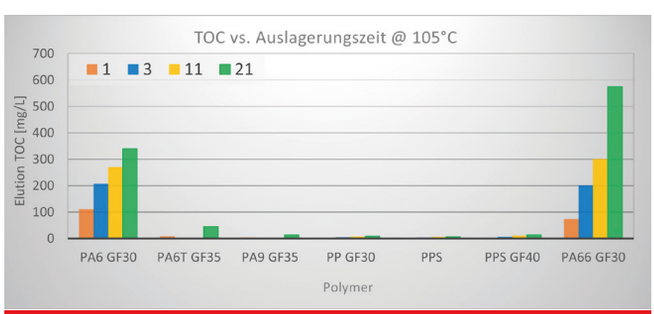


Abbildung 1: TOC-Werte in Abhängigkeit der Auslagerungszeit (in Tagen) und des Materials bei 105°C

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

IOT4CO2

ALEXANDER PASKOWSKI, B.ENG.

IOT-CO2-FOOTPRINT-OPTIMIERUNG IN DER KUNSTSTOFFPRODUKTION

Das Projekt IoT4CO_2 verfolgt das Ziel, eine umfassende Lösung zur CO_2-Bilanzierung industrieller Prozesse zu entwickeln. Dabei sollen Stromverbrauchsdaten, Produktionsparameter und weitere Kenngrößen erfasst, analysiert und zur Optimierung der Prozesse genutzt werden. Im Mittelpunkt steht die Entwicklung eines Systems, das Messsensorik, IoT-Technologien und eine Cloud-basierte Plattform integriert, um eine präzise Berechnung des Product Carbon Footprints (PCF) zu ermöglichen. Die Ergebnisse sollen Unternehmen dabei unterstützen, ihre Prozesse nachhaltiger zu gestalten und gesetzliche Anforderungen zu erfüllen.
Im ersten Schritt wurden die Anforderungen an die einzelnen Systemkomponenten definiert. Für die Strommessung wurde ein Messsystem mit der passenden Sensorik ausgewählt, dass in Kombination mit MID-zertifizierten Zählern exakte Verbrauchsdaten aller relevanter Peripherie im Spritzgießprozess liefert. Die einfache Integration in bestehende Maschinen sowie die Nutzung standardisierter Schnittstellen wie Modbus TCP und OPC UA gewährleisten eine hohe Flexibilität. Ein Edge-Device dient als IoT-Gateway, um die Daten aufzunehmen, zu verarbeiten und über sichere Kommunikationsprotokolle an die Cloud zu übertragen.
Die zentrale Plattform erfüllt dabei mehrere Aufgaben. Sie verarbeitet die Messdaten, berechnet CO_2-Äquivalente und ermöglicht die Darstellung dieser Werte sowie Handlungsempfehlungen in einem nutzerfreundlichen Frontend. Gleichzeitig sorgt ein robustes Backend für die Zuordnung der Daten gemäß Industriestandards (DIN EN 61512), die Absicherung und Speicherung sowie die Integration von maschinellen Lernalgorithmen zur Optimierung der Prozesse. Zur Ermittlung der CO_2-Äquivalente wurden externe Datenbanken angebunden, die sowohl statische Werte als auch dynamische Zeitreihen für unterschiedliche Regionen bereitstellen. Eine API-basierte Integration sorgt dafür, dass die Daten stets aktuell sind und direkt in die PCF-Berechnungen einfließen können.
Die Datenaufnahme und -verarbeitung wurden zunächst unter Laborbedingungen getestet, um die Funktionsfähigkeit des Systems sicherzustellen. Anschließend wurden die Sensoren und Gateways an Produktionsmaschinen installiert. Um die Funktionalität des Systems unter realen Bedingungen zu validieren, wurden repräsentative Produktionsumgebungen entwickelt, darunter verschiedene Prozesse wie Thermoplast-, PUR- und Nasslackieranwendungen. Hierbei wurden die relevanten Prozessparameter erfasst, analysiert und in standardisierten Formaten bereitgestellt. Die dynamische Gestaltung der Plattform erlaubt es, neue Teilsysteme und Prozessparameter flexibel hinzuzufügen und anzupassen.

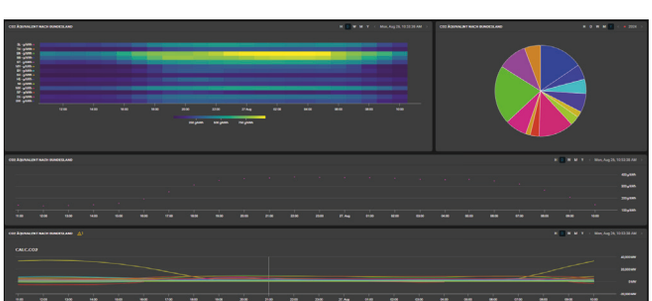


Abbildung 1: Frontend der CO_2 Bilanzierung

Ein zusätzliches Element des Projekts ist die Entwicklung von Algorithmen des maschinellen Lernens, die Prozessparameter analysieren und deren Einfluss auf den CO_2-Ausstoß berechnen. Hierbei kommen sowohl überwachte als auch unüberwachte Lernmethoden zum Einsatz, ergänzt durch Regressionsanalysen zur Optimierung der Prozesse. Der Plug-and-Work-Ansatz ermöglicht die Übertragung der entwickelten Modelle auf andere Systeme, wie Spritzgießmaschinen unterschiedlicher Hersteller.

Abschließend stellt die entwickelte Lösung eine innovative Möglichkeit dar, den CO_2-Fußabdruck von Produkten entlang der gesamten Produktionskette zu ermitteln und kontinuierlich zu optimieren. Durch die Kombination von präziser Messsensorik, leistungsfähigen IoT-Gateways und einer skalierbaren Plattformtechnologie kann das System nicht nur in der Industrie flexibel eingesetzt, sondern auch auf andere Branchen übertragen werden. Die Bereitstellung von Echtzeitdaten, Handlungsempfehlungen und CO_2-Zertifikaten gibt Unternehmen ein mächtiges Werkzeug an die Hand, um ihre Nachhaltigkeitsziele zu erreichen.

Gefördert durch:
Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz
aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages
ZIM Zentrales Innovationsprogramm Mittelstand

RADAR

PATRICK ENGEMANN, M.SC.

REDUZIERUNG DER TOTZONE BEI DER ENTFERNUNGSMESSUNG

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 Genauigkeit der Entfernungsmessung zu verbessern, indem die Totzone vor dem Radar minimiert wird. Die dafür zu entwickelnde Technologie reduziert hierfür Störsignale, welche bei Messungen von kurzen Abständen Störungen verursachen. Die Projektgruppe setzt sich dabei aus der Firma Sondev GmbH, dem Präzisionsformenbau Gärtner GmbH, der Fachhochschule Südwestfalen und der gemeinnützigen KIMW Forschungs-GmbH zusammen.
Um das Projektziel zu erreichen, wurde eine Struktur entwickelt, die Störsignale absorbiert und in Wärme umwandelt. Erste Simulationen in diesem Bereich verdeutlichten bereits den Einfluss einer Struktur auf einem Kunststoffsubstrat, welches in das Radom integriert wurde. Hierdurch konnte unter anderem ein direktes Überspringen von der Sende- auf die Empfangsantenne unterbunden werden. Im weiteren Projektverlauf erfolgten die Umsetzung und Erprobung der Strukturen anhand eines Radars, welcher für die Anwendung eigens entwickelt und optimiert wurde. Hierzu erfolgte die Gestaltung eines Antennenlayouts sowie die Planung der Anordnung von Sende- und Empfangsantennen auf der Trägerplatine. Zu diesem Zweck fanden umfangreiche simulative Betrachtungen der Antennen statt. Um eine fehlerhafte Messung im Nahbereich aufgrund von anhaftendem Wasser auf der Radomoberfläche zu vermeiden, wurde die Austrittsfläche der Radarstrahlung wasserabweisend gestaltet. Erzielt wird der gewünschte Effekt zum einen durch die geometrische Gestaltung des Radoms, zum anderen durch eine Modifikation der Kunststoffoberfläche, an der eine Anhaftung von Kondensat unterbunden wird. Das neu entworfene Radom und das dazugehörige Gehäuse schützen die darin befindliche Elektronik vor äußeren Einflüssen. Zu diesem Zweck ist die Umhausung wasser- und staubdicht konstruiert, dies gewährleistet einen zuverlässigen Einsatz im Außenbereich. Getestet wird der Aufbau sowohl unter Laborbedingungen an einem Versuchsstand als auch unter realen Bedingungen. Die Messung des Füllstandes erfolgt dabei senkrecht von der Oberseite eines Behälters auf den eingelagerten Inhalt im Inneren. Zu Versuchszwecken werden Industriebehälter mit Flüssigkeit befüllt und der Füllstand messtechnisch überprüft. Um eine mögliche Fehlmessung aufgrund von angrenzenden Behältern zu ermitteln, erfolgt die Messung an aneinander gereihten Behältern, die einen unterschiedlichen Füllstand aufweisen.

Das neu entwickelte Radar soll unter anderem in der Ermittlung des Füllstandes von Industriebehältern Anwendung finden. Damit tritt das Radar mit den unterschiedlichsten Medien in Kontakt, die bei der Entwicklung berücksichtigt werden müssen. Darüber hinaus wird eine Anwendung der neuen Technologie im Bereich des Automobils angestrebt, wo noch weitere Anforderungen an die Technologie gestellt werden.

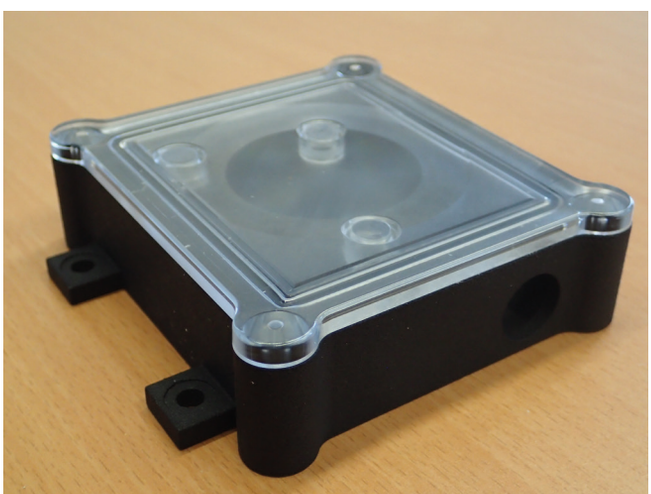


Abbildung 1: Radargehäuse aus dem Projekt „Radar"

Gefördert durch:
Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz
aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages
ZIM Zentrales Innovationsprogramm Mittelstand

RE:EPP

MARKUS POTHMANN, B.ENG.

EIN INNOVATIVER RECYCLINGPROZESS FÜR EPP-MATERIALIEN

Im Rahmen des ReEPP-Projekts wurde ein Verfahren entwickelt, das die Herstellung von EPP-Bauteilen aus recyceltem Altmaterial ermöglicht. Dabei wurde nicht nur der Produktionsprozess berücksichtigt, sondern auch die Aufbereitung und Rückgewinnung der Altmaterialien. Der Prozess ist so gestaltet, dass Verarbeiter alte Bauteile in neue Produkte umwandeln können und sowohl Rückläufer als auch Produktionsabfälle direkt in die Produktion zurückgeführt werden können. Das Verfahren bietet eine effiziente Wiederverwertung von expandiertem Polypropylen (EPP) durch einen speziell entwickelten Recyclingprozess. Dieser nutzt das Atecarma-Verfahren der Teubert Maschinenbau GmbH, um eine hohe Qualität und mechanische Stabilität des Materials über mehrere Recyclingzyklen sicherzustellen.
Im Kern des Verfahrens steht eine präzise Zerkleinerung und Aufbereitung des EPP-Materials, ohne die Struktur der einzelnen EPP-Perlen zu beeinträchtigen. Dadurch bleibt das Material für verschiedene Einsatzzwecke wiederverwendbar, ohne nennenswerte Einbußen bei den mechanischen Eigenschaften bei Zumischung von bis zu 50 % Rezyklat. Das recycelte EPP-Material eignet sich für strukturelle und dekorative Anwendungen, beispielsweise als Bodendämmplatten, Sitzauflagen oder beschichtete Oberflächen. Mithilfe optimierter 2D- und 3D-Formwerkzeuge kann das Material in komplexen Geometrien verarbeitet werden, ähnlich wie bei frischem EPP-Material. Ein thermischer Prozess zerkleinert das zu rezyklierende Material in seine Einzelperlen, sodass es erneut verwendet werden kann, ohne die Grundstruktur zu beschädigen. Dieser geschlossene Recyclingprozess maximiert die Lebensdauer des EPP-Materials, reduziert Abfall und fördert eine nachhaltige Kreislaufwirtschaft.
Das Verfahren eröffnet zusätzliche Möglichkeiten, indem es erlaubt, das recycelte Material mit dekorativen Folien oder hinterschäumten Lackierungen zu veredeln, um glatte Oberflächen für dekorative Anwendungen zu schaffen, ohne die Funktionalität zu beeinträchtigen. Somit stellt das Verfahren einen bedeutenden Fortschritt in der nachhaltigen Nutzung und Wertschöpfung von EPP-Materialien dar und bietet Unternehmen die Chance, hochwertige, funktionale und ressourcenschonende Produkte zu entwickeln. Die KIMW Forschungs-gGmbH hat in Zusammenarbeit mit Teubert Maschinenbau und Paul Müller im Rahmen des ZIM-geförderten ReEPP-Projekts einen Recyclingprozess sowie die entsprechende Anlagentechnik für EPP-Materialien entwickelt. Das im Projekt entwickelte Werkzeug arbeitet im Gegensatz zur herkömmlichen EPP-Verarbeitung nicht mit Heißdampf, sondern mit variothermer Beheizung der Werkzeugwände, was den Energieverbrauch senkt. Durch die Anpassung des Atecarma-Verfahrens werden die EPP-Perlen mit einer Atecarma-Emulsion vorbehandelt, unter Druck in komprimierter Form in das Werkzeug eingeblasen und rein durch thermische Energieeinwirkung über die Werkzeugwände miteinander verschweißt. Dies führt zu hochwertigen Produkten, die von herkömmlich verschmolzenen Bauteilen nicht zu unterscheiden sind. Die Zerkleinerung der zu recycelnden EPP-Bauteile erfolgt thermomechanisch, da rein mechanisches Schreddern die Struktur der EPP-Perlen beschädigen und ihre Wiederverwendbarkeit beeinträchtigen würde.

Abbildung 1: Mit rezykliertem EPP hinterschäumte Lackierung, Sitzauflage

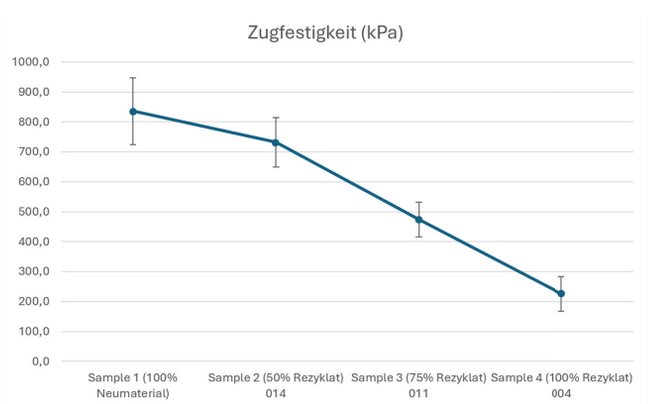


Abbildung 2: Zugfestigkeit nach ISO 1798 der Recyclingstufe 1 (ARPRO 5135) aus Plattenmaterial

Gefördert durch:
Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz
aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages
ZIM Zentrales Innovationsprogramm Mittelstand

QUALODOROMAT

DIPL.-ING. JENS HÜNDORF

ENTWICKLUNG EINES GERÄTS ZUR GERUCHSBEWERTUNG VON KUNSTSTOFFEN

Das ZIM-Kooperationsprojekt "Qualodoromat" (hervorgegangen aus dem ZIM-Innovationsnetzwerk KI-MAPS) erforschte Methoden der automatisierten Geruchscharakterisierung von Kunststoffproben mit Hilfe von Künstlicher Intelligenz und Robotik.
Heutzutage werden Geruchsprüfungen von Kunststoffen manuell durch Experten durchgeführt. Hierfür sind sehr viel Erfahrung und auch Zeit notwendig. Neben der subjektiven Bewertung der Geruchseindrücke stellen die Geruchstests zum Teil eine hohe Belastung für die menschliche Nase dar. Hier setzte der Forschungsverbund aus den 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 fokussierte 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, erfolgte die Modellierung von Geruchsprofilen durch Genie Enterprise. Hierfür wurden verschiedene aktuelle KI-Verfahren eingesetzt und adaptiert. Hierdurch gelang es bedingt, Kunststoffproben automatisiert in Geruchsprofile einzuordnen und daraus objektiv Geruchsnoten abzuleiten. Durch das Zusammenspiel der verschiedenen Komponenten eines Kunststoffs ergeben sich hoch komplexe Daten für die Geruchsbewertung. Diese wurden schrittweise aufbereitet, vorverarbeitet und final ML-Modellen als Trainingsmaterial zugeführt. Im Projekt konnte gezeigt werden, dass ohne Vorkenntnisse über das Material oder dessen Zusammensetzung sowie ohne Nutzung spezifischer 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, gelang es ebenfalls im Varianzspektrum menschlicher Verprober zu bleiben (mittlerer Fehler liegt bei 0.5 Notenwerten).

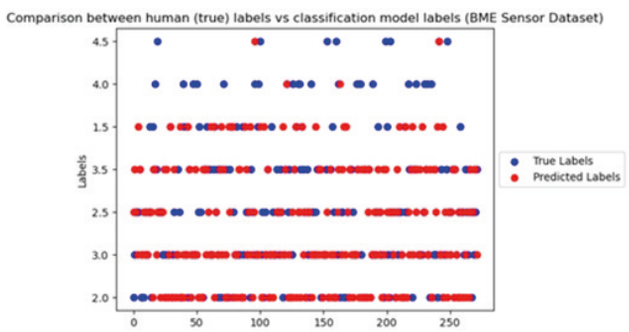


Abbildung 1: Vergleich von menschlicher Geruchsbewertung (ground truth; blaue Punkte) und automatisch klassifizierten Ergebnissen (rote Punkte).

Die Hochschule Trier entwickelte einen Forschungsdemonstrator, welcher sowohl das Probenhandling als auch die sensorische Vermessung der Kunststoffe realisiert. Für die Geruchsmessungen wurde eine Multi-Sensoreinrichtung entwickelt, die auf spezifische Anforderungen der Kunststoffe abgestimmt ist. Weiterhin wurden 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 manuellen Aufwand. Somit gelingt es, Kunststoffproben in größerer Menge und einer gleichbleibenden Bewertungs-Qualität zu vermessen. Weiter wurde 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 für das Training von maschinellen Lernverfahren verfügbar ist.

Weiterhin haben 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, Sensoradaptionen, unterstützender Robotik und Expertenwissen aus der Geruchsprüfung, hat das ZIM-Kooperationsprojekt "Qualodoromat" ein objektives und performantes System für die Geruchsbewertung von Kunststoffen geschaffen.

ÜBERSICHT ÖFFENTLICH GEFÖRDERTER PROJEKTE 2024

BEREICH: MATERIALENTWICKLUNG

Weitere Informationen:
Dr.-Ing. Angelo Librizzi
Tel.: +49 2351 1064-134
librizzi@kunststoff-institut.de

BioDeCoat
Entwicklung eines Waschprozesses zum Entschichten von bedruckten und lackierten Kunststoffbauteilen und Textilien zur Herstellung von sortenreinen Rezyklaten

Laufzeit: 01.04.2024 bis 31.03.2027
Förderkennzeichen: EFRE-20800092
Fördermittelgeber: Land NRW / EU
Förderträger: Projektträger Jülich
Förderprogramm: GreenEconomy.IN.NRW
Projektleiter: Markus Pothmann, B.Eng.

MeRePoly
Entwicklung eines seriennahen Demonstrators zur zerstörungsfreien Messung der Restfeuchte von Polymeren

Laufzeit: 01.06.2024 bis 31.05.2027
Förderkennzeichen: EFRE-20800293
Fördermittelgeber: Land NRW / EU
Förderträger: Projektträger Jülich
Förderprogramm: Energie.IN.NRW
Projektleiter: Dipl.-Ing. (FH) Matthias Militsch

Die genannten Forschungsvorhaben werden unterstützt durch:

Gefördert durch:

Ministerium für Wirtschaft, Industrie, Klimaschutz und Energie des Landes Nordrhein-Westfalen

Kofinanziert von der Europäischen Union

BIODECOAT

MARKUS POTHMANN, B.ENG.

Ministerium für Wirtschaft, Industrie, Klimaschutz und Energie des Landes Nordrhein-Westfalen

Kofinanziert von der Europäischen Union

WASCHPROZESS ZUR ENTSCHICHTUNG VON BEDRUCKTEN KUNSTSTOFFBAUTEILEN & TEXTILIEN

Mit dem Projekt BioDeCoat setzt die Gemeinnützige KIMW-Forschungs-GmbH zusammen mit starken Partnern neue Standards für die Kreislaufwirtschaft. Ziel ist es, eine nachhaltige Lösung für die Entschichtung und Wiederverwertung von beschichteten Kunststoffen und Textilien zu entwickeln. Dabei steht die Verwendung biobasierter und umweltfreundlicher Lösungsmittel im Fokus. Dieses innovative Verfahren bietet die Chance, bisher unzureichend genutzte Materialströme in wertvolle Rohstoffe umzuwandeln – ein entscheidender Beitrag für den Klimaschutz und die Ressourcenschonung. Aktuell werden viele Kunststoff- und Textilabfälle thermisch verwertet. Dies bedeutet eine direkte CO_2-Freisetzung und den Verlust wertvoller Rohstoffe. Besonders beschichtete oder bedruckte Materialien sind schwer recycelbar, da ihre Schichten aus unterschiedlichen Materialien bestehen. Ein effektives Trennen dieser Schichten ist bislang häufig wirtschaftlich nicht praktikabel. Mit BioDeCoat soll sich dies ändern. Der Fokus liegt auf der Nutzung biobasierter Lösungsmittel, die durch ihre geringe Toxizität und biologische Abbaubarkeit überzeugen. Dies führt nicht nur zu einer effizienteren Wiederverwertung, sondern auch zu einem sichereren Arbeitsumfeld. Das Herzstück des Projekts ist die Entwicklung eines Waschprozesses, der die Schichten von Textilien und Kunststoffteilen löst, ohne das Trägermaterial zu schädigen. Ein zentraler Aspekt ist der Einsatz von biobasierten Lösungsmitteln (BBL) wie Dihydrolevoglucosenon (Cyrene) oder Dimethylisosorbid (DMI). Diese ersetzen konventionelle, oft gesundheits- und umweltschädliche Lösungsmittel. Im Vergleich zu herkömmlichen Verfahren bietet dieser Ansatz zahlreiche Vorteile: reduzierte CO_2-Emissionen durch Wiederverwendung der Materialien, geringere Umweltbelastung durch biologisch abbaubare Lösungsmittel und höhere Arbeitssicherheit durch ungiftige und nicht entflammbare Substanzen. Die Kunststoffteile und Textilien werden mechanisch zerkleinert, um die Oberfläche für das Lösungsmittel zugänglicher zu machen. Mithilfe der BBL werden die Schichten durch sanfte Erhitzung und Rühren gelöst. Nach der Entschich-tung werden die Materialien gefiltert, das Lösungsmittel regeneriert und die gewonnenen Rohstoffe aufgearbeitet. Die gereinigten Materialien können erneut verarbeitet und in den Produktionskreislauf eingebracht werden. BioDeCoat steht exemplarisch für eine nachhaltige Kreislaufwirtschaft. Durch die Wiederverwertung der Materialien werden fossile Rohstoffe eingespart und CO_2-Emissionen reduziert. Gleichzeitig schafft der Ansatz neue wirtschaftliche Möglichkeiten wie Kosteneinsparungen durch reduzierten Bedarf an neuen Rohstoffen und geringere Entsorgungskosten sowie ein Innovationspotenzial durch die Entwicklung von „Ready-to-Recycle"-Produkten und die Optimierung bestehender Wertschöpfungsketten. Das Projekt ist ein Kooperationsvorhaben, an dem fünf Partner aus Industrie und Forschung beteiligt sind. Gemeinsam wird die gesamte Wertschöpfungs-kette abgedeckt – von der Forschung bis zur industriellen Umsetzung. Dies macht BioDeCoat zu einem Modell-projekt für ähnliche Vorhaben und bietet das Potenzial, die Ergebnisse auf andere Branchen zu übertragen. BioDeCoat setzt einen wichtigen Meilenstein in Richtung klimaneutrale Industrie. Die Ergebnisse werden nicht nur Prozesse verbessern, sondern können langfristig dazu beitragen, die Akzeptanz und Attraktivität von Recyclingmaterialien zu steigern. Die KIMW-F ist stolz darauf, Teil dieses innovativen Projekts zu sein und freut sich darauf, mit BioDeCoat einen nachhaltigen Beitrag zur Umwelt und zur Zukunft unserer Industrie zu leisten.

Abbildung 1: zerkleiterte und lackierte PC-ABS Kunststoff-Flakes (TETRALOG upcycling GmbH & Co. KG)

Abbildung 2: Zerkleinerte und lackierte Kunststoff-Flakes in BBL im Laborreaktor (DTNW)

Ministerium für Wirtschaft,
Industrie, Klimaschutz und Energie
des Landes Nordrhein-Westfalen

Kofinanziert von der
Europäischen Union

MEREPOLY

DIPL.-ING. (FH) MATTHIAS MILITSCH

MESSUNG DER RESTFEUCHTE IN POLYMERGRANULATEN

In der Kunststoffverarbeitung wirkt sich die Feuchte des zu verarbeitenden Kunststoffmaterials entscheidend auf die Produktqualität und die Prozesssicherheit aus. Insbesondere bei Polykondensaten führt ein erhöhter Feuchtigkeitsgehalt einerseits zur Beeinträchtigung mechanischer Eigenschaften, wie Festigkeit oder Elastizität und zum anderen zu einer instabilen Prozessführung durch eine unkontrollierte Reduzierung der Schmelzeviskosität. Die aus dem Verdampfen der Feuchtigkeit resultierende Schaumbildung kann zur Entstehung von Oberflächendefekten wie Schlieren sowie zum Auftreten mechanischer Schwachstellen durch Blasen führen. Somit verursacht ein erhöhter Feuchtegehalt minderwertige Formteile, die den gestellten Anforderungen nicht entsprechen. Kunststoffe müssen daher vor der Verarbeitung energieintensiv getrocknet werden.
Zur Bestimmung der Trocknungsparameter (Temperatur und Dauer) werden, unabhängig vom tatsächlichen Restfeuchtegehalt, standardisierte Tabellenwerte der Trocknungsanlagenhersteller verwendet. Während des Trocknungsprozesses wird zyklisch wiederholend die Restfeuchte gemessen. Zur Messung der Restfeuchte existieren qualitative und quantitative Möglichkeiten, diese sind entweder Offline- oder Atline-Verfahren. Für manche Verfahren werden spezielle Chemikalien und qualifizierte Mitarbeiter benötigt. Diese klassisch angewandte, sich zyklisch wiederholende Messung der Restfeuchte führt dazu, dass der exakte Entnahmezeitpunkt des Kunststoffs aus der Trocknungsanlage nicht bestimmt wird und die Polymere bevorzugt übertrocknet werden.
Folglich hat diese Prozessführung den gravierenden Nachteil, dass eine deutlich erhöhte Energiemenge für die Trocknung der Polymere aufgewendet wird. Zusätzlich führt die sogenannte Übertrocknung ebenfalls zu einer verminderten Prozesssicherheit sowie zur Beeinträchtigung der mechanischen Eigenschaften am späteren Bauteil.
Somit ist in der Kunststoffverarbeitung die genaue Kenntnis der Restfeuchte der zugeführten Kunststoffgranulate insbesondere bei hygroskopischen Kunststoffen wie Polyamiden, die in vielen technischen Bereichen eingesetzt werden, von großer Bedeutung. Während eine Vielzahl von Offline-Messverfahren existieren, die zum Teil langwierig und zerstörend sind, fehlen Inline-Messverfahren, die eine präzise direkte Überwachung des Restfeuchtegehaltes im laufenden Prozess ermöglichen.
Ziel des Projektes ist die Entwicklung eines neuartigen Demonstrators, der die Restfeuchte des Kunststoffgranulates kontinuierlich innerhalb der Produktionsumgebung prüfen kann und so eine zustandsabhängige Regelung des Trockners ermöglicht. In einem ersten Schritt werden dazu die Materialien charakterisiert und der Einfluss des Wassers auf die geplante Messumgebung simuliert. Parallel dazu werden Algorithmen entwickelt, die den Feuchtegehalt präzise ableiten. Im weiteren Verlauf werden die Messsysteme zusammengefasst und in den Trocknungsprozess integriert.

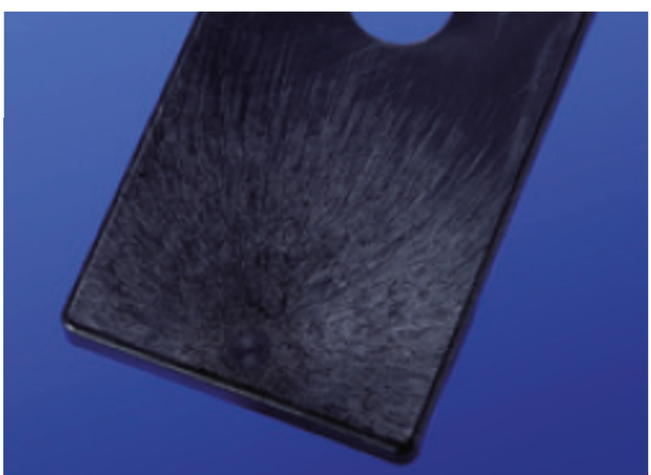


Abbildung 1: Feuchtigkeitsschlieren an einem Bauteil

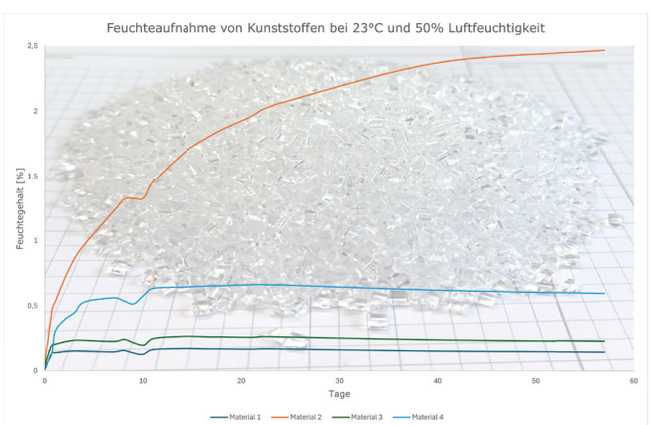


Abbildung 2: Feuchteaufnahme verschiedener Granulate

ÜBERSICHT ÖFFENTLICH GEFÖRDERTER PROJEKTE 2024

BEREICH: WERKZEUGTECHNIK

Weitere Informationen:
Dr.-Ing. Angelo Librizzi
Tel.: +49 2351 1064-134
librizzi@kunststoff-institut.de

HoCoSeal

Entwicklung eines thermischen Dichtungssystems für Lacksysteme aus Polyurethan/ Polyurea durch das Inmould-Coating

Laufzeit: 01.03.2024 bis 28.02.2026
Förderkennzeichen: 16KN097326
Fördermittelgeber: BMWK
Förderträger: VDI/VDE Innovation + Technik GmbH
Förderprogramm: ZIM-Innovationsnetzwerke
Projektleiter: Jan-Ole Maras, M.Sc.

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: ZIM FuE-Kooperationsprojekt
Projektleiter: Dipl.-Ing. Marko Gehlen

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: Markus Pothmann, B.Eng.

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

Gefördert durch:

Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz

aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages

Gefördert durch:
Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz
aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages
ZIM Zentrales Innovationsprogramm Mittelstand

HOCOSEAL

JAN-OLE MARAS, M.SC.

ENTWICKLUNG NEUER DICHTSYSTEME FÜR DAS IN-MOULD COATING

Nicht nur im Automobilbereich erlangen lackierte Kunststoffbauteile einen immer höheren Stellenwert. Diese haben mittlerweile nicht nur dekorative, sondern auch funktionale Anforderungen, wie bspw. Kratzfestigkeit, Easy-2-clean Eigenschaften oder Anti-Fingerprint Funktion. Um dies zu realisieren, wurde in der jüngeren Zeit das In-Mould Coating (IMC) entwickelt, bei dem spritzgegossene Kunststoffbauteile innerhalb des Spritzgießwerkzeuges in einem zweiten Schritt mit PU überflutet werden und somit innerhalb eines Prozesses mit einer Lackschicht überzogene Kunststoffbauteile hergestellt werden können. Herausforderung dabei ist die niedrige Viskosität der eingesetzten Lacke. Stand der Technik ist es, dass die Werkzeughälften des Spritzgießwerkzeugs auf dem Kunststoffbauteil abdrücken und somit das Herausfließen des Lacks verhindern. Nachteil hierbei ist jedoch, dass eine unschöne und für dekorative Bauteile unvorteilhafte „Quetschkante" entsteht

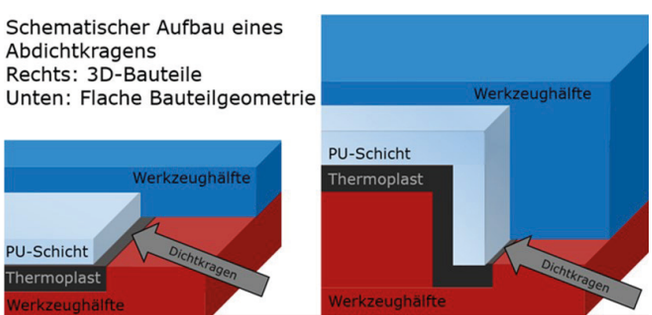


Abbildung 1: Kunststoffbauteil mit Quetschkante beim IMC

Ziel des Forschungsprojekts „HoCoSeal", welches in Zusammenarbeit mit den Unternehmen Contura MTC GmbH, Formconsult Werkzeugbau GmbH und Bestenlehrer GmbH durchgeführt wird, ist es neue Dichtsysteme für das IMC zu entwickeln und die o. g. Quetschkante zu egalisieren.

In einer ersten Phase wurde ein Demonstratorbauteil ausgewählt und ein entsprechender Versuchsstand konstruiert. Mit Hilfe dieses Versuchsstands werden die Einflussgrößen auf die Gratbildung untersucht. Hieraus sollen folgend Lösungsstrategien entwickelt werden, um die Gratbildung beim PUR-Überfluten zu verhindern. Dabei werden sowohl thermische und prozesstechnische Parameter als auch die Einflussfaktoren der Werkzeugoberflächen/-beschichtungen untersucht. Der Versuchsstand wurde so konzipiert, dass Einlegeteile verwendet werden können und eine Gratbildung provoziert wird, um die Einflussgrößen möglichst effektiv zu beurteilen. Aufgrund dessen ist dort keine Quetschkante vorgesehen (wie sonst üblich).

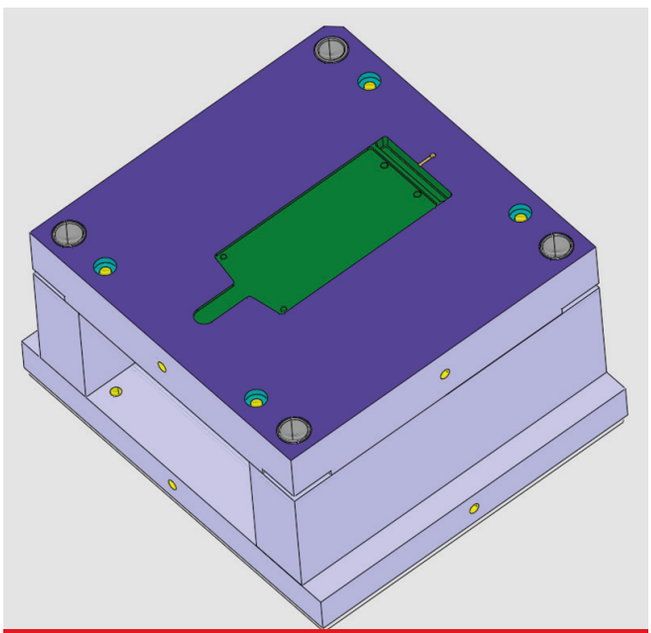


Abbildung 2: Konstruktion des Versuchsstands

Im weiteren Verlauf des Projektes sollen die gewonnenen Erkenntnisse aus den Versuchen am Versuchsstand auf ein Spritzgießwerkzeug hochskaliert werden. Aus den ermittelten Einflussgrößen sollen thermische und oberflächentechnische Dichtsysteme entwickelt werden und in ein Demonstratorwerkzeug eingebracht werden. Bei den folgenden Tests mit dem Spritzgießwerkzeug liegt der Fokus vor allem auf den Prozessparametern des Spritzgießens und deren Einfluss auf die Fließfähigkeit des Lackes und der damit verbundenen Funktionalität der neuen Dichtsysteme.

Gefördert durch:
Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz
aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages
ZIM Zentrales Innovationsprogramm Mittelstand

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 Materialkosten für den Kunststoff 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 Formteilgewicht 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 Werkzeugkonzept zu entwickeln, bei dem man die Mikrooptiken direkt mit einem Heißkanal anbinden kann, um wie oben beschrieben einerseits die Materialkosten, aber auch den Aufwand der Nacharbeit und somit weitere Kosten zu reduzieren.
Nach der Entwicklung einer Formteilgeometrie, einer kleinen dreieckigen Platte mit einem Gewicht von 0,1 g und der Festlegung des Anspritzpunktes in einer Ecke des Dreiecks, wurde ein Werkzeugkonzept erstellt und mittels verschiedener Simulationen geprüft und optimiert. Ziel dabei war die Bereitstellung gleicher Schmelzequalitäten für alle Formteile. Ein weiterer Punkt ist die Wärmeübertragung vom Heißkanal in das Formnest, die möglichst gering ausfallen soll, damit kurze Zykluszeiten und gleichmäßige Werkzeugwandtemperaturen ermöglicht werden. Weiterhin sind ebenfalls die Geometrie der Torpedeospitzen und der des Schmelzevorraums hervorzuheben. Hier werden die Geometrien angepasst und durch Simulationen verifiziert. Ziel dieser Anpassungen ist eine geringe Belastung der Schmelze während des Einspritzens. Weiterhin werden die Kühlkanäle bestmöglich an die Heißkanaldüsen herangeführt, damit die Wärme der Schmelze nur einen geringen Einfluss auf die Kavität hat. Die Heizleistung der Düsen und des Verteilerbalkens werden an die Erfordernisse der Schmelze und der zu erwartenden Zykluszeit angepasst. Nach der Fertigung des Werkzeugs wurde dies zunächst einem Funktionstest unterzogen und anschließend wird in verschiedenen Versuchsreihen der Einfluss der Verfahrensparameter mit einem DOE-Versuchsplan eruiert. Die Bauteile werden dann optisch in einem Durchlichtverfahren und hinsichtlich der Molekülkettenlänge geprüft und basierend auf diesen Messergebnissen wird eine Arbeitspunktoptimierung durchgeführt, sodass die Bauteile auf ihre bestmögliche Qualität hin optimiert werden.

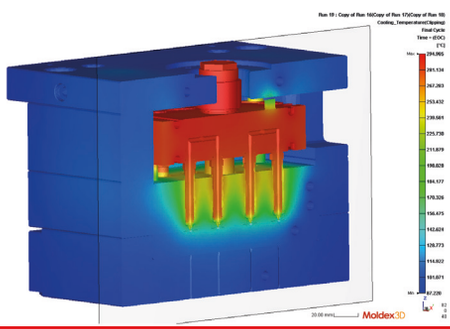


Abbildung 1: Prozesssimulation des Werkzeuges

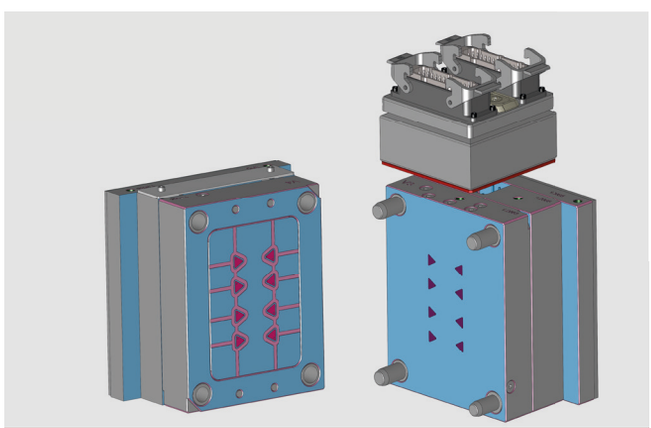


Abbildung 2: Werkzeugkonstruktion

Abbildung 3: Demonstratorbauteil und Granulatkörner zum Vergleich

Gefördert durch:
Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz
aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages
ZIM Zentrales Innovationsprogramm Mittelstand

SUB-MI-T

DIPL.-ING. MARKO GEHLEN

NEUES VERFAHREN ZUR ABBILDUNG NANOSTRUKTURIERTER WERKZEUGE

Werkzeuge können durch nanostrukturierte (sub-Mikrometer-Bereich) Oberflächen bestimmte Funktionen ausführen. Ein bekanntes Beispiel ist der Lotuseffekt, bei dem die Benetzung der Oberfläche durch die feinen Strukturen sehr schwierig wird. Aber auch die gezielte Manipulation von Licht bei transluzenten Bauteilen kann vorteilhaft sein. Im Falle von Spritzgießwerkzeugen, die in der Kunststoffverarbeitung zur Herstellung von großen Mengen gleicher Bauteile sehr verbreitet sind, werden derartige Strukturen von der Oberfläche des Werkzeugs auf die Kunststoffformteile entsprechend übertragen. Im Rahmen des Projekts Sub-Mi-T wird eine neue Methode zur Herstellung metallischer Werkzeugeinsätze entwickelt.

Dabei wird zunächst die formdefinierende Urform mit dem für feinste Strukturen geeigneten Verfahren der 2-Photonen-Polymerisation (2PP) hergestellt. Anschließend erfolgt ein Abgießen mit der sogenannten Glassomer® Technologie in ein hochtemperaturstabiles Quarzglasgefüge. Schließlich erfolgt ein neuerliches Abgießen des Quarzglases über ein Metallguss- oder Metallprägeverfahren in ein amorphes Metall. Das Ergebnis ist ein Werkzeugeinsatz, der in ein Spritzgießwerkzeug eingesetzt werden kann. Das Verfahren ist eine Möglichkeit zur schnellen Werkzeugeinsatzherstellung und zur Kostenreduzierung.

Im Weiteren werden die hergestellten Metallbauteile im Spritzguss und die Replikation der erzeugten Strukturen in Kunststoff sowie Glas erprobt und analysiert.

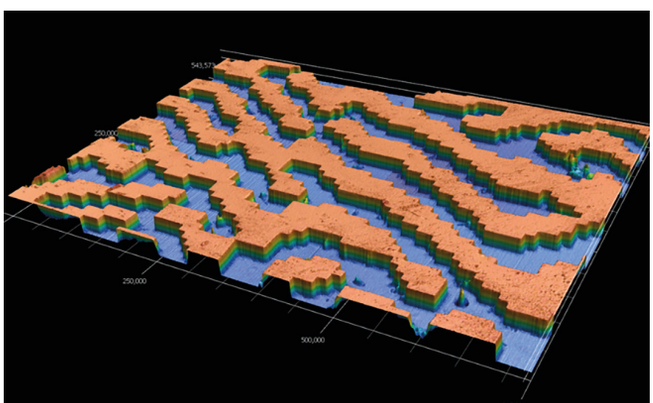


Abbildung 1: Diffraktives optisches Element (DoE, Struktur in Silikon)

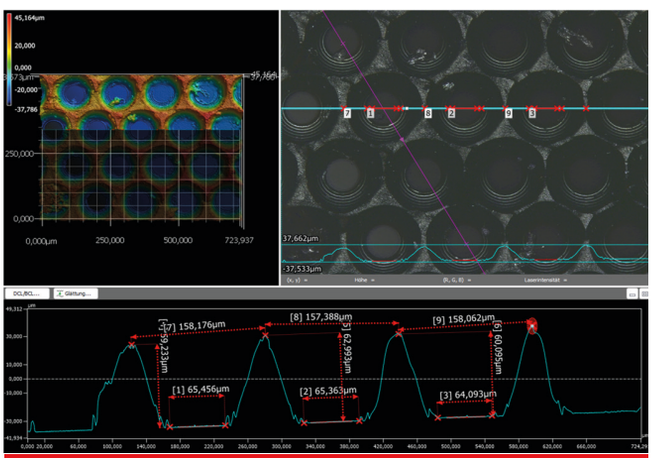


Abbildung 2: hexagonale Struktur, Abformung in Glas, Ermittlung von charakteristischen Oberflächenmaßen.

Zur Überprüfung der Abformgenauigkeit und Funktion nanostrukturierter Oberflächen wurden verschiedene Analysemethoden wie Konfokalmikroskopie und Rasterelektronenmikroskopie verwendet. Zur Funktionsprüfung von diffraktiven optischen Elementen (DoEs) in Kunststoffreplikationen erfolgt eine optische Kontrolle mittels Beleuchtung und Leuchtdichtemesskamera.

Der zentrale Prozessschritt des zu entwickelnden Verfahrens ist die Replikation der erzeugten Strukturen in einer Hochtemperaturmatrix auf Metall. Dafür wurden zwei potenzielle Replikationsmethoden untersucht: Zum einen der Guss, der in früheren Projekten bereits für andere Metalle getestet wurde und zum anderen das Heißprägeverfahren, das sich besonders für amorphe Metalle eignet. Als Guss- und Heißprägematerial wurden die Legierungen der Firma Amloy (Heraeus) verwendet, da diese eine hohe Neigung zur Bildung metallischer Gläser aufweisen.

Im Weiteren werden die hergestellten Metallbauteile im Spritzguss und die Replikation der erzeugten Strukturen in Kunststoff sowie Glas erprobt und analysiert.

VEPP

Gefördert durch:
Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz
aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages
ZIM Zentrales Innovationsprogramm Mittelstand

MARKUS POTHMANN, B.ENG.

ENTWICKLUNG EINER VERBUNDSCHICHT AUS EPP IM ONE-SHOT

Angesichts der wachsenden Bedeutung von Elektromobilität und nachhaltigen Materiallösungen rückt der Leichtbau zunehmend als Schlüsseltechnologie in den Fokus. Das Forschungsprojekt VEPP verfolgt das Ziel, innovative Hybridbauteile zu entwickeln, die expandiertes Polypropylen (EPP) mit spritzgegossenen Außenschichten kombinieren. Dadurch sollen nicht nur die Anwendungsmöglichkeiten von EPP erweitert, sondern auch Materialverbrauch und Energieeinsatz deutlich reduziert werden. EPP, ein Partikelschaumstoff mit einem Luftanteil von 75 bis 98 %, überzeugt durch seine Leichtbaupotenziale, hervorragende Wärmedämmung und Stoßfestigkeit. Allerdings schränken seine poröse Oberfläche, begrenzte mechanische Eigenschaften und energieintensive Herstellungsverfahren den Einsatz bislang ein. Im Automobilbau wird EPP daher häufig in unsichtbaren Bereichen, etwa in Werkzeugfächern, eingesetzt. Durch die Kombination mit spritzgegossenen Außenschichten eröffnet das VEPP-Projekt neue Anwendungsfelder, darunter sichtbare Bauteile im Automobilsektor. Ziel ist die Entwicklung eines innovativen „One-Shot"-Verfahrens, bei dem die Prozessschritte Schäumen und Spritzgießen in einem einzigen Werkzeug integriert werden. Diese Prozessintegration verspricht kürzere Zykluszeiten, geringeren Energieverbrauch und reduzierte Produktionskosten.

Das Verfahren sieht den Einsatz eines speziellen Schiebetischwerkzeugs mit zwei Kavitäten vor, was die Herstellung und Umspritzung von EPP-Formteilen in einem Arbeitsgang ermöglicht. Variotherme Temperierverfahren kommen dabei zum Einsatz, um die Temperaturprofile im Werkzeug gezielt zu steuern. Die mechanischen Eigenschaften der Bauteile werden durch die Kombination von EPP mit dekorativen oder funktionalen Außenschichten signifikant verbessert. Zudem eröffnet die Integration recycelter Materialien weitere Möglichkeiten, die Umweltbilanz zu optimieren.

Die Kombination zweier unterschiedlicher Materialien und Fertigungstechniken bringt jedoch technologische Herausforderungen mit sich. Dazu zählen die Sicherstellung einer stabilen Verbindung zwischen den Materialien, die Vermeidung von Prozessfehlern, wie unzureichender Verschweißung der EPP-Perlen und die Anpassung der Werkzeugtechnologie an komplexe Bauteilgeometrien.

Das „One-Shot"-Verfahren für Hybridbauteile aus EPP bietet zahlreiche neue Einsatzmöglichkeiten. Denkbar sind Anwendungen in der Automobilindustrie (z. B. sichtbare Exterieurbauteile), der Medizintechnik oder der Lebensmittelindustrie, wo Leichtbau, Funktionalität und ansprechende Optik gefragt sind. Darüber hinaus eröffnet das Verfahren Potenziale für weitere Verfahrenskombinationen wie das Einbringen dekorativer Folien oder integrierter Elektroniken. Das Projekt zeigt eindrucksvoll, wie innovative Fertigungstechnologien zu nachhaltigen Materiallösungen beitragen können. Durch die Übertragung bewährter Verfahren auf neue Anwendungsbereiche wird nicht nur der Industriestandard weiterentwickelt, sondern auch ein wichtiger Beitrag zur Ressourcenschonung geleistet.

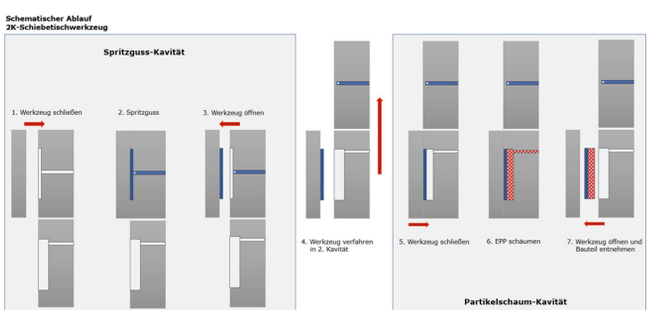


Abbildung 1: Schematische Darstellung des One-Shot Verfahrens mittels Schiebetischwerkzeug

ÜBERSICHT DER VORWETTBEWERBLICHEN EIGENFORSCHUNGSPROJEKTE

BEREICH: VORLAUFFORSCHUNG

Weitere Informationen:
Vanessa Reppel, M.Sc.
Tel.: +49 2351 6799-911
reppel@kunststoff-institut.de

KIMW Digital
Aufbau eines IoT-Democenters für die Spritzgießtechnologie

Projektleiter: Alexander Paskowski, B.Eng.

Alte Maschinen im neuen Gewand
Gleichmäßige Beschichtung von komplexen Geometrien

Projektleiter: Alexander Paskowski, B.Eng.

Erhöhte Spaltgängigkeit in CVD-Prozessen
Harte Beschichtungen für komplexe Geometrien

Projektleiter: Dipl.-Ing. Frank Mumme

Hochtemperatur-Tribologie beherrschen
Spaltgängige Gleitbeschichtungen für bewegte Werkzeugelemente

Projektleiter: Vanessa Reppel, M.Sc.

Messung der Chromwanderung in ferritischen Stählen
Schichtentwicklung für Brennstoffzellen

Projektleiter: Dipl.-Ing. Frank Mumme

Patentierte Fördersysteme für Feststoffe
Know-how für Minimalmengenförderung

Projektleiter: Dipl.-Ing. Frank Mumme

Gefördert durch:
Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz
aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages
ZIM Zentrales Innovationsprogramm Mittelstand

KIMW DIGITAL

ALEXANDER PASKOWSKI, B.ENG.

AUFBAU EINES IOT-DEMOCENTERS FÜR DIE SPRITZGIESSTECHNOLOGIE

Im Spritzgießtechnikum des Kunststoff Institutes wird aktuell eine zukunftsweisende Plattform entwickelt, um die Potenziale der Digitalisierung, Vernetzung von Maschinen und Nachhaltigkeit in der Kunststoffverarbeitung für Unternehmen sichtbar zu machen. Ziel ist es, eine Umgebung zu bieten, in der digitale Technologien praktisch angewendet, demonstriert und weiterentwickelt werden können. Hier werden unter anderem folgende Kernaspekte berücksichtigt:

Visualisierung von Prozessdaten mit Open Source
Ein zentraler Baustein des Democenters ist die Visualisierung und Überwachung von Produktions-, Prozess- und Sensordaten, die mit Hilfe von Open-Source Technologien realisiert wurden. Die Nutzung des offenen Quellcodes bietet dabei mehrere Vorteile: die Softwarelösung ist flexibel anpassbar, kosteneffizient und erlaubt es, spezifische Anforderungen der Spritzgießtechnologie individuell zu berücksichtigen.
Eine Echtzeitvisualisierung ermöglicht es, Produktions- und Sensordaten wie Temperaturen und Druckverhältnisse während der Verarbeitung oder Zykluszeiten direkt zu überwachen. Diese Transparenz hilft nicht nur die Effizienz zu steigern, sondern auch Fehler und Unregelmäßigkeiten während der Produktion frühzeitig zu erkennen. Der offene Quellcode der verwendeten Software fördert außerdem eine aktive Zusammenarbeit mit der Entwickler-Community und eröffnet langfristig neue Innovationsmöglichkeiten.

Vernetzte Produktionssysteme und zentrale Datenspeicherung
Ein weiterer entscheidender Aspekt des Democenters ist die Möglichkeit, Maschinen untereinander zu vernetzen. Dies wird durch den Einsatz standardisierter Kommunikationsprotokolle wie OPC UA, MQTT oder Modbus ermöglicht. Dadurch können Spritzgießmaschinen nicht nur ihre Daten austauschen, sondern auch aufeinander abgestimmt agieren. Die freigegebenen Daten, Sensorwerte und Energiemessungen werden im Anschluss aus allen Maschinen gesammelt und in einer zentralen Datenbank gespeichert. Diese Datenbank bildet das Rückgrat des IoT-Democenters, da sie als Grundlage für alle Analysen, Berichte und Weiterentwicklung dient. Sie ist so konzipiert, dass große Datenmengen effizient gespeichert und verarbeitet werden können. Gleichzeitig bietet sie die Möglichkeit, unterschiedliche Datenformate und -quellen zu integrieren, was die Flexibilität für zukünftige Erweiterungen erhöht. Die strukturierte Speicherung ermöglicht es, Trends und Korrelationen in den Daten zu erkennen, was wiederum zur Optimierung der Prozesse beiträgt.

Abbildung 1: Live-Visualisierung einer vernetzten Spritzgießmaschine

Spritzgießmaschine
Datenaufbereitung und Vorbereitung für Machine Learning
Rohdaten sind oft unstrukturiert und enthalten redundante oder fehlerhafte Informationen. Im IoT-Democenter wird daher großen Wert auf die Datenaufbereitung gelegt. Hierbei werden die Daten bereinigt, validiert und in ein einheitliches Format gebracht.
Diese strukturierte Datenbasis ist essenziell, um präzise Analysen durchzuführen und den Weg für weiterführende Anwendungen wie maschinelles Lernen (ML) zu ebnen. Die Datenaufbereitung ermöglicht es, Produktionsabweichungen oder Muster frühzeitig zu erkennen und so die Qualität und Effizienz der Prozesse zu steigern.

REST API-Schnittstellen für einfache Integration
Das Democenter ist mit offenen REST API-Schnittstellen ausgestattet, die es ermöglichen, die gesammelten Daten für externe Anwendungen zugänglich zu machen. Dadurch können die Daten in andere Systeme wie ERP- oder MES-Plattformen integriert werden, was die Zusammenarbeit zwischen unterschiedlichen IT-Systemen erleichtert.

Energiedatenerfassung und CO_2-Bilanzierung
Im Rahmen des Democenters wird auch der Energieverbrauch der Maschinen erfasst und analysiert. Diese Daten dienen als Grundlage für die Berechnung des Product Carbon Footprint, welcher den CO_2 Ausstoß des Kunststoffteiles während der Produktion beschreibt.
Die präzise Energiedatenerfassung hilft nicht nur dabei

KIMW DIGITAL

Gefördert durch:
Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz
aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages
ZIM Zentrales Innovationsprogramm Mittelstand

ALEXANDER PASKOWSKI, B.ENG.

AUFBAU EINES IOT-DEMOCENTERS FÜR DIE SPRITZGIESSTECHNOLOGIE

Einsparpotenziale zu identifizieren, sondern auch Maßnahmen zur Optimierung der Energieeffizienz abzuleiten. Durch die Kombination von Prozess- und Energiedatenanalysen können alle Aspekte der Spritzgießproduktion energetisch untersucht werden, wodurch sich die Auswirkungen verschiedener Parameter auf den Stromverbrauch der Maschinen transparent nachvollziehen lassen.

Das IoT-Democenter bietet eine einzigartige Möglichkeit, digitale Innovationen in der Spritzgießtechnologie zu erleben. Unternehmen profitieren von der praktischen Anwendung unterschiedlicher Systemlösungen und der Darstellung quelloffener Plattformen an einem Ort. Darüber hinaus schafft das Democenter eine Plattform für Kooperationen, bei der neue Technologien gemeinsam entwickelt und erprobt werden können.
Insgesamt legt das IoT-Democenter den Grundstein für eine smarte, vernetzte und umweltfreundliche Produktion und zeigt, wie die Kunststoffverarbeitung im Zeitalter der Industrie 4.0 neu gedacht werden kann.

ALTE MASCHINEN IM NEUEN GEWAND

ALEXANDER PASKOWSKI, B.ENG.

NACHRÜSTUNG VON BESTANDSMASCHINEN MIT MODERNEN SCHNITTSTELLEN

Die Nachrüstung älterer Spritzgießmaschinen stellt einen zentralen Ansatz dar, um bestehende Maschinenparks auf die Anforderungen des digitalen Zeitalters vorzubereiten. In einer Zeit, in der Effizienz, Vernetzung und datengetriebene Entscheidungsfindung in der Fertigungsindustrie immer wichtiger werden, ermöglicht dieser Schritt die Integration moderner Technologien in Maschinen, die ursprünglich mit eingeschränkten digitalen Funktionen entwickelt wurden. So können solche Maschinen leistungsfähiger, energieeffizienter und zukunftssicher gestaltet werden. Die Nachrüstung umfasst dabei mehrere systematische Schritte, die individuell auf die Gegebenheiten eines Unternehmens und dessen Maschinenparks angepasst werden können.

Zieldefinition: klare Anforderungen und Erwartungen
Der erste und zugleich entscheidende Schritt einer erfolgreichen Nachrüstung besteht in der präzisen Definition der Ziele. Unternehmen sollten sich fragen, welche Anforderungen sie durch die Digitalisierung ihrer Maschinen umsetzen möchten. Es gilt, die gewünschten Daten und die daraus abzuleitenden Erkenntnisse zu identifizieren. Typische Ziele, die in diesem Prozess verfolgt werden, umfassen:

- **Prozessüberwachung und Echtzeit-Einblicke:** Kritische Parameter wie Druck, Temperatur oder Zykluszeiten lassen sich in Echtzeit erfassen und analysieren.
- **Bewertung der Prozesseffektivität:** Optimierungspotenziale in der Produktion können identifiziert und umgesetzt werden.
- **Automatisierung von Berichterstattung und Dokumentation:** Die automatisierte Erfassung und Ablage von Produktionsdaten spart Zeit und steigert die Effizienz.

Identifikation der relevanten Daten
Abhängig von der Zielsetzung müssen dann die Datenpunkte bestimmt werden, die für eine geeignete Interpretation nötig sind. Dies umfasst vor allem die Identifikation von Prozess-, Maschinen- und energierelevanten Datenpunkten. Entscheidend ist hierbei einerseits die Qualität, der Umfang aber auch die Genauigkeit der Datenpunkte.

Sensorik, Steuerungen und Übertragungsprotokolle
Viele ältere Maschinen verfügen über Sensoriken, die in ihrem abgeschlossenen System arbeiten. Der nächste Schritt besteht dann aus dem Freigeben der Sensoren mittels geeigneter Steuerungstechnik beziehungsweise dem Austausch und der Erweiterung vorhandener Sensoren und der Freigabe über geeignete Kommunikationsprotokolle. Gängige Protokolle für spritzgießverarbeitende Unternehmen sind hierbei:

- **OPC UA:** Eine universelle Schnittstelle, die den Datenaustausch zwischen Maschinen und IT-Systemen ermöglicht.
- **Profinet und Modbus TCP:** Ideal für die Integration in bestehende Produktionsnetzwerke.
- **MQTT:** Ein leichtgewichtiges Nachrichtenprotokoll, das Daten auch über Netzwerke mit geringer Bandbreite überträgt.

Diese Protokolle sorgen dafür, dass die nachgerüstete Maschine nahtlos in moderne IT-Umgebungen eingebunden werden kann.

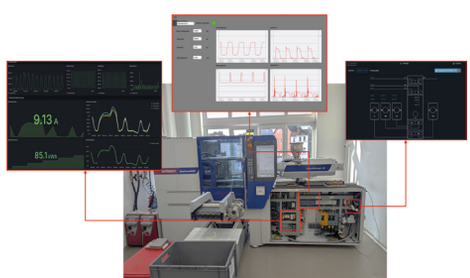


Abbildung 1: Nachgerüstete Bestandsmaschine mit neuen Schnittstellen und Sensoren

Auf Basis der definierten Ziele und der identifizierten Datenpunkte kann ein Nachrüstkonzept entwickelt werden, das exakt auf die spezifischen Anforderungen des Unternehmens zugeschnitten ist. Dieses Konzept umfasst sowohl die Auswahl geeigneter Hard- und Softwarelösungen als auch deren Implementierung und Integration in die bestehende Infrastruktur. Die Nachrüstung älterer Spritzgießmaschinen ist ein praktischer und wirtschaftlicher Weg, um bestehende Produktionsanlagen in das digitale Zeitalter zu überführen. Durch eine systematische Vorgehensweise, die von der Zieldefinition über die Auswahl der richtigen Technologien bis hin zur Implementierung reicht, können Unternehmen ihre Wettbewerbsfähigkeit steigern und langfristig Kosten sparen. So wird aus „alt" eine smarte Lösung, die den Anforderungen der Industrie 4.0 gerecht wird.

ERHÖHTE SPALTGÄNGIGKEIT IN CVD-PROZESSEN

DIPL.-ING. FRANK MUMME

GLEICHMÄSSIGE BESCHICHTUNG AN KOMPLEXEN GEOMETRIEN

Die Vorteile der CVD-Technik spiegeln sich in der möglichen Abscheidung von Schichtsystemen an unzugänglichen Geometrien. So können Bohrungen und hinterschnittige Geometrien beschichtet werden, die mit elektrogalvanischen oder plasmabasierten Technologien nicht erreichbar sind.

Wie gleichmäßig ein Schichtsystem an Geometrien abgeschieden werden kann, wird durch das Aspektverhältnis (AV) und der erreichten Gleichmäßigkeit (Konformität C) der Schichtabscheidung ausgedrückt. So gibt ein Aspektverhältnis von 1:10 das Verhältnis der noch beschichtbaren kleinsten Weite zur größten Tiefe der Geometrie wieder. Die Konformität zeigt auf, wie gleichmäßig z. B. eine Bohrung beschichtet werden kann. In Abbildung 1 ist die Schichtabscheidung rechts mit einer Konformität 1 dargestellt, eine vorhandene Geometrie wächst gleichmäßig zusammen. Abweichende Konformitäten (C<1) führen zu ungleichmäßigen Konturbildern.

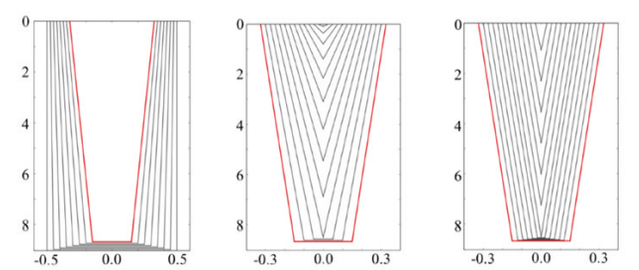


FIG. 9. Schematic filling of a trench starting with superconformal growth, $SC = 2$ (left), followed by continued superconformal growth (center) or by conformal growth, $SC = 1$ (right). Reprinted with permission from Wang and Abelson, J. Appl. Phys. **116**, 194508 (2014). Copyright 2014, AIP Publishing LLC.

Abbildung 1: Erläuterung Aspektverhältnis und Konformität an schmalen Nuten*

Mit CVD-Prozessen sind Aspektverhältnisse von 1:10 – 1:1000 erreichbar. Die Erreichbarkeit wird bestimmt durch den Prozessdruck, die Prozesstemperatur und der eingesetzten Chemie. Geringere Prozessdrücke und Temperaturen ermöglichen eine größere freie Weglänge der Präkursormoleküle und eine langsamere Abreaktion der eingesetzten Chemie. Somit stellt sich ein größeres Aspektverhältnis dar, was aber zu Lasten z. B. des Schichtwachstums geht und den Beschichtungsprozess weniger produktiv gestaltet. Eine weitere Möglichkeit ist es, die Anhaftung des in der Abreaktion befindlichen Präkursors an der zu beschichtenden Oberfläche zu hemmen. Durch einen Inhibitor kann das Präkursormolekül daran gehindert werden sofort beim ersten Kontakt an der Bauteilwand festzuheften. Je nach Aufbau des Präkursors ist eine spezifische Neigung zur Anbindung an Oberflächen gegeben. So sind Präkursoren mit einem geringen „Sticking"-Koeffizienten für ein hohes und Präkursoren mit einer hohen Neigung zum Anhaften für ein geringes Aspektverhältnis verantwortlich. An der KIMW-Forschungsstelle wird aktuell durch den Einsatz von flüssigen Inhibitoren das Aspektverhältnis von Präkursoren auf Basis von Metallcarbonylen und Acetylacetonaten beeinflusst. So konnte das Aspektverhältnis von Wolframcarbidschichten in engen Spalten auf 1:40 und damit die Konformität um 50 % verbessert werden.

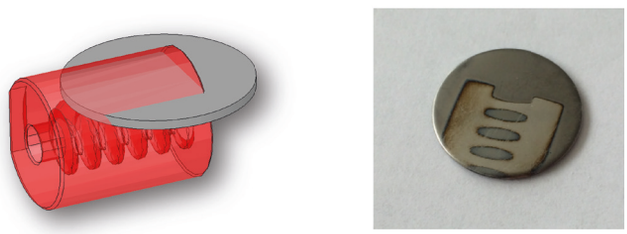


Abbildung 2: links: Skizze Demonstrator 3D Fähigkeit mit eingelegtem Probekörper, rechts: beschichteter Probekörper

*John R. Abelson, and Gregory S. Girolami, 2020 New strategies for conformal, superconformal, and ultrasmooth films by low temperature chemical vapor deposition, JVST 4/2020.

HOCHTEMPERATUR-TRIBOLOGIE BEHERRSCHEN

VANESSA REPPEL, M.SC.

SPALTGÄNGIGE GLEITBESCHICHTUNGEN FÜR BEWEGTE WERKZEUGELEMENTE

Werkzeugstähle sind in der Kunststoffverarbeitung den unterschiedlichsten Belastungen ausgesetzt. Hierzu gehören vor allem werkstoffschädigende Prozesse wie Verschleiß und Reibung. Letztere tritt zumeist bei der Entformung spritzgegossener Formteile auf, insbesondere, wenn die Auswerfer nicht geschmiert sind. Der Einsatz von Schmiermitteln zur Reibungsminderung ist jedoch nicht immer erwünscht, im Speziellen nicht, wenn die Kunststoffteile nicht kontaminiert werden dürfen – wie z. B. in der Medizintechnik oder im Lebensmittelbereich. Dann werden Beschichtungen eingesetzt. Bei hohen Werkzeugtemperaturen wie bei der Verarbeitung von Hochleistungs-Thermoplasten, Duroplasten oder Silikonen, kommt jedoch auch so manche DLC-Schicht an ihre Grenze. Zudem ist die Innenbeschichtung von Auswerferbuchsen nicht trivial. Muss Reibung in bewegten Maschinenbaugruppen bei hohen Temperaturen von 350 °C reduziert werden, so kommen selbstschmierende Beschichtungen auf Basis von Metallsulfiden zum Einsatz. Die KIMW-F nutzt die positiven Eigenschaften dieser Schichten für den Kunststoffspritzguss, indem sie Wolframsulfidschichten auf beweglichen Werkzeugelementen für die Kunststoffverarbeitung appliziert.
Die Wolframsulfid-(WS_2) Schichten werden mittels MOCVD-Technik auf den Substraten (Probekörper, Auswerferstifte) abgeschieden. Hierzu kommt die bewährte Minimalmengenförderung zum Einsatz. Als Precursor wird Wolframhexacarbonyl ($W(CO)_6$) verwendet, welches im Reaktor mit Schwefelwasserstoffgas (H_2S) zur Reaktion gebracht wird. Das für die Schichtabscheidung benötigte Wolframhexacarbonyl wurde per Autoklavtechnik an der KIMW-F synthetisiert. Auf den Probekörpern und den Auswerferstiften wurde die Beschichtung umfassend charakterisiert. Die Schichten wiesen eine ausgezeichnete Haftfestigkeit bei gleichzeitig glatter und homogener Oberfläche auf. Mittels Tribometer und Reibprüfstand wurden die reibmindernden Eigenschaften der Schichten analysiert. Die Schichten weisen einen Reibbeiwert gegen 100Cr6 von $\mu = 0{,}01 - 0{,}13$ auf und liegen damit noch unter den vergleichend geprüften DLC-Schichten. Nach einem ersten Einlaufverschleiß nimmt die Reibspur auf dem Prüfkörper durch längere Belastung nicht weiter an Breite zu (Abbildung 1). Zudem zeigt sich nur ein geringer Gegenkörperverschleiß. Durch Modifizierung eines Heizofens und Anpassung an die Geometrie des Reibprüfstandes, konnten auch Messungen bei erhöhten Temperaturen von bis zu 135 °C realisiert werden. Die applizierten WS_2-Schichten zeigten unter den geschaffenen Bedingungen gleichbleibend niedrige Reibwerte von $\mu = 0{,}02$.

Durch die Applikation der Beschichtung im MOCVD-Verfahren können Werkzeugstähle ohne Einbußen bei Maßhaltigkeit und Härte beschichtet werden. Die Spaltgängigkeit der Beschichtungen ermöglicht auch die gleichmäßige Beschichtung von innenliegenden Geometrien, was gegenwärtig an der Forschungsstelle evaluiert wird. Der Einsatz der Beschichtungen in anderen Anwendungen steht im Fokus der weiteren Forschung.

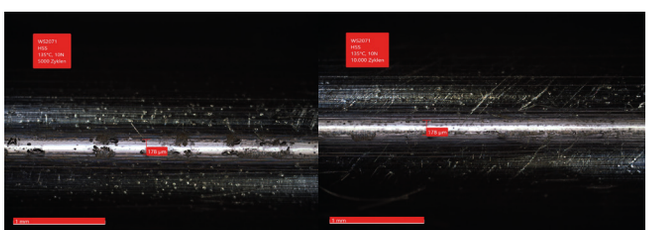


Abbildung 1: Reibspur eines mit WS_2 beschichteten HSS-Auswerferstiftes nach Reibprüfung bei 135 °C: nach 5000 Zyklen links und nach 10.000 Zyklen rechts

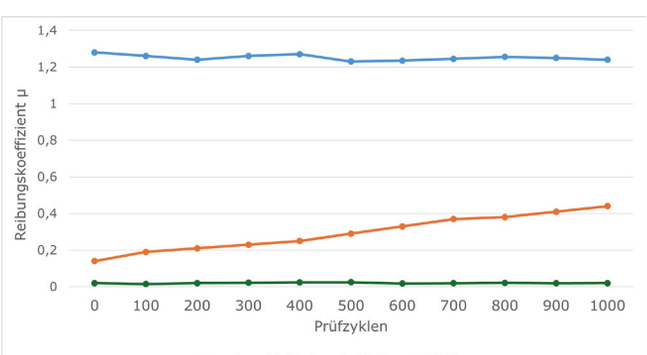


Abbildung 2: Bei 135°C ermittelte Reibungskoeffizienten auf Auswerfern aus 1.2210 im Vergleich: mit Wolframsulfid, DLC und unbeschichtet.

MESSUNG DER CHROMWANDERUNG IN FERRITISCHEN STÄHLEN

DIPL.-ING. FRANK MUMME

SCHICHTENTWICKLUNG FÜR BRENNSTOFFZELLE

Brennstoffzellen werden eine Technologie zur Energiewandlung von chemischer Energie in elektrische Energie darstellen. Der Wirkungsgrad ist bedeutend höher als der von carnoschen Kreisprozessen, die bei ca. 33 % Energiewandlung mechanischer Energie anzusetzen sind.

Im Wesentlichen wird zwischen drei unterschiedlichen Betriebsweisen unterschieden:

Niedertemperatur-, Mittel- und Hochtemperaturbetrieb. Alle Typen haben ihre Vor- und Nachteile. Wesentlich ist die hohe elektrische Umwandlungsrate von 60-80 % bei elektrischen Brennstoffzellen. Speziell die Hochtemperaturbrennstoffzellen können neben der bereitgestellten elektrischen Energie auch aufgrund ihrer vorhandenen hohen Betriebstemperaturen von 600-800 °C für Heizanwendungen genutzt werden.

Kommerzielle Hochtemperaturbrennstoffzellen (SOFC: Solid Oxid Fuel Cell) sind seit einigen Jahren in unterschiedlichen Baugrößen im Markt erhältlich. Die begrenzenden Limitationen sind materialspezifische Restriktionen. Aufgrund der hohen Betriebstemperaturen kann ein dauerhafter Betrieb nur auf einem gleichmäßigen Temperaturniveau erfolgen. Dauernde Temperaturschwankungen würden den Materialverbund im Brennstoffzellenaufbau beschädigen. Auch bewirken die hohen Betriebstemperaturen eine starke korrosive Belastung der eingesetzten Materialien. Speziell die metallischen Baugruppen werden daher aus ferritischen Stählen gefertigt, die einen hohen Chromanteil aufweisen müssen. Die Schutzwirkung der Chromstähle resultiert aus der Ausbildung einer schützenden Chromoxidschicht auf der Bauteiloberfläche. Dieses Chromoxid ist bei Temperaturen > 600 °C zunehmend flüchtig und „vergiftet" die anliegenden Elektroden in der Brennstoffzelle, der Wirkungsgrad sinkt.

Diese „Chrommigration" wird durch verschiedene materialwissenschaftliche Vorgehensweisen versucht zu unterdrücken. Eine Möglichkeit ist die Legierung von chromhaltigen Stählen mit Elementen, die ein Chrommischoxid erzeugen, welches thermodynamisch eine höhere Stabilität aufweist. Diese Materialien sind teuer und erhöhen die Anschaffungskosten auf ein Niveau, das einer breiten Markteinführung im Weg steht. Alternativ wird an Barriereschichten gearbeitet, die auf einem kostengünstigen Chromstahl eine dauerhafte Chrommigration verhindern helfen. Die KIMW-Forschungsstelle entwickelt derartige Schichtsysteme und betreibt Prüfstände, die eine Messung der Chrommigration unbeschichteter und beschichteter chromhaltiger Stähle sowie der elektrischen Leitfähigkeit bei Prozesstemperaturen von ca. 800 °C ermöglicht.

Abbildung 1: Prüfstand zur Analyse der Chrommigration im Ofen bei 800 °C

PATENTIERTE FÖRDERSYSTEME FÜR FESTSTOFFE

DIPL.-ING. FRANK MUMME

KNOW-HOW FÜR MINIMALMENGENFÖRDERUNG

Die Forschungsstelle startete vor 10 Jahren im Zuge der CVD-Prozessentwicklung mit dem Aufbau einer eigenständigen Fördertechnik und Verdampfung von pulverförmigen Präkursoren. Die Motivation lag in der Nutzung von industriellen Chemikalien für die Niedertemperatur MOCVD-Schichtabscheidung. Eine damalige Marktrecherche ergab, dass keine Fördersysteme für derartige Präkursoren angeboten wurden. Herausfordernd war von Beginn an die Kombination aus Lagerung, Förderung und Verdampfung spezifischer pulverförmiger Chemikalien. Der Betrieb sollte unter inerten Bedingungen, atmosphärisch oder im Vakuum möglich sein und die Verdampfung bis zu einer Temperatur von 260 °C ermöglicht werden.

-> Aktuell sind zwei Förderkonzepte entwickelt worden, die durch zwei unabhängige Patente europaweit abgesichert wurden. Die Förderung erfolgt über ein Ein- oder Zweischneckensystem. Hierzu wurden unterschiedliche Patente zur Lagerung/Förderung und kontaminationsfreien Verdampfung von pulverförmigen Feststoffen genehmigt (DE 102018133068B4/ EP3699320).
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 Steuerung der Fördermenge
- Förderung der pulverförmigen Stoffe im Gasstrom
- Spontane Verdampfung der Präkursoren und Zuführung in den Beschichtungsprozess

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

Für die Förderung korrosiv wirkender Chemie ist eine Materialauswahl mit entsprechend beständigen Stählen und Legierungen möglich.

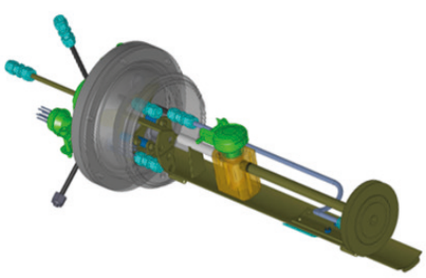


Abbildung 2: Verdampfer für die sequenzielle Verdampfung von zugeführtem Präkursor

Das entwickelte System trennt die Dosierung und Verdampfung durch eine Förderung der Pulverpartikel im Vakuum mittels Gasstroms bei Raumtemperatur. Im nachgeschalteten Verdampfer wird der feste Präkursor spontan erhitzt und verdampft bei einer regelbaren Temperatur. Eine vorzeitige Präkursorzersetzung wird ausgeschlossen. Somit kann über praktisch unbegrenzte Zeiträume eine gleichmäßige Schichtabscheidung aufrechterhalten werden.
Im Aufbau ist eine Sensorik, die eine Regelung der Präkursormenge ermöglicht.

Eco4Light
INTELLIGENTE OPTIKEN UND SYSTEME FÜR EFFIZIENTES LICHTMANAGEMENT

ECO4LIGHT - INTELLIGENTE OPTIKEN UND SYSTEME FÜR EFFIZIENTES LICHTMANAGEMENT

ZIM-INNOVATIONSNETZWERKE

Weitere Informationen:
Dr.-Ing. Angelo Librizzi
Tel.: +49 2351 1064-134
librizzi@kunststoff-institut.de

Das Vorhaben fokussiert sich auf die Erweiterung des ZIM-Innovationsnetzwerks „Eco4Light - Intelligente Optiken und Systeme für effizientes Lichtmanagement". Es strebt die Entwicklung spezifischer Produkte und Verfahren an, um punktgenaue und bedarfsgerechte innovative Lösungen durch Forschungs- und Entwicklungsprojekte zu realisieren. Die Relevanz der Beleuchtungstechnik erstreckt sich über eine Vielzahl von verschiedenen Anwendungsbereichen, von der Gebäudetechnik über den Straßenverkehr bis hin zur Automobilindustrie und Medizintechnik. Angesichts der aktuellen Energiekrise und der wachsenden Besorgnis über die sogenannte „Lichtverschmutzung" wird effizientes Lichtmanagement zunehmend essenziell. Nachhaltige und effiziente Beleuchtungskonzepte, die beispielsweise nur punktgenau und bedarfsgerecht in der benötigten Stärke/ Intensität zum Einsatz kommen, tragen zur deutlichen Reduzierung des Stromverbrauchs und damit auch zur Senkung des CO2-Ausstoßes bei. Durch gezielten Einsatz von energieeffizienten Lichtquellen und intelligenten Lichtsteuerungssystemen lassen sich Ressourcen schonen und Umweltbelastungen minimieren.

Erste Ansätze in Bezug auf die Technologie- und Entwicklungsfelder sind neue innovative oder verbesserte Optiken und Beleuchtungssysteme für die Beleuchtungsindustrie.

- Leuchten für ein effizientes Lichtmanagement
- Werkzeugtechnische Konzepte und Verfahren für intelligente/effiziente Optiken
- Neuartige Fertigungsverfahren/-ketten für nachhaltigeintelligente Beleuchtungssysteme
- Smarte und vernetzte Beleuchtungssysteme

Gefördert durch:
Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz
aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages
ZIM Zentrales Innovationsprogramm Mittelstand

MED-IG-4.0 – INTELLIGENTE GERÄTE FÜR DIE MEDIZINTECHNIK

ZIM-INNOVATIONSNETZWERKE

Weitere Informationen:
Vanessa Reppel, M.Sc.
Tel.: +49 2351 6799-911
reppel@kunststoff-institut.de

Das ZIM-Innovationsnetzwerk ist nach 3-jähriger Laufzeit (Phase 1 und 2) am 31.10.2024 offiziell beendet worden. Während dieser Zeit wurde ein Projektantrag eingereicht und fünf Vorhaben zur Antragsreife vorbereitet. Es können noch drei Jahre (bis 31.10.2027) F&E-Projekte unter Bezugnahme auf das Netzwerk eingereicht werden, was von den Netzwerkpartnern genutzt werden wird. Dabei finden sich die Projekte in den thematischen Schwerpunkten optische Elemente, miniaturisierte, geschützte Sensoriken, dichtende, medienbeständige Elemente mittels 2-K-Komponententechnik, gedruckte Elektroniken und antibakterielle Kunststoffoberflächen wieder. Zudem werden auch weiterhin Netzwerktreffen durchgeführt sowie der Datenaustausch und die technologische Roadmap fortgeführt. Das Netzwerk soll auch nach der Förderphase unter dem Begriff „Arbeitsgruppe MED-IG-4.0" aktiv bleiben.
Die KIMW Forschungs-gGmbH wird zusammen mit Partnern aus der Industrie und weiteren Forschungspartnern eine smarte Verpackung für chirurgische Instrumente entwickeln sowie einen mobilen Sterilisator für Endoskope konzipieren und aufbauen. Die Projektanträge sind in der Vorbereitung.

Die im Netzwerk entwickelten Innovationen kommen in Arztpraxen und Krankenhäusern zum Einsatz und sind auch für den persönlichen Gebrauch durch die Patienten konzipiert. Dabei erschließen die vielfältigen Formgebungsmöglichkeiten und hervorragenden medizinischen Eigenschaften von Kunststoffen, im Zusammenspiel mit dem Know-how zahlreicher etablierter Systemlieferanten, neue Anwendungsbereiche.

Gefördert durch:
Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz
aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages
ZIM Zentrales Innovationsprogramm Mittelstand

POLY4NATURE
ALTERNATIVE ROHSTOFFE UND NATÜRLICHE POLYMERE

ZIM-INNOVATIONSNETZWERKE

Weitere Informationen:
Vanessa Reppel, M.Sc.
Tel.: +49 2351 6799-911
reppel@kunststoff-institut.de

Um den CO_2 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-Innovationsnetzwerks 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 im Februar 2024 beantragte Phase 2 des Netzwerkes wurde im Mai bewilligt und konnte somit nahtlos an die Phase 1 anknüpfen. Es sind zehn Projekte aus dem Netzwerk heraus geplant, wovon schon eines eingereicht und bewilligt wurde.

Die gemeinnützige KIMW Forschungs-GmbH wird sich gemeinsam mit Partnern aus der Industrie mit der Entwicklung von Dämmstoffen für die Estrichverlegung beschäftigen. Dabei liegt die Herausforderung in der Schäumbarkeit und der Erreichung der benötigten Eigenschaften der eingesetzten Werkstoffe.

Gefördert durch:

Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz

aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages

ZIM Zentrales Innovationsprogramm Mittelstand

HealthGoGreen

Nachhaltigkeit in der Medizintechnik

HEALTH-GO-GREEN
NACHHALTIGKEIT IN DER MEDIZINTECHNIK

ZIM-INNOVATIONSNETZWERKE

Weitere Informationen:
Vanessa Reppel, M.Sc.
Tel.: +49 2351 6799-911
reppel@kunststoff-institut.de

In einer Welt, in der das Umweltbewusstsein und die soziale Verantwortung eine immer wichtigere Rolle spielen, ist auch die Medizintechnikbranche mit der Herausforderung konfrontiert, nachhaltigere Produkte und Praktiken zu implementieren. Das übergeordnete Ziel des Netzwerks liegt deshalb in der Entwicklung und Produktion neuer nachhaltiger Medizinprodukte: Dabei geht der Weg weg von traditionellen Materialien, Produkten und Abläufen und hin zu zukunftsweisenden Innovationen, ohne dabei Kompromisse bei der Sicherheit und Qualität einzugehen. Neue Produkte aus Kunst- und Verbundstoffen, der Einsatz von Biokunststoffen, Medizinprodukte aus Recyclingmaterial, Müllvermeidung in Arztpraxen und Kliniken sowie effizientes Kunststoffrecycling stehen dabei im Fokus. Besonders die Materialauswahl, Design- und Konstruktionsprozesse, medizinische Validierungsprozesse, Fertigungstechniken und -abläufe, sowie die Qualitätssicherung werden näher beleuchtet.
Das ZIM-Innovationsnetzwerk wurde Ende August bei VDI/VDE eingereicht und im November bewilligt. Aktuell setzt sich das Netzwerk aus 21 Partnern (KMU, F&E, assoziierte Partner) aus Deutschland, einem assoziierten Partner aus der Schweiz und vier Partnern, darunter drei KMU, aus Portugal zusammen. Die Laufzeit der Phase 1 in dem internationalen Netzwerk mit dem Partnerland Portugal beträgt 1,5 Jahre und geht bis 30.04.2026. Das Kick-off Meeting fand im Februar 2025 statt.

Gefördert durch:

Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz

aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages

ZIM Zentrales Innovationsprogramm Mittelstand

IMPEDANZSPEKTROSKOPIE (EIS)

VANESSA REPPEL, M.SC.

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 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 dargestellt werden.

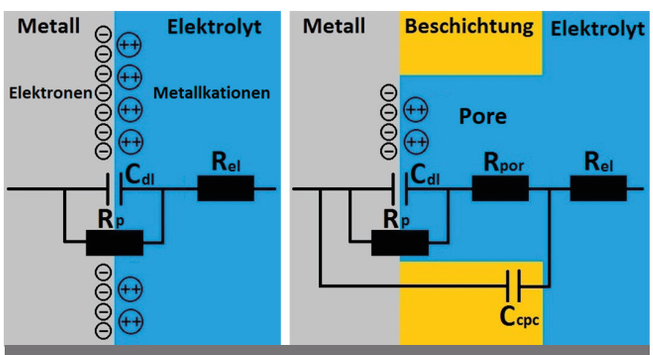


Abbildung 1: Metall/Elektrolyt und Metall/Schicht/Elektrolyt Modelle

Das zeitabhängige Verhalten eines Systems wird durch Messung der im Elektrolyt verbleibenden Probe detektiert. So können auch die Porosität der Schichten sowie deren Leitfähigkeit ermittelt werden. Das Gerät wurde 2024 um ein PAD4-HC Modul erweitert (Abbildung 2), welches die parallele DC- und EIS-Messung an in Reihe geschalteten Segmenten ermöglicht und somit Stack-Messungen und die Analyse von segmentierten Zellen ermöglicht. Mit der Erweiterung können Brennstoffzellen und Elektrolyseur-Stacks charakterisiert werden.

Abbildung 2: EIS-Steuerung mit PAD4-Modul

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

- Gesamtbandbreite: DC – 5 MHz
- Max. Strom: ± 2,5 A
- Kontrollierte Spannung: ±10 V / ±4 V
- Konformitätsspannung: ±14 V
- ADC Auflösung: 18 bit
- Harmonic reject: > 60 dB @ ½ 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 µHz – 4 MHz
- Genauigkeit: < 0.0025 %
- Auflösung: 0,0025 % 10K steps/decade

KALOTTENSCHLIFFGERÄT

VANESSA REPPEL, M.SC.

MESSUNG VON SCHICHTDICKE UND VERSCHLEISSBESTÄNDIGKEIT

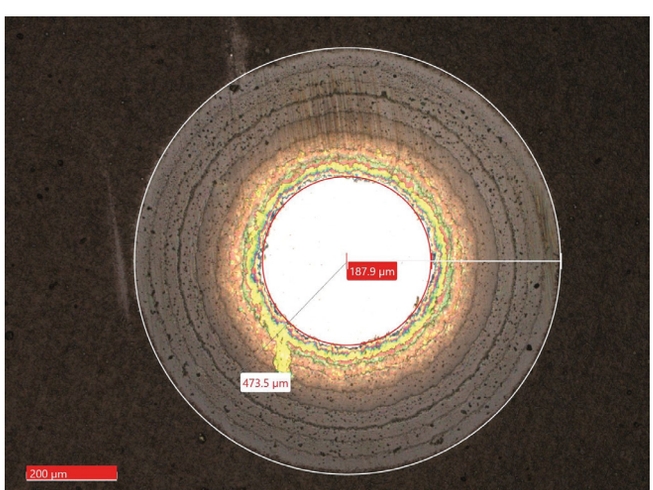


Abbildung 1: Analyse der Schichtdicke

Das Kalottenschliffgerät ermöglicht in Kombination mit der Licht-/ Digitalmikroskopie eine Schichtdickenmessung auf ebenen Probekörpern. Mittels einer Stahlkugel und Schleifsuspension wird eine Kalotte in die Schicht bis zum Grundmaterial geschliffen. Die Auswertung erfolgt mit einem Lichtmikroskop anhand der Durchmesser der entstandenen Kreisringe. Die resultierende Schichtdicke wird errechnet. Auf diesem Wege können auch Multilayer-Schichten untersucht und die Schichtdicke der einzelnen Layer ausgewertet werden. 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

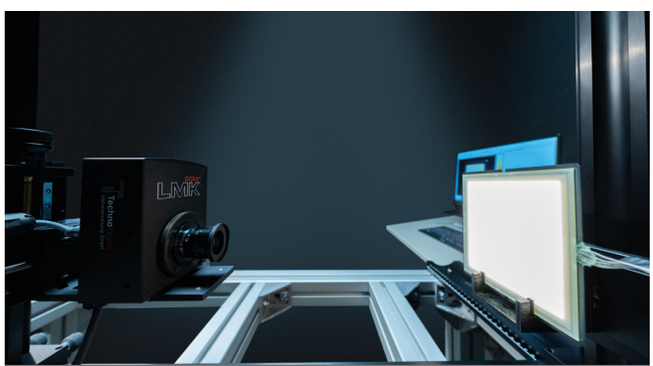


Abbildung 1: Leuchtdichtemesskamera LMK5-5 Color mit einer OLED

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.

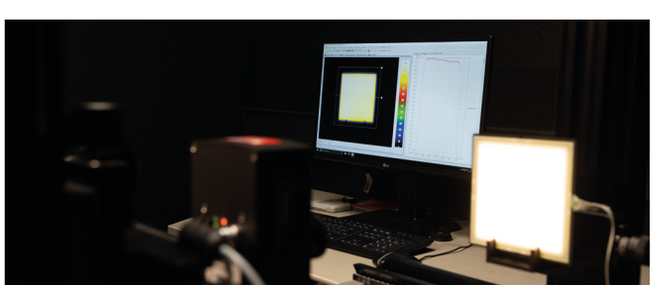


Abbildung 2: Softwareauswertung einer vermessenen OLED

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/m²)
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, WST²

LICHTMIKROSKOP

VANESSA REPPEL, 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) oder der Oberflächenangriff durch Trockenätzprozesse mit Chlor (vgl. Abbildung 1) lassen sich so unkompliziert und schnell feststellen und analysieren.

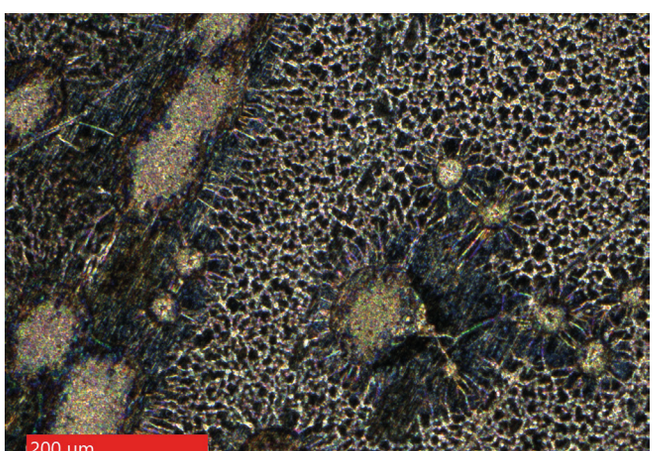


Abbildung 1: durch Chlortrockenätzung veränderte Stahloberfläche

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

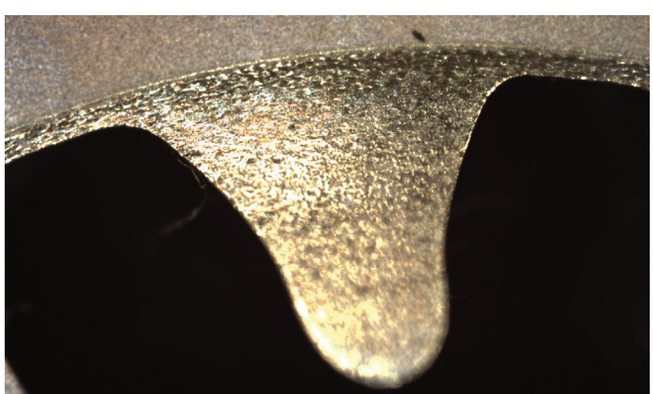


Abbildung 2: Beschichtetes Zahnrad

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

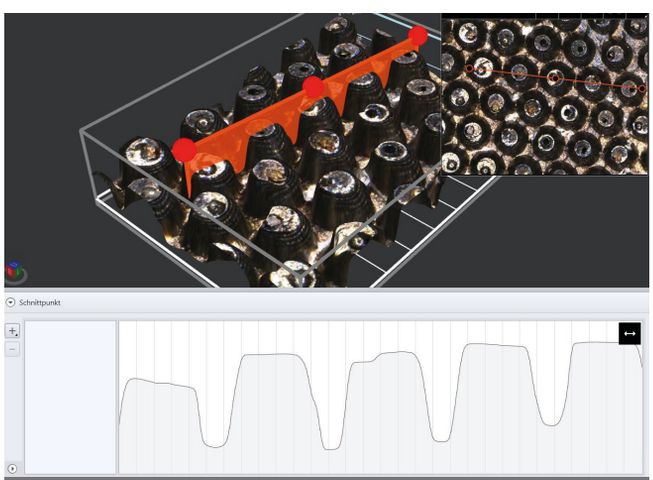


Abbildung 3: Höhenprofilmessung

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

Motorisierter Tisch:

Verfahrbereich (xy):	130×100 mm
(z):	~60 mm

Optischer Zoom:

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

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

Beleuchtung: Koaxiales LED-Auflicht
LED-Ringbeleuchtung mit
4 einzeln wählbaren Segmenten
Kombination aus beidem

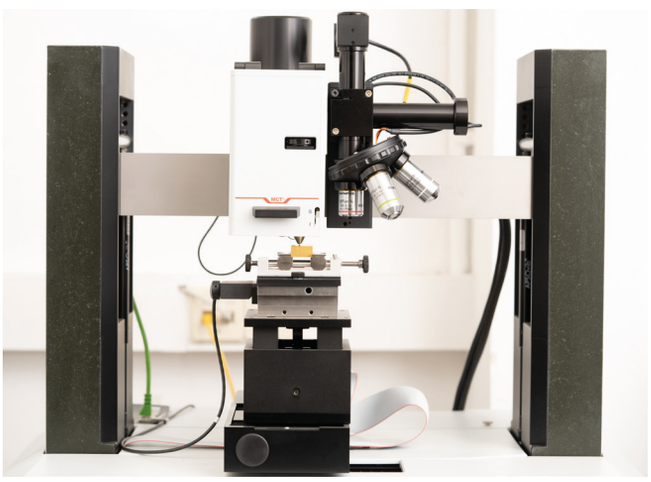
Stativ:

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

MCT – MULTI-COMBI-TESTER

VANESSA REPPEL, 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 Schichthaftung mittels MST untersucht werden. Dazu wird ein Diamantstift (100 µm Radius) mit konstanter, stufenweiser oder steigender Last über die Schicht gezogen und die entsprechende kritische Last, bei der die Schicht vom Substrat abplatzt, ermittelt. Mit einer neuen Messspitze von nur 50 µm Radius können nun auch keramische Schichten detaillierter hinsichtlich ihrer Haftung untersucht werden, 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, 50 µm Radius)

Abbildung 1: Scratch-Test an einer Materialprobe

EFRE.NRW
Investitionen in Wachstum und Beschäftigung

Die Landesregierung Nordrhein-Westfalen

EUROPÄISCHE UNION
Investition in unsere Zukunft
Europäischer Fonds für regionale Entwicklung

RASTERELEKTRONENMIKROSKOP

VANESSA REPPEL, M.SC.

REM-EDX IN DER SCHICHT- UND MATERIALANALYTIK

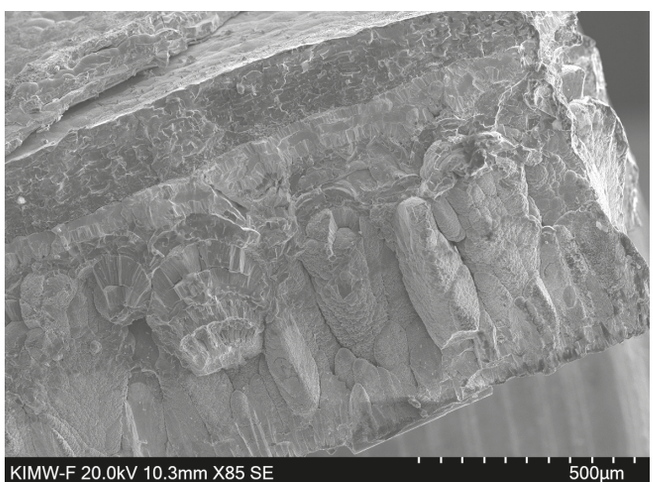


Abbildung 1: Bruchkante einer Multischicht, SE-Bild

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. Mit dem Sekundärelektronen-Detektor (SE) kann die Topographie der Proben (siehe Abbildung 1) und mittels BSE-Detektor der Materialkontrast analysiert werden. Dadurch lassen sich Partikel und Bereiche 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 Probentisch kippen.
Die hochaufgelöste Betrachtung der Oberfläche elektrisch leitfähiger und elektrisch isolierender Proben ist möglich. Durch den Einsatz eines UVD-Detektors im Niedervakuum ist die Besputterung (mit Gold oder Graphit) 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. Dabei können Punkt-, Linien- und Flächenmessungen realisiert werden.

Technische Spezifikationen

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

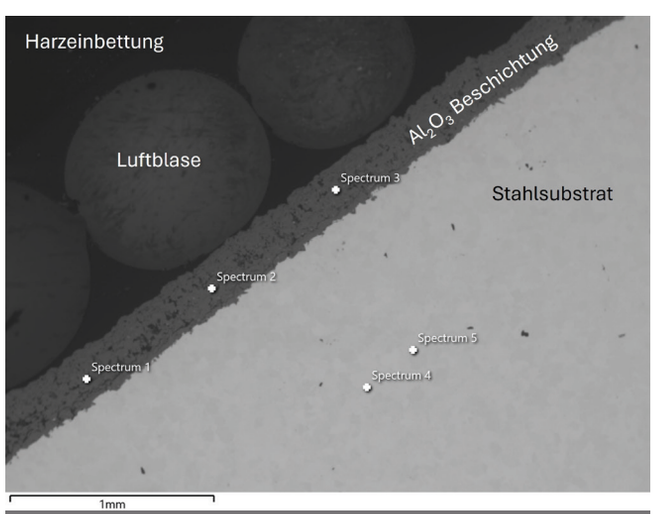


Abbildung 2: EDX-Analyse (Punktmessungen) an einem Querschliff

EFRE.NRW
Investitionen in Wachstum und Beschäftigung

EUROPÄISCHE UNION
Investition in unsere Zukunft
Europäischer Fonds
für regionale Entwicklung

RESTGASANALYSATOR (RGA)

VANESSA REPPEL, M.SC.

ANALYSE DER GASE MITTELS QUADRUPOL-MASSENSPEKTROMETER

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 eingesetzt werden.

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.

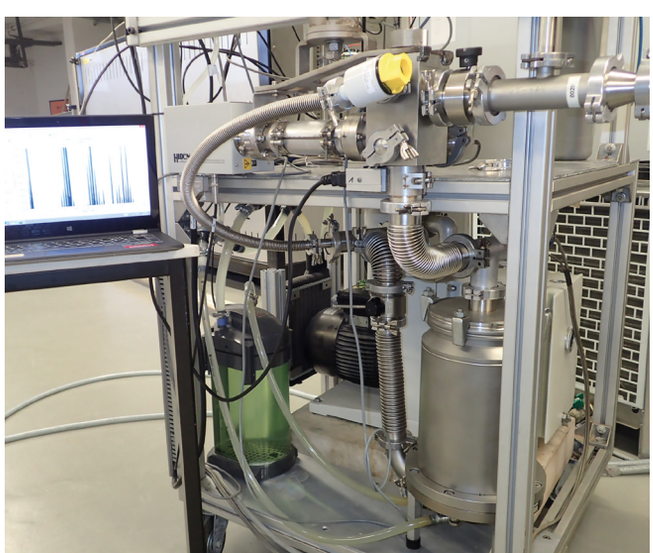


Abbildung 1: RGA mobile Messstation

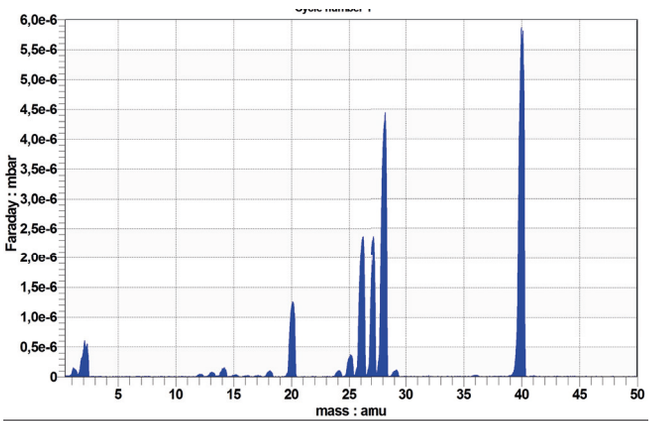


Abbildung 2: Darstellung eines Gas- Massenspektrums

Technische Charakteristika des RGAs der KIMW Forschungs-gGmbH:

Massenbereich:	1-300 amu
Detektor:	EM/Faraday
Betriebsdruck max.:	
Faraday:	1 x 10^{-4} mbar
EM:	1 x 10^{-5} mbar
Max. Messgeschwindigkeit:	650 Messungen/sec
Minimaler nachweisbarer Partialdruck:	
mit Faraday-Detector:	1 x 10^{-11} mbar
mit EM:	2 x 10^{-13} mbar
Kathode:	Iridium, Y_2O_3-beschichtet
Ausheiztemperatur des Analysators ohne Elektronik:	max. 250 °C

RÖNTGENFLUORESZENZANALYSE

VANESSA REPPEL, M.SC.

ZERSTÖRUNGSFREIE MATERIAL- UND SCHICHTDICKENANALYSE

Die Röntgenfluoreszenzanalyse (RFA) ermöglicht die Elementaranalyse von Metallen, Keramiken und anderen Materialien sowie 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.

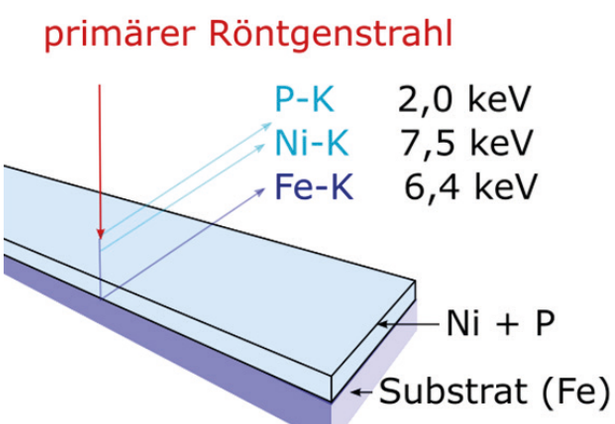


Abbildung 1: direkte Bestimmung des P-Anteils in NiP-Schichten

Die Einhaltung von Grenzwerten für Blei, Cadmium, Quecksilber, sechswertiges Chrom und polybromierte Biphenyle/ polybromierte Diphenylether (Pb, Cd, Hg, Cr-VI, PBBE/ 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.

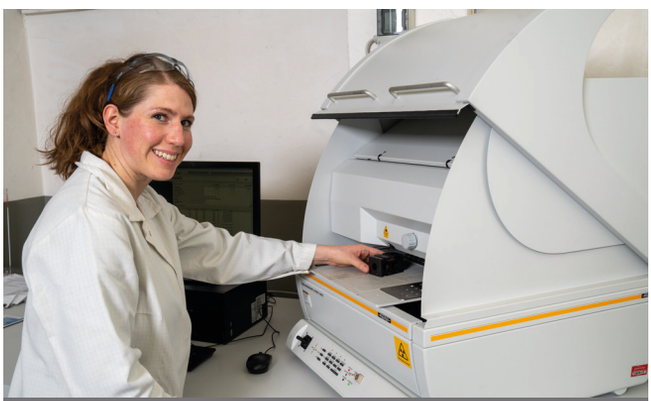


Abbildung 2: Röntgenfluoreszenzanalysegerät

Detektor:	Silizium-Drift-Detektor mit Peltierkühlung
Röntgenquelle:	Mikrofokus-Wolframanode mit Berryliumfenster 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

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

FUNKTIONELLE BESCHICHTUNGEN MITTELS MOCVD TECHNOLOGIE

Die Forschungsstelle verfügt 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.

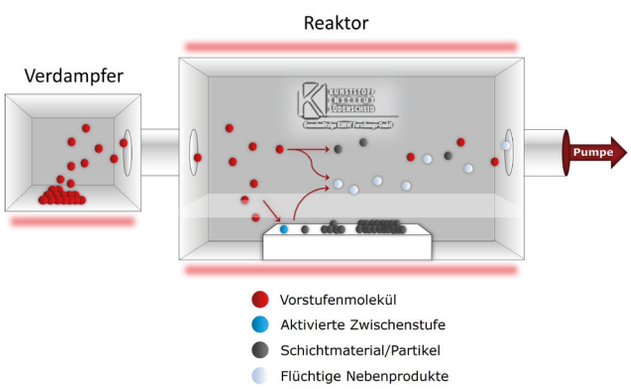


Abbildung 1: Darstellung eines CVD Heißwandreaktors mit Verdampfer

Die Peripherie wurde gezielt an die Reaktoren und die abzuscheidenden Schichten angepasst. Neben metalloxidischen Keramikbeschichtungen unterschiedlicher Morphologie und Kristallstruktur, können in der Gemeinnützigen KIMW Forschungs-GmbH auch metallische Kupfer- oder Nickelschichten sowie Hartstoffschichten auf Basis von Wolfram- oder Chromcarbid abgeschieden werden. Tribologisch wirksame Schichten (WS_2) 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 Verdampfertemperatur 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 Lösemitteln (Wasser, Ethanol, Toluol) 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. Eine gezielte Zufuhr von Reaktionsgas macht eine direkte Reaktion mit den Precursorpulvern möglich.

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. Seit diesem Jahr ist auch die Prozessierung mit festen Precursorverbindungen und die Handhabung des Minimalmengen-Fördersystems möglich (siehe Abbildung 2). Dazu wurde die Peripherie der Anlage angepasst und eine neue Verdampfereinheit aufgebaut. Diese ersetzt modular den Verdampfer für die Flüssigprecursoren. So ist ein schneller Wechsel zwischen der Verwendung von flüssigen und festen Precursorsystemen möglich.

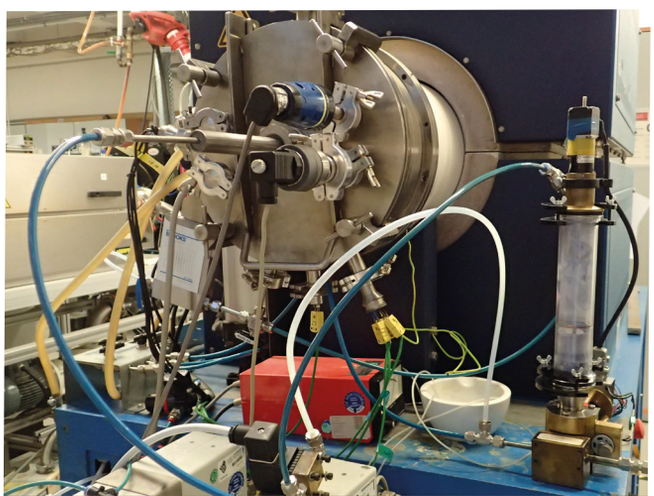


Abbildung 2: CVD 1 mit installiertem System zur Prozessierung von Feststoffprecursoren

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. Die eingesetzten, festes Precursoren werden mit dem an der Gemeinnützigen KIMW Forschungs-GmbH entwickelten Pulverfördersystem dosiert. Durch Installation einer Steuereinheit kann die Pulverdosierung nun zentral geregelt werden. Eine Implementierung der Druck und Gasflussregelung ist für die Zukunft vorgesehen.

Abbildung 3: Zentrale Steuereinheit für die Precursordosierung an der CVD 2

CVD 3

Für die Abscheidung von Schichten im industriellen Maßstab steht eine Beschichtungsanlage mit einem Kammervolumen von 230 Litern zur Verfügung (Abbildung 4). In dieser können auch größere Formabmessungen (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 Gemeinnützige KIMW Forschungs-GmbH auf die Pulverförderung mittels Miniextrudern, welche für höhere Durchsatzmengen angepasst wurden. An dieser Anlage wurde die Steuerung aller Prozessparameter in eine zentrale Steuereinheit implementiert. So können automatisiert komplexe Beschichtungsprogramme realisiert und dabei zwischen verschiedenen Precursoren und Gasen gewechselt werden. Zusätzlich ist eine Protokollierung der Prozessparameter über den gesamten Beschichtungsprozess möglich.

Abbildung 4: 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 Verdampfereinheit wurden durch die Gemeinnützige KIMW Forschungs-GmbH aufgebaut und gezielt für die Anlage angepasst. Durch den Umbau des Flansches auf der Abgasseite wird das Öffnen der Türe sowie die Platzierung der Substrate für die Beschichtung vereinfacht und die Absaugung erfolgt nicht mehr zentral durch die Türe, sondern durch zwei Anschlüsse im Flanschring (Abbildung 5). 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.

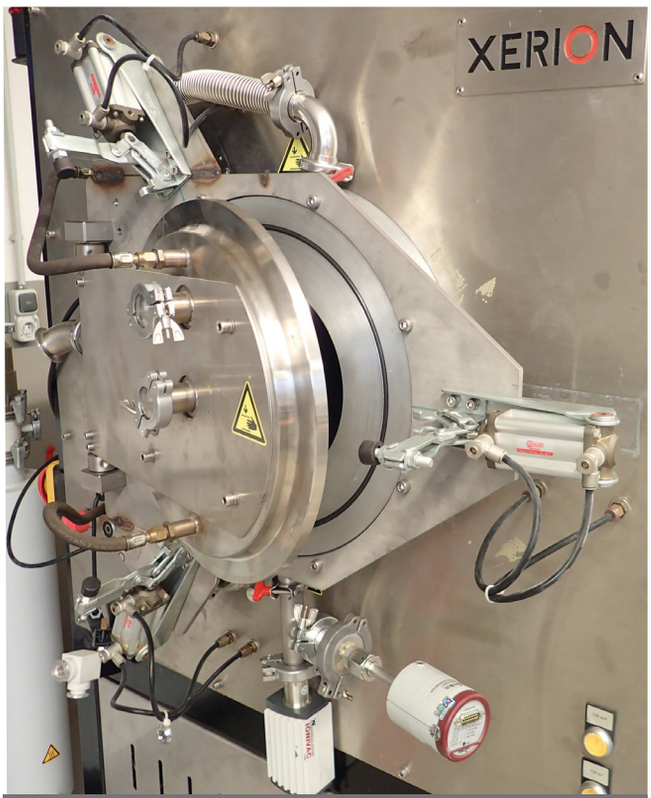


Abbildung 5: Neuer Flansch an der CVD 4

Durch die Implementierung der CVD-Anlagen in das Maschinennetz ist auch die zentrale Anzeige und Überwachung der Prozessparameter der Anlagen über einen separaten PC möglich. Durch das Monitoring der Parameter vom Büroarbeitsplatz aus wird eine effizientere Arbeitsweise ohne unnötige Vorort-Prüfung der Prozessparameter an den Anlagen sowie ein frühzeitiges Eingreifen bei Parameterabweichungen möglich.

Abbildung 6: Überwachung der Prozessparameter

EXTRUDER

MARKUS POTHMANN, B.ENG.

KUNSTSTOFFVERARBEITUNG MITTELS EXTRUSIONSTECHNOLOGIE

Zur Compoundierung von Kunststoffmaterialien verfügt die KIMW-F über einen Doppelschnecken-Laborextruder mit einer Schneckenlänge von 1,2 m und sieben individuell regelbaren Heizzonen. Dieser ermöglicht eine präzise Steuerung der Verarbeitungsparameter, sodass eine Vielzahl von thermoplastischen Kunststoffen mit unterschiedlichen Füll- und Verstärkungsstoffen effizient verarbeitet werden kann. Der Extruder ist mit einer gravimetrischen Dosierwaage ausgestattet, die eine exakte Zuführung von Granulaten und Additiven ermöglicht. Dadurch lassen sich auch Materialmischungen mit komplexen Zusammensetzungen – sowohl mit als auch ohne Zusatzstoffe – zuverlässig im Labormaßstab compoundieren. Neben klassischen Füllstoffen wie Glas- oder Kohlefasern können auch Nanopartikel, Flammschutzmittel oder funktionale Additive gezielt eingearbeitet werden, um maßgeschneiderte Materialeigenschaften zu erzielen.

Im Rahmen des im Jahr 2024 erfolgreich abgeschlossenen MicroCoating-Projekts wurden mit dem Extruder Polyphenylsulfone mit Kohlefaseranteilen von bis zu 20 % verarbeitet. Das daraus gewonnene Strangmaterial wurde speziell für die Innenbeschichtung von Tanks im Flammspritzverfahren weiterverwendet und zeigte vielversprechende Ergebnisse hinsichtlich chemischer Beständigkeit und mechanischer Belastbarkeit.

Eine Seitenbeschickung zur direkten Zugabe von Pulvern oder weiteren Zusatzmaterialien ist technisch vorgesehen, jedoch aktuell noch nicht umgesetzt. Nachgeschaltet an den Extruder sind eine Zerkleinerungsanlage sowie Kühlstrecken, die sowohl luft- als auch wassergekühlt betrieben werden können. Diese ermöglichen eine flexible Anpassung an die spezifischen Anforderungen verschiedener Materialsysteme und sorgen für eine kontrollierte Abkühlung des extrudierten Materials.

Durch die nachgelagerte Granulierung können neu entwickelte oder modifizierte Kunststoffrezepturen direkt in eine für die Weiterverarbeitung optimierte Form überführt werden. Das resultierende Granulat eignet sich ideal für Anwendungen in Spritzguss- oder Extrusionsprozessen und kann unmittelbar für Materialtests oder Produktionsversuche eingesetzt werden.

Mit diesem Compounder verfügt die KIMW-F über eine flexible Forschungs- und Entwicklungsplattform, die sowohl für interne Innovationsprojekte als auch für kundenspezifische Materialentwicklungen genutzt wird. Dank der umfassenden Steuerungsmöglichkeiten und der modularen Erweiterbarkeit eröffnet die Anlage neue Perspektiven für die Entwicklung hochspezialisierter Kunststoffrezepturen mit exakt definierten Eigenschaften.

Abbildung 1: Laborcompounder im Extrudertechnikum

Abbildung 2: Dosierwaage des Laborcompounders

PUBLIKATIONEN UND FACHVORTRÄGE

1. Frettlöh, V.: Multifunktionale Beschichtungen - Gesteigerte Performance durch CVD-Technologie. In: Seminar vom Fachverband Werkzeugindustrie e.V., Lüdenscheid, 13.02.2024

2. Gehlen, M.: Qualifizierung von Kunststoffen für die Brennstoffzellentechnologie. In: Technologienachmittag, Lüdenscheid, 19.03.2024

3. Frettlöh, V.: TriboSchicht - Gleitbeschichtungen für bewegliche Werkzeugelemente in Hochtemperaturanwendungen. In: VDWF im Dialog 2/2024, Seite 28-35

4. Librizzi, A.; Erfurt, H.-P.: DraKo – Drahtlose Kontaktierung von umspritzter Elektronik. In: PIAE - Internationaler Fachkongress zu Kunststoffen im Automobilbau, Mannheim, 20.06.2024

5. Mumme, F.; Frettlöh, V.: BMBF-Förderprojekt findet Werkzeugbeschichtung gegen Korrosion. In: Kunststoff Magazin, online, 31.07.2024

6. Hinzpeter, U.: Viele Unternehmen kennen die Möglichkeiten nicht", Forschungszulagengesetz. In: Kunststoffland NRW Ausgabe 2/2024, Seite 28-29, August 2024

7. Paskowski, A.: Q-Schaum: Ein neuer Ansatz zur zerstörungsfreien Prüfung. In: Kunststoff Magazin, online, 05.09.2024

8. Paskowski, A.: Neuer Ansatz zur zerstörungsfreien Prüfung von geschäumten Kunststoffteilen. In: Plastiker, online, 20.09.2024

9. Librizzi, A.: Direkteinspritzen anstatt einlegen: Metallkomponenten in Kunststoffbauteilen. In: VDWF im Dialog 3/2024, Seite 22-24

10. Reppel, V.: PFAS-freie Dünnschichten auf Basis von WS_2 für eine reduzierte Reibung auch bei höheren Temperaturen. In: EFDS Webinar: PFAS in der Dünnschicht- & Oberflächentechnik, 12.11.2024

11. Pothmann, M.: Recyclingprozess für EPP-Materialien (ReEPP). In: VDWF im Dialog 4/2024, Seite 32-33

12. Paskowski, A.: Zerstörungsfrei prüfen. In: Kunststoff Xtra, 16.12.2024

Schutzrechtanmeldungen

1. Patent EP3699320B1: „Dosiervorrichtung zum Dosieren eines pulverförmigen Stoffes"

TÄTIGKEITEN IN DER LEHRE

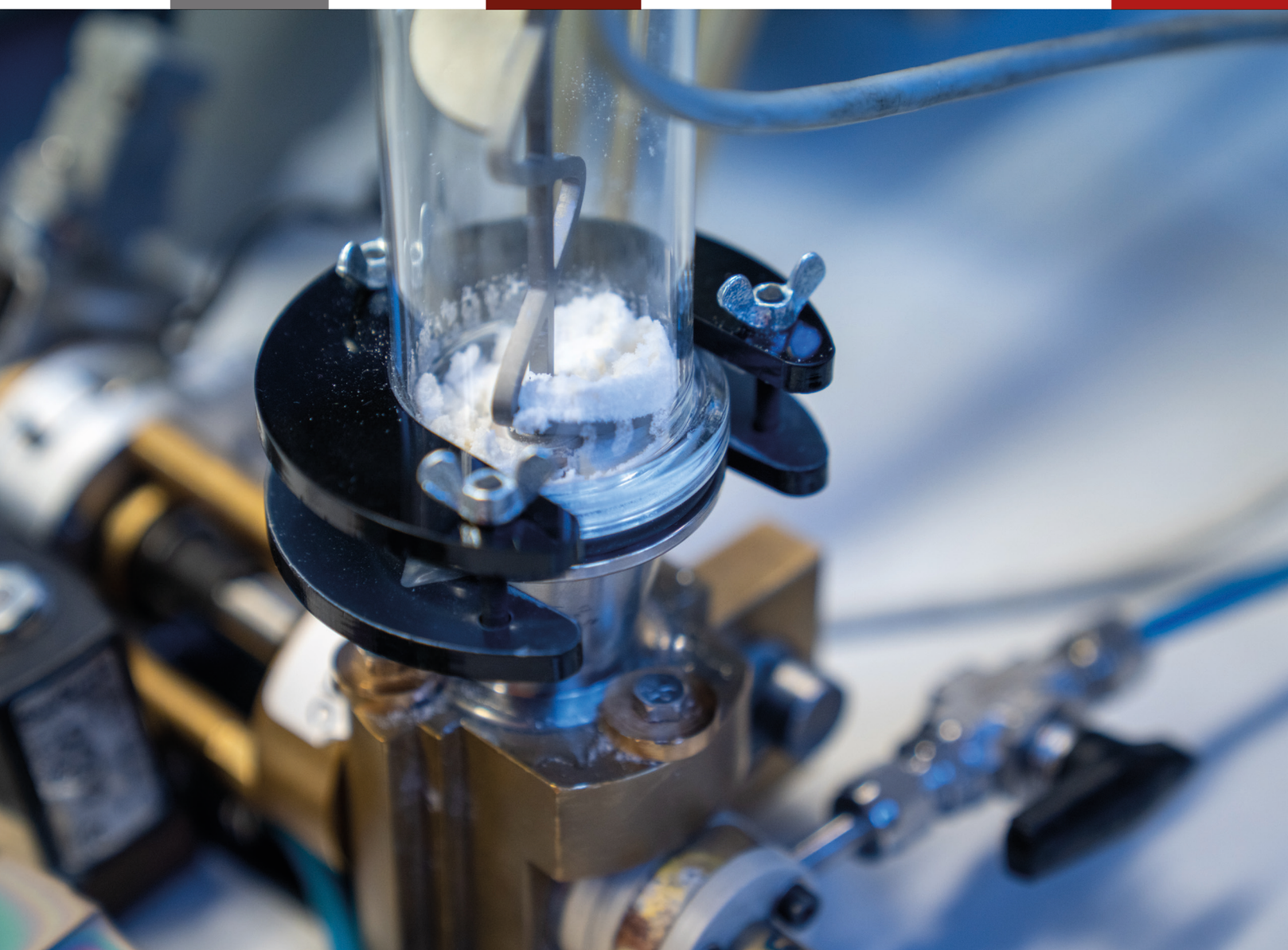
1. Vorlesungsveranstaltung „Oberflächentechnik Kunststoff" im Verbundstudiengang Bachelor Kunststofftechnik an der Fachhochschule Südwestfalen (FH-SWF);
Durchführender: Dr.-Ing. Angelo Librizzi

2. Vorlesungsveranstaltung „Methoden, Prozesse und Organisationsstrukturen – Sensorik" im Verbundstudiengang Projektmanager (FH) für Werkzeug- und Formenbauer an der Hochschule Schmalkalden;
Durchführender: Alexander Paskowski, B.Eng.

NOTIZEN

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
Website www.kimw-f.de

KUNSTSTOFF INSTITUT LÜDENSCHEID
GEMEINNÜTZIGE KIMW FORSCHUNGS-GMBH