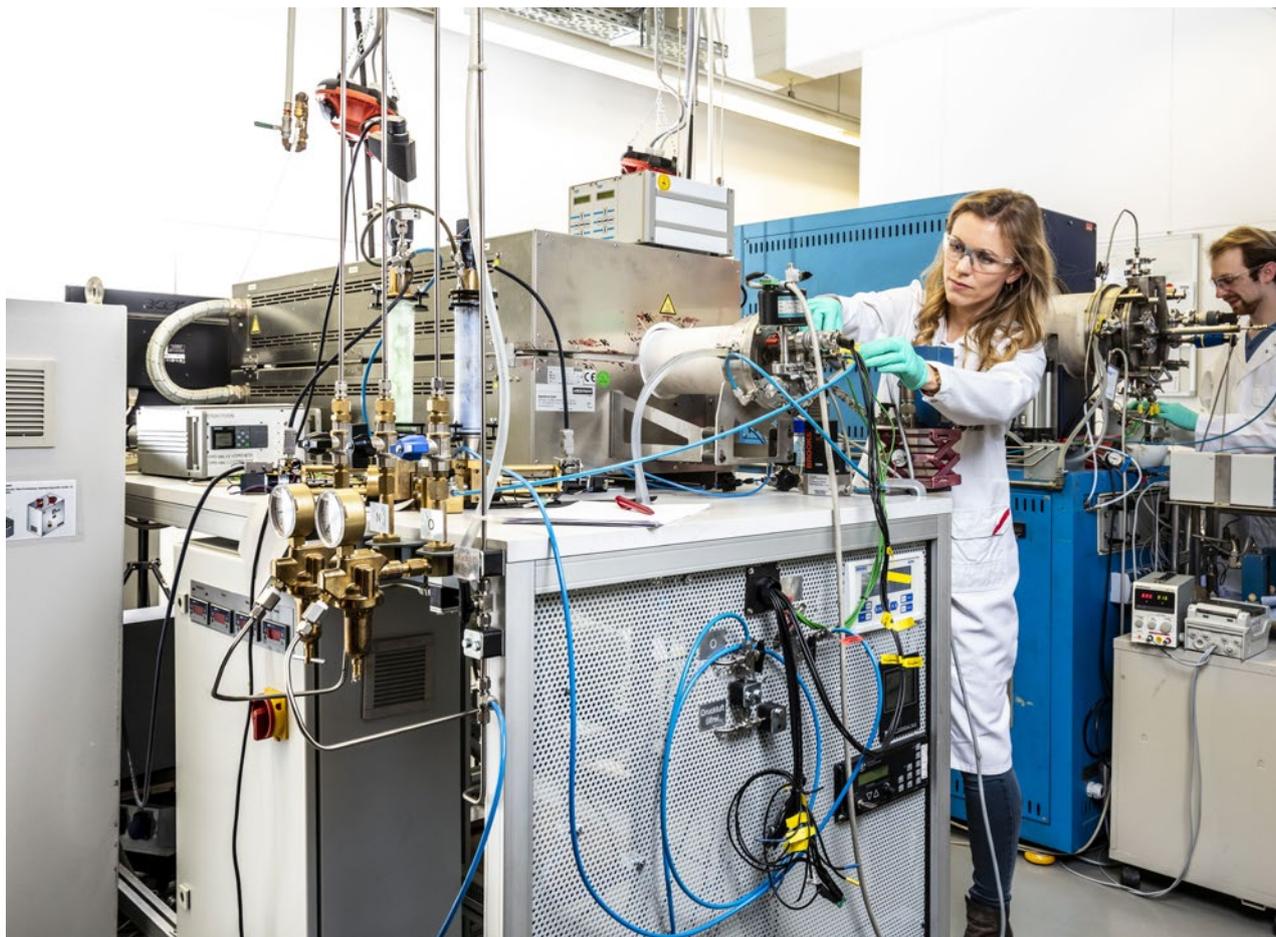




# Jahresbericht 2019

Gemeinnützige  
KIMW Forschungs-GmbH



Allgemeines.....	03
Wissenschaftliche Tätigkeiten.....	08
Netzwerk.....	37
Ausstattung und Service.....	40
Öffentlichkeitsarbeit und Wissenstransfer.....	50

# Ausbau der Infrastruktur, Erweiterung der Forschungsschwerpunkte und Service für Innovationen

Sehr geehrte Leserinnen und Leser,

die gemeinnützige KIMW Forschungsgesellschaft konnte im Jahr 2019 auf ein starkes Wachstum zurückblicken. Durch einen kontinuierlich zunehmenden Zulauf von Förderprojekten und der Intensivierung der Auftragsforschung konnte der Personalstand von 11 auf 20 Mitarbeiter aufgestockt werden. Gleichzeitig wurden Investitionen in analytische Untersuchungsmethoden, Anlagentechnik und Büroflächen deutlich erhöht.

Durch den Umzug der Büroarbeitsplätze der Forschungsstelle in das neu errichtete Polymer-Trainings-Center in der Lutherstraße 7, konnten weitere Flächen für die Erweiterung der CVD Aktivitäten gewonnen werden. Für die systematische Entwicklung von neuartigen 3D-fähigen Beschichtungen wurde besonders Augenmerk auf die Installation moderner Analytik gelegt (Lichtmikroskopie, Impedanzspektroskopie, Restgas- und TGA-Analyse). Im Jahresverlauf wurden die Beschichtungskapazitäten erhöht, um den gestiegenen Bedarf in der Auftragsforschung und Förderprojekten zu erfüllen. Insbesondere die Anschaffung einer Glovebox und der 4. Beschichtungsanlage mit einem Kammervolumen von ca. 230 Liter ermöglicht den Einsatz neuartiger Precursorsysteme für die Entwicklung von antiadhäsiven und harten Oberflächenschichten.

Die bestehenden Forschungsschwerpunkte Oberflächentechnik, Werkzeug- und Prozesstechnologie wurden um das Themengebiet Materialentwicklung ergänzt. Hier steht der Gedanke im Vordergrund Forschungsergebnisse aus dem Bereich der Oberflächen/Schichtentwicklung für die Modifizierung von Kunststoffen zu verfolgen. So wird in dem BMBF CAP-BNP Vorhaben der Ansatz verfolgt durch Gasphasenprozesse Nanopartikel zu generieren, die mit hoher Effizienz auf Kunststoffoberflächen bakterientötend sind. Die der Forschungsstelle zur Verfügung stehenden Compoundierungs-, Lackier- und Spritzgießprozesse sollen mit den so erzeugten Wirkstoffen eine kostengünstige Modifizierung von Kunststoffoberflächen ermöglichen. Wir denken mit



*Michael Krause*  
– Geschäftsführer –



*Frank Mumme*  
– Geschäftsführer –

diesem Schritt die möglichen Synergien der verschiedenen Aktivitäten zu maximieren.

Darüber hinaus steht die Kunststoffindustrie grundsätzlich im Umbruch. Wichtige Branchen für die Kunststoffindustrie wie beispielsweise die Verpackungsbranche und Automobilindustrie stehen unter Druck. In der Zukunft kommt es deswegen immer mehr auf neue Ideen und Innovationen an. Jedoch gibt es beispielsweise finanzielle Innovationshemmnisse! Ab 2020 können diese Hemmnisse gemindert werden. Die Bundesregierung führt die steuerliche Forschungsförderung ein. So können zukünftig FuE-Projekte bis zu 500 T€ gefördert werden! Für dieses und weitere Themen gibt es seit 2019 das Kunststoff-InnovationLab.

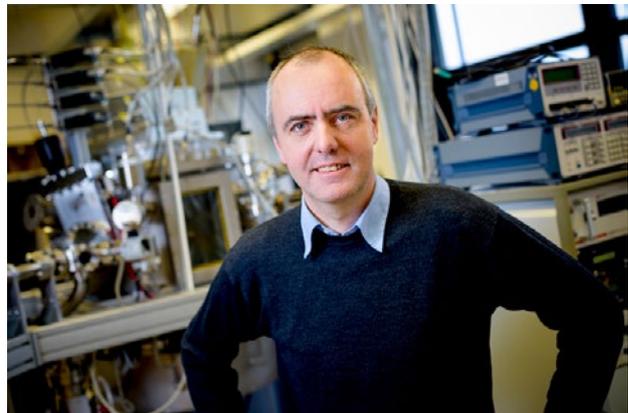
Unsere Forschungsstelle ist Trendsetter und in einer Vielzahl von Forschungsprojekten involviert. Im Anschluss dieser Forschungsprojekte geht es darum, die Produkte zur Marktreife zu bringen. Wir möchten mit Ihnen diese Entwicklungen gemeinsam beschreiten. Darüber hinaus informieren wir Sie regelmäßig zu neuen FuE-Ergebnissen und bieten Ihnen die Möglichkeit sich mit Gleichgesinnten zu vernetzen. Auch entwickeln wir gemeinsam mit Ihnen zu neuen Forschungstrends „Technologieroadmaps“ und Marktanalysen!

Wir bedanken uns bei allen Projektpartnern, Kunden und Unterstützern und nicht zuletzt bei unseren Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern für die gute und vertrauensvolle Zusammenarbeit im Jahr 2019.

# Oberflächentechnik in Perfektion

Sehr geehrte Leserinnen und Leser,

die Anforderungen an die Oberflächengüte von Formwerkzeugen in der Kunststofftechnik sind beeindruckend – präzise Formgebung in drei Dimensionen bis hinein in enge Spalte, geringe Rauigkeiten, Korrosionsbeständigkeit gegenüber der Kunststoffschmelze, sowie eine thermische Barrierewirkung zwischen Kunststoffschmelze und Formwerkzeug, um das Temperaturmanagement der Spritzgussprozesse zu vereinfachen und gleichzeitig Energie einzusparen. Die gleichzeitige Realisierung dieser Oberflächeneigenschaften auf Werkzeugstahl stellt eine einzigartige Herausforderung für die Oberflächentechnik dar. Dabei können die sehr flexiblen Plasmamethoden zur Beschichtung oder Vergütung von Oberflächen eine wesentliche Rolle spielen. Allerdings ist der Forschungsbedarf immens, weshalb das KIMW mit seiner Forschungsstelle schon seit einigen Jahren mit Plasmaforschern der Ruhr-Universität Bochum kooperiert und mehrere gemeinsame Projekte zu thermischen Barrieren oder dem Korrosionsschutz bearbeitet. Die Plasmaforschung an der Ruhr-Universität Bochum ist eine der größten europäischen akademischen Standorte mit vielen nationalen und internationalen Anbindungen an die Materialforschung, an die Biologie oder an die Chemie. Mit Plasmen lassen sich Materialien und dünne Schichten maßschneidern und es sind Synthesewege zugänglich, die mit konventionellen chemischen Methoden nicht erreichbar wären. Gleichzeitig erfordert die Beherrschung des Plasmazustandes aber ein genaues Verständnis der Plasmaerzeugung und -steuerung. Wenn dies gelingt, sind die Möglichkeiten der Plasmatechnik und deren Potential für die Anwendung nahezu grenzenlos, wie viele Beispiele aus der Mikroelektronik oder der Automobilindustrie illustrieren. In vielen dieser traditionellen Anwendungen der Plasmatechnik ist die Optimierung nur einer einzigen Oberflächeneigenschaft, wie zum Beispiel der Härte, das Ziel. Bei der Kunststofftechnik sind es immer mehrere Eigenschaften, die es zu optimieren gilt, was diese Themen sehr spannend, anspruchsvoll und innovativ macht. Gerade diese Kooperation mit der KIMW-F und seinem großen Netzwerk an Firmen bietet den akademischen Grundlagenforschern der Ruhr



Universität Bochum Einblicke in die Herausforderungen am Industriestandort Deutschland und motiviert insbesondere auch junge Studierende sich mit spannenden Themen mit praktischer Relevanz zu beschäftigen.

In diesem Sinne wünsche ich dem KIMW und uns noch viele neue Einblicke und Erkenntnisse bei der Erforschung und Entwicklung neuer Verfahren und Innovationen in der Kunststofftechnik.

Ihr  
Prof. Dr. Achim von Keudell

Lehrstuhl für die Physik Reaktiver Plasmen

Sprecher Research Department Plasma with  
Complex Interactions

Ruhr-Universität Bochum

# Kuratorium

## Aktuelle Forschungsvorhaben und zukünftige Themen

Die Mitglieder des Kuratoriums, welches Anfang 2015 gegründet wurde, nehmen durch die Einbringungen Ihrer Fachexpertise Einfluss auf die strategische Ausrichtung der Forschungsstelle. Schwerpunkte in der vorwettbewerblichen Forschung und Entwicklung können so bedarfsgerecht und umsetzungsorientiert formuliert werden.

Neuer Vorsitzender des Kuratoriums ist seit dem Jahr 2019 Herr Dr. Karsten Lemke von der Zenit GmbH. Das Kuratorium setzt sich aus namenhaften Vertretern der Industrie und der Forschung zusammen und tagte im Juli 2019:

- ☒ Prof. Dr. Andreas Ujma,  
Fachhochschule Südwestfalen
- ☒ Dr. Angelo Librizzi, Frank Mumme,  
gemeinnützige KIMW Forschungs-GmbH
- ☒ Matthias Poschmann,  
Kunststoff-Institut Lüdenscheid
- ☒ Andreas Meyer, Mayweg GmbH
- ☒ Prof. Dr. Thomas Seul,  
Fachhochschule Schmalkalden
- ☒ Bernhard Hoster,  
GIRA Giersiepen GmbH & Co. KG,
- ☒ Dr. Werner Fleischer, Ingenieur Büro IWF
- ☒ Prof. Dr. Markus Lake, Fachhochschule Krefeld
- ☒ Dr. Frank Jungblut,  
Oerlikon Balzers Coating Germany GmbH,
- ☒ Dr. Karsten Lemke, Zenit GmbH
- ☒ Prof. Dr. Jürgen Wieser,  
Forschungsgesellschaft Kunststoffe e.V.
- ☒ Jörn Wahle, Leopold Kostal GmbH & Co. KG
- ☒ Dr. Holger Bengs, BCNP Consultants GmbH
- ☒ Prof. Dr. Achim von Keudell,  
Ruhr-Universität Bochum
- ☒ Kai Okulla, Wilhelm Schröder GmbH
- ☒ Prof. Dr. Klaus Meerholz, Universität zu Köln

Die Projektleiter der KIMW-F stellten neueste Forschungs- und Entwicklungsergebnisse zu nachstehenden Themen vor:

- ☒ MediMold – Metaldirekteinspritzen in Kunststoffbauteile
- ☒ HybridTemp – Effiziente Werkzeugtemperierung durch Materialmix, hergestellt durch Elektronenstrahlschweißen
- ☒ DGG – Druck-Gas-Generator

Darüber hinaus sind Themen aus der vorwettbewerblichen Eigenforschung der KIMW-F präsentiert und innerhalb des Kuratoriums besprochen worden. Diese Themen dienen als Initiator für Projektdefinitionen im Hinblick auf die Antragsstellung neuer geförderter F&E-Projekte. Der Schwerpunkt lag dabei im Bereich der CVD-Prozesstechnik sowie der Entwicklung und Charakterisierung maßgeschneiderter Schichtsysteme für Kunststoffverarbeitungswerkzeuge. Dazu sind konkrete Problemstellungen aus der Praxis aufgegriffen und kontrovers diskutiert worden.

Neben dem Informationsaustausch zu den Themenschwerpunkten „Oberflächen- und Beschichtungstechnik“ sowie „Prozessentwicklung und Werkzeugtechnik“, bietet diese Plattform ebenso die Möglichkeit für eine interdisziplinäre Vernetzung zwischen Industrie und Wissenschaft.

### Weitere Informationen:

Angelo Librizzi, Dr.-Ing.  
Tel.: +49 (0) 23 51.10 64-134  
Fax: +49 (0) 23 51.6 79 99-66  
librizzi@kunststoff-institut.de

# Technologiescout

## Die neuen Trends und Technologien von morgen bereits heute in Erfahrung bringen

Das vierte Projekt Technologiescout wurde Ende März 2019 gestartet. Entgegen den früheren Projekten fungieren in der Neuauflage verschiedene Mitarbeiter des Instituts als Technologiescouts, indem sie Neuheiten, Trends und Innovationen auf Messen und Konferenzen aufspüren und dokumentieren.

In den ersten sechs Monaten konnte nicht nur eine große Anzahl an interessanten Themen detektiert werden, sondern es gab in den 21 angefertigten Berichten auch sehr viel Detailinformation über Produkte, Verfahren und Materialien für unterschiedliche Branchen.

Bei der Auswahl der wichtigsten Messen und Konferenzen wurde darauf geachtet, dass die Themen, die die Teilnehmer besonders interessiert, entsprechend einer zu Beginn des Projekts durchgeführten Befragung abgedeckt sind. Dazu gehören beispielsweise die Additive Fertigung, Neue Verarbeitungstechnologien, Automatisierungslösungen, Oberflächentechnologien, Funktionalisierungen, Werkzeugtechnik, Peripherie und andere.

Selbstverständlich spielen seit April 2019 die großen und wichtigen Leitmessen und -konferenzen eine sehr wichtige Rolle in der Ausrichtung des Projekts, allerdings werden auch viele Veranstaltungen/Fachtagungen besucht und dokumentiert, die ebenfalls mit vielen erstklassigen Themen aufwarten.

Die Industriemesse HMI 2019 in Hannover ist aufgrund ihrer enormen Vielfältigkeit, auch was ihre Innovationskraft angeht, herausragend. Darüber hinaus sind die Internationale Funkausstellung (IFA) in Berlin und die Internationale Automobil-Ausstellung (IAA) in Frankfurt besonders wichtige Messen für Trends und Weltpremieren. Wenngleich konstatiert werden muss, dass sich die IAA zunehmend schwerer tut, das Publikum anzuziehen. Gleichzeitig wachsen auf der Consumer Electronics Show (CES) in Las Vegas, die jedes Jahr im Januar auf dem Plan des Technologiescouts steht, die Welten der Elektronik und die des Automobils allmählich zusammen.



Abbildung: Technologiescout

Aus kunststofftechnischer Sicht bildete sicherlich die nur alle drei Jahre stattfindende K-Messe in Düsseldorf den Höhepunkt des Messejahres 2019. Mit über 3.300 Ausstellern und 225.000 Fachbesuchern ist sie der Magnet der Branche. Hier wurden in diesem Jahr vor allem die Leitthemen Recycling, Kreislaufwirtschaft und Nachhaltigkeit diskutiert und präsentiert. Bemerkenswert war die – trotz der aufziehenden Wolken – positive Grundstimmung. Bei den Konferenzen gehört die alljährliche Automobiltagung in Mannheim (PIAE) zum Pflichtprogramm. Mit noch etwa 1.000 Teilnehmern ist sie wie die gesamte Branche unter Druck geraten, gleichzeitig bietet sie immer noch einen sehr wichtigen Überblick über neueste Entwicklungen. Ansonsten sind es vor allem die vermeintlich kleinen Tagungen, die immer wieder Highlights hervorbringen wie z. B. die hauseigenen Fachtagungen „3D-Druck“ oder „Werkzeugoberflächen“.

### Weitere Informationen:

Dipl.-Ing. Marko Gehlen  
Tel.: +49 (0) 23 51.10 64-124  
gehlen@kunststoff-institut.de

# Übersicht Mitarbeiter

## Geschäftsführung



**Dipl.-Kfm. Michael Krause**

+49 (0) 23 51.10 64-187  
krause@kimw.de



**Dipl.-Ing. Frank Mumme**

+49 (0) 23 51.10 64-139  
mumme@kimw.de

## Gruppenleiter/-in



**Dr.-Ing. Angelo Librizzi**  
Prokurist  
Oberflächentechnik-  
Formteile,  
Prozesstechnik



**Vanessa Frettlöh, M.Sc.**  
Oberflächen-  
technik-Werkzeuge



**Dr.-Ing. Ruben Schlutter**  
Werkzeugtechnik,  
Neue Materialien

## Wissenschaftliche - technische Mitarbeiter und Berater



**Patrick Engemann, M.Sc.**



**Ameya Kulkarni, M.Sc.**



**Sven Gawronski, technischer Mitarbeiter**



**Dipl.-Ing. Marko Gehlen**



**Nicolai Clemens, B.Eng.**



**Dipl.-Chem. Martin Ciaston**



**Christian Rust, M.Eng.**



**Dr.-Ing. Anatoliy Batmanov**



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



**Tom Figge, B.Eng.**



**Alexander Paskowski, B.Eng.**



**Dipl.-Ing. (FH) Matthias Militsch**



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



**Katharina Prammer, B.Eng.**



**Dipl.-Ing. Christof Raffenberg**



**Prof. Dr.-Ing. Andreas Ujma (Berater)**

# Wissenschaftliche Tätigkeiten

## Übersicht öffentlich geförderter Projekte 2019

### Vorhaben 1: 3D FlameMold – Funktionale Oberflächen

*Simulation/Bewertung beschichteter Werkzeugkomponenten und Herstellung und Analyse von Spritzteilen*

- ☒ Laufzeit: 01.01.2018 bis 31.12.2019
- ☒ Förderkennzeichen: 16KN037760
- ☒ Fördergeber: BMWi
- ☒ Förderträger: VDI/VDE
- ☒ Förderprogramm: ZIM-KOOP – Kooperationsnetzwerke
- ☒ Projektleiter: Christian Rust, M.Eng

### Vorhaben 2: 3D OptiCool

*Entwicklung neuartiger Temperierkonzepte für 3D-gedruckte Werkzeugeinsätze aus Kunststoff, sowie Abgleich zwischen Simulation und Praxisergebnissen der umgesetzten Technologieansätze*

- ☒ Laufzeit: 01.07.2018 bis 30.09.2020
- ☒ Förderkennzeichen: ZF4586701TA8
- ☒ Fördergeber: BMWi
- ☒ Förderträger: AiF
- ☒ Förderprogramm: ZIM-ZF – Kooperationsprojekt
- ☒ Projektleiter: Nicolai Clemens, B.Eng

### Vorhaben 3: AbraCoat

*Entwicklung von carbidischen und nitridischen Hartstoffschichten mittels MOCVD für abrasive Anwendungen in der Kunststoffverarbeitung*

- ☒ Laufzeit: 01.10.2018 bis 30.09.2020
- ☒ Förderkennzeichen: ZF4586702DE8
- ☒ Fördergeber: BMWi
- ☒ Förderträger: AiF
- ☒ Förderprogramm: ZIM-ZF – Kooperationsprojekt
- ☒ Projektleiter: Dipl.-Ing. Marko Gehlen

### Vorhaben 4: CAP-BNP

*Entwicklung innovativer biozider Nanopartikel zur Anwendung in der Kunststofftechnik*

- ☒ Laufzeit: 15.10.2018 bis 14.10.2021
- ☒ Förderkennzeichen: 03INT505CA
- ☒ Fördergeber: BMBF
- ☒ Förderträger: Projektträger Jülich
- ☒ Förderprogramm: Internationalisierung von Spitzenclustern, Zukunftsprojekten und vergleichbaren Netzwerken
- ☒ Projektleiter: Dr.-Ing. Ruben Schlutter

### Vorhaben 5: CAP-CPC

*Entwicklung von innovativen Korrosionsschutzschichten und Beschichtungsprozessen für Spritzgießwerkzeuge*

- ☒ Laufzeit: 15.11.2018 bis 14.11.2021
- ☒ Förderkennzeichen: 03INT505AA
- ☒ Fördergeber: BMBF
- ☒ Förderträger: Projektträger Jülich
- ☒ Förderprogramm: Internationalisierung von Spitzenclustern, Zukunftsprojekten und vergleichbaren Netzwerken
- ☒ Projektleiter: Dipl.-Ing. Frank Mumme

### Vorhaben 6: CAP-TBC

*Entwicklung von innovativen thermisch isolierenden Schichten und Beschichtungsprozesse für Spritzgießwerkzeuge*

- ☒ Laufzeit: 01.12.2018 bis 30.11.2021
- ☒ Förderkennzeichen: 03INT505BA
- ☒ Fördergeber: BMBF
- ☒ Förderträger: Projektträger Jülich
- ☒ Förderprogramm: Internationalisierung von Spitzenclustern, Zukunftsprojekten und vergleichbaren Netzwerken
- ☒ Projektleiter: Vanessa Frettlöh, M.Sc.

### Vorhaben 7: DekOLED

*Dekorative und funktionelle, in ein Kunststoffbauteil integrierte, OLED*

- ☒ Laufzeit: 01.04.2017 bis 31.03.2020
- ☒ Förderkennzeichen: EFRE-0800620
- ☒ Fördergeber: Land NRW/EU
- ☒ Förderträger: Projektträger Jülich
- ☒ Förderprogramm: Leitmarkt NeueWerkstoffe
- ☒ Projektleiter: Dr.-Ing. Angelo Librizzi

### Vorhaben 8: dEkoPP

*Prozessintegrierte Ausbildung dekorativer Oberflächen auf EPP-geschäumten Bauteilen (2D und 3D)*

- ☒ Laufzeit: 01.11.2019 bis 31.10.2021
- ☒ Förderkennzeichen: ZF4586707EB9
- ☒ Fördergeber: BMWi
- ☒ Förderträger: AiF
- ☒ Förderprogramm: ZIM-ZF – Kooperationsprojekt
- ☒ Projektleiter: Katharina Prammer, B.Eng.

**Vorhaben 9: DiffMold**

*Spritzgießwerkzeuge – Werkzeugentwicklung und -simulation*

- ☒ Laufzeit: 01.01.2018 bis 31.12.2019
- ☒ Förderkennzeichen: 16KN045855
- ☒ Fördergeber: BMWi
- ☒ Förderträger: VDI/VDE
- ☒ Förderprogramm: ZIM-KOOP – Kooperationsnetzwerke
- ☒ Projektleiter: Vanessa Frettlöh, M.Sc.

**Vorhaben 10: DynaHEAT**

*Entwicklung einer prozessintegrierten Dünnschichtheizung mittels chemischer Gasphasenabscheidung für die dynamische Werkzeugtemperierung zur Ressourceneinsparung in der Spritzgießtechnik*

- ☒ Laufzeit: 01.08.2018 bis 31.07.2021
- ☒ Förderkennzeichen: EFRE-0801180
- ☒ Fördergeber: Land NRW/EU
- ☒ Förderträger: Projektträger ETN
- ☒ Förderprogramm: Leitmarkt EnergieUmweltwirtschaft.NRW
- ☒ Projektleiter: Dipl.-Chem. Martin Ciaston

**Vorhaben 11: GasMold**

*Entwicklung einer gasbasierten Temperierung für Spritzgießwerkzeuge*

- ☒ Laufzeit: 01.02.2019 bis 01.02.2021
- ☒ Förderkennzeichen: ZF4586704TA8
- ☒ Fördergeber: BMWi
- ☒ Förderträger: AiF
- ☒ Förderprogramm: ZIM-ZF – Kooperationsprojekt
- ☒ Projektleiter: Alexander Paskowski, B.Eng.

**Vorhaben 12: InfraSurf**

*Ausbau der umsetzungsorientierten Forschungsinfrastruktur für die gemeinnützige KIMW Forschungs-GmbH im Bereich der Oberflächentechnik in der Kunststoffverarbeitung*

- ☒ Laufzeit: 01.06.2019 bis 20.12.2020
- ☒ Förderkennzeichen: EFRE-0200518
- ☒ Fördergeber: Land NRW/EU
- ☒ Förderträger: Projektträger Jülich
- ☒ Förderprogramm: Forschungsinfrastrukturen des Landes Nordrhein-Westfalen
- ☒ Projektleiter: Dr. rer. nat. Mohamed Mahmoud

**Vorhaben 13: IsoCer**

*Isolation durch keramische Dünnschichten zur Abschirmung von Heizleiterschichten auf Werkzeugoberflächen in der Kunststoffverarbeitung*

- ☒ Laufzeit: 01.06.2019 bis 31.08.2022
- ☒ Förderkennzeichen: EFRE-0200517
- ☒ Fördergeber: Land NRW/EU
- ☒ Förderträger: Projektträger Jülich
- ☒ Förderprogramm: Forschungsinfrastrukturen des Landes Nordrhein-Westfalen
- ☒ Projektleiter: Dr. rer. nat. Mohamed Mahmoud

**Vorhaben 14: KeraIn**

*Simulation der thermischen und mechanischen Eigenschaften und Analyse der Oberflächeneigenschaften des Verbundwerkzeuges*

- ☒ Laufzeit: 01.04.2019 bis 31.03.2021
- ☒ Förderkennzeichen: 16KN045859
- ☒ Fördergeber: BMWi
- ☒ Förderträger: VDI/VDE
- ☒ Förderprogramm: ZIM-KOOP – Kooperationsnetzwerke
- ☒ Projektleiter: Patrick Engemann, M.Sc.

**Vorhaben 15: MediMold 2**

*Prozessentwicklung - Spritzgießen - zur Herstellung von metallischen Leiterbahnen und Kontaktierungselementen*

- ☒ Laufzeit: 01.01.2017 bis 30.06.2019
- ☒ Förderkennzeichen: 16KN050233
- ☒ Fördergeber: BMWi
- ☒ Förderträger: VDI/VDE
- ☒ Förderprogramm: ZIM-KOOP – Kooperationsnetzwerke
- ☒ Projektleiter: Tom Figge, B.Eng.

**Vorhaben 16: Metalldirekt Antenne**

*Antennenfunktionsintegration in Kunststoffbauteile durch direkteingespritzte Metallstrukturen*

- ☒ Laufzeit: 01.03.2019 bis 28.02.2021
- ☒ Förderkennzeichen: ZF4586705DE8
- ☒ Fördergeber: BMWi
- ☒ Förderträger: AiF
- ☒ Förderprogramm: ZIM-ZF – Kooperationsprojekt
- ☒ Projektleiter: Tom Figge, B.Eng.

## Vorhaben 17: Nanolight

Entwicklung einer hochfokussierenden statischen Lichteinheit für Fahrzeugscheinwerfer sowie eines großserientechnischen Produktionsverfahrens

- ☒ Laufzeit: 01.02.2019 bis 01.02.2021
- ☒ Förderkennzeichen: ZF4586703TDF8
- ☒ Fördergeber: BMWi
- ☒ Förderträger: AiF
- ☒ Förderprogramm: ZIM-ZF – Kooperationsprojekt
- ☒ Projektleiter: Dipl.-Ing. (FH) Matthias Militsch

## Vorhaben 18: RepMetalMold

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

- ☒ Laufzeit: 01.09.2019 bis 31.08.2022
- ☒ Förderkennzeichen: ZF4586706EB9
- ☒ Fördergeber: BMWi
- ☒ Förderträger: AiF
- ☒ Förderprogramm: ZIM-ZF – Kooperationsprojekt
- ☒ Projektleiter: Dr. rer. nat. Andreas Balster

## Vorhaben 19: SUCRE

Prozessintegrierter und nachhaltiger Belag- und Verschleißschutz von Werkzeugoberflächen in der Kunststoffverarbeitung durch Applikation medien-dichter und spaltgängiger CVD-Schichten

- ☒ Laufzeit: 01.10.2019 bis 30.09.2021
- ☒ Förderkennzeichen: ZF4586708DE9
- ☒ Fördergeber: BMWi
- ☒ Förderträger: AiF
- ☒ Förderprogramm: ZIM-ZF – Kooperationsprojekt
- ☒ Projektleiter: Dipl.-Ing. Marko Gehlen

## Vorhaben 20: TBC Dünnwand

Höhere Ressourceneffizienz durch erweiterte Dünnwand-spritzgießtechnik mittels thermischer Barriere-Schichten (TBC) im Werkzeug

- ☒ Laufzeit: 01.02.2019 bis 31.01.2021
- ☒ Vorhaben Nr.: 20442 N/1
- ☒ Fördergeber: BMWi
- ☒ Förderträger: AiF
- ☒ Förderprogramm: Industrielle Gemeinschaftsforschung (IGF)
- ☒ Projektleiter: Dr.-Ing. Anatoliy Batmanov

Die genannten Forschungsvorhaben werden unterstützt durch:



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



EUROPÄISCHE UNION  
Investition in unsere Zukunft  
Europäischer Fonds  
für regionale Entwicklung



Die Landesregierung  
Nordrhein-Westfalen



## 3D FlameMold

### Entwicklung einer thermischen Barrierschicht für Spritzgusswerkzeuge zur Steigerung der Oberflächenqualität an Kunststoffformteilen.

Der Zwiespalt zwischen qualitativ hochwertigen Oberflächen und der Forderung nach immer kürzeren Zykluszeiten, führte zur Entwicklung der variothermen Werkzeugtemperierung. Die Nachteile dieses aktiven Prozesses sind die zusätzlich benötigte Anlagenperipherie sowie der zusätzliche Energiebedarf.

Zur Steigerung der Wirtschaftlichkeit soll im Projekt 3D-FlameMold eine keramische Werkzeugbeschichtung (siehe Abbildung) entwickelt werden, welche die vorhandene thermische Energie der Kunststoffformmasse nutzt, um gezielt Oberflächendefekte zu reduzieren und die Oberflächenqualität zu maximieren.

Ziel ist es mithilfe der keramischen Deckschicht die Kontakttemperatur zwischen der Kunststoffschmelze und dem Werkzeug, bei identischer Zykluszeit, zu erhöhen. Die Erhöhung der Kontakttemperatur wird mithilfe der keramischen Werkstoffeigenschaften realisiert. Die im Vergleich zu Stahlwerkstoffen niedrige Wärmeleitfähigkeit sowie niedrige Wärmekapazität führt zu einer verminderten Wärmediffusion und ermöglicht die oben genannte Erhöhung der Kontakttemperatur. Diese Erhöhung führt zu einer verbesserten Werkzeugoberflächenabformung. Speziell Bindenähte können mit dieser Technologie kaschiert werden. Aufgrund der geringen Schichtdicke (500µm) wird der restliche Spritzgusszyklus nicht beeinflusst. Die Zykluszeit bleibt identisch. Die Werkzeugbeschichtung wird mithilfe des APS-Verfahrens (Atmosphärisches Plasma-Spritzen) aufgebracht. Die hochdichte keramische Beschichtung kann mit diesem Verfahren auf eine endkonturnahe Oberfläche aufgetragen werden.

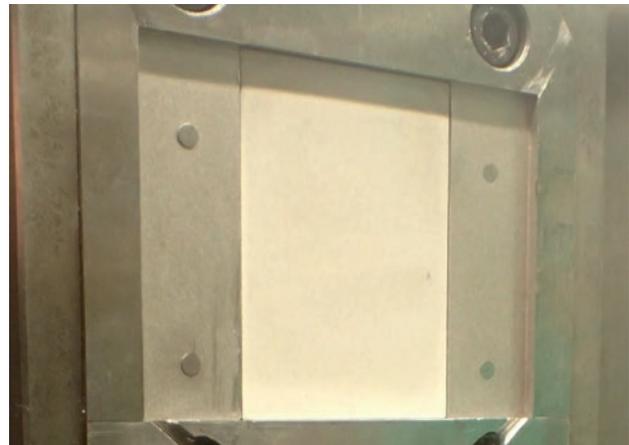


Abbildung: keramische Werkzeugbeschichtung

Die Verfahrens- und Schichtentwicklung wird in einem zweijährigen, vom BMWi geförderten, Forschungsvorhaben realisiert. Im ersten Schritt wurde anhand von planaren Probengeometrien die Bahnfahrstrategie des automatisierten Beschichtungsprozesses erarbeitet. Diese Bahnfahrstrategie konnte bereits auf komplexe Geometrien übertragen werden.

Das Konsortium, bestehend aus Unternehmen aus den Bereichen Kunststoffverarbeitung, Formenbau, Poliertechnik, Beschichtungstechnik und Materialveredelung (von Spritzpulvern) sowie zwei Forschungsstellen, bringt die benötigten Kompetenzen in den jeweiligen Fachdisziplinen mit.

Mithilfe dieses Verbundes konnten große Fortschritte im Bereich der Schichthaftung erreicht werden. Die gute Schichthaftung, kombiniert mit der fortwährenden Reduzierung der Restporosität, führt zu einer wertanmutenden Werkzeugoberfläche.

#### Weitere Informationen:

Christian Rust, M. Eng.

Tel.: +49 (0) 23 51.6 79 99-25

rust@kunststoff-institut.de

Gefördert durch:



## 3D OptiCool

### Verbesserung der Bauteileigenschaften beim Spritzgießen mit 3D-gedruckten Werkzeugeinsätzen aus Kunststoff.

Die Abkühlrate der Kunststoffschmelze im Werkzeug beim Spritzgießen von thermoplastischen Kunststoffen bedingt in einem hohen Maße die Kristallisation des Polymers und damit einhergehend die resultierenden mechanischen Eigenschaften. Bei der Verwendung metallischer Formwerkzeuge genutzte Kühlsysteme erlauben im konventionellen Spritzguss eine stabile Prozessführung mit reproduzierbaren Bauteileigenschaften. Bei der Nutzung additiv gefertigter Werkzeugeinsätze aus Kunststoff ist der Einsatz einer angepassten Werkzeugkühlung nur bedingt umsetzbar. Der Grund hierfür ist die verringerte Wärmeleitfähigkeit der kunststoffgedruckten Formeinsätze im Vergleich zu herkömmlichen, metallischen Spritzgießwerkzeugen. Das Resultat ist eine veränderte Kristallisation durch die verlängerten Abkühlzeiten der Bauteile.

Das im September 2018 gestartete Projekt zielt aus diesem Grund darauf ab dreidimensional gedruckte Formeinsätze für Spritzgießwerkzeuge zu entwickeln, die Spritzgussteile mit nahezu identischen mechanischen Eigenschaften ermöglichen, um einen bestmöglichen Vergleich zwischen herkömmlichen und additiv gefertigten Werkzeugen zu gewährleisten. Hierbei steht die Entwicklung neuartiger Kühlkonzepte und 3D-Aufbaustrategien im Vordergrund, durch die die Kristallisation des Polymers kontrolliert und zielgerichtet erfolgen kann. Mittels des Einsatzes der additiven Fertigungsverfahren soll die Bereitstellungszeit für Formelemente eines Spritzgießwerkzeugs mittlerer Größe und mittleren Schussvolumens auf acht Werkstage reduziert werden.

Innerhalb dieses Jahres wurden verschiedene Temperierkonzepte entwickelt und, in Absprache mit dem Projektpartner der rpm GmbH, konstruktiv in



Abbildung: Dreidimensional gedruckter Formeinsatz zur Herstellung eines Prüfkörpers

gedruckte Formeinsätze überführt. Im Anschluss erfolgte die erste thermische Betrachtung der Konzepte mittels einer Simulationsreihe. Basierend auf den so ermittelten thermischen Daten wurde dann das vielversprechendste Temperierkonzept ausgewählt und als Spritzgießwerkzeug umgesetzt. Somit konnten erfolgreich erste Bauteile für mechanische sowie technologische Prüfungen hergestellt werden.

Im weiteren Verlauf des geförderten Projektes werden dann Prüfkörper mit variierenden Wandstärken entwickelt, mittels einer thermischen Simulation geprüft und im Spritzgießprozess hergestellt. Auf diese Weise wird die Grenzkühlleistung des entwickelten Temperierkonzeptes definiert. Die so gesammelten Erkenntnisse werden dann im Rahmen eines praxisrelevanten, seriennahen Bauteils auf ihre Tauglichkeit zum Einsatz innerhalb der industriellen Anwendung hin untersucht und optimiert.

#### Weitere Informationen:

Nicolai Clemens, B.Eng.  
Tel.: +49 (0) 23 51.10 64-814  
clemens@kunststoff-institut.de

Gefördert durch:



Gefördert durch:



zugrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages

# AbraCoat

## Entwicklung von carbidischen und nitridischen Hartstoffschichten mittels MOCVD für abrasive Anwendungen in der Kunststoffverarbeitung.

In kunststofftechnischen Verarbeitungsprozessen haben die Prozessparameter, die insbesondere von den Eigenschaften des zu verarbeitenden Kunststoffes abhängen, einen erheblichen Einfluss auf die formgebenden Werkzeuge. Das gilt beispielsweise sowohl in der Spritzgießverarbeitung als auch in der Profilextrusion. In beiden Verfahren werden oftmals abrasive Werkstoffe mit hohen Füllstoffgehalten eingesetzt. Der Verschleiß an der Oberfläche des Werkzeugs, der sich im Wesentlichen durch eine Glättung der Oberflächenstruktur oder durch eine Verrundung von Körperkanten darstellt, hat somit einen erheblichen Einfluss auf die Qualität der Bauteile in Abhängigkeit der Zeit.

Um diese Werkzeugoberflächen zu schützen bzw. den Lifecycle einer Werkzeugoberfläche signifikant zu verlängern, gibt es in der Kunststofftechnik viele Erfahrungen mit PVD-Beschichtungen wie z. B. Titanitrid, Wolframcarbide oder DLC. Diese Schichten zeichnen sich durch eine gute Verschleißfestigkeit und Härte aus. Allerdings verfügt die physikalische Gasphasen-Abscheidung (PVD) nicht über eine in vielen Anwendungen (insbesondere in der Profilextrusion) notwendige Spaltgängigkeit.

Das Projekt AbraCoat setzt genau hier an: Es sollen die Vorteile der metallorganischen Gasphasenabscheidung (MOCVD), für die die Forschungsstelle die 3D-Fähigkeit bereits nachweisen konnte, genutzt und anwendungsbezogene Schichten entwickelt und hergestellt werden.

Mit Hilfe metallorganischer Precursoren auf Basis von Carbonyl-Gruppen werden im Projekt AbraCoat harte und zugleich abriebfeste Beschich-

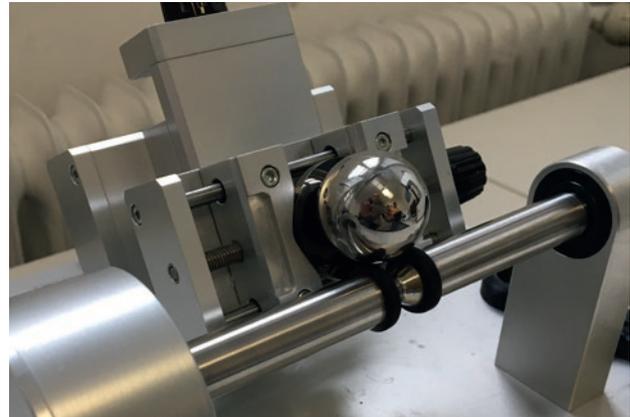


Abbildung: Verschleißprüfstand

tungen wie z. B. Carbide oder Nitride abgeschieden.

Die mechanischen Eigenschaften spielen eine ganz wesentliche Rolle, nicht nur hinsichtlich der Charakterisierung der Schichten selbst sondern auch hinsichtlich des möglichen Einsatzes in der Kunststoffverarbeitung oder in verwandten Prozessen. Erste Untersuchungen der Abriebfestigkeit weisen eine ähnliche Größenordnung auf, wie man sie von PVD-Schichten her kennt. Auch bei der Schichthärte werden vergleichbare Werte erreicht. Auf dem hauseigenen Tribometer werden auch Untersuchungen durchgeführt, die eine Bewertung der späteren Entformungsfähigkeit zulassen.

Mit der Aufskalierung des Beschichtungsprozesses von einer Mikroanlage auf eine größere Anlage, auf der Werkzeugeinsätze beschichtet werden können, ergibt sich im weiteren Verlauf die Möglichkeit praktischer Evaluationen.

### Weitere Informationen:

Dipl.-Ing. Marko Gehlen  
Tel.: +49 (0) 23 51.10 64-124  
gehlen@kunststoff-institut.de

Gefördert durch:



Gefördert durch:



zugrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages

# Biocidal Nanoparticles (BNP)

## Entwicklung innovativer biozider Nanopartikel zur Anwendung in der Kunststofftechnik (CAP BNP).

Im Rahmen des Projektes „biozide Nanopartikel“ arbeitet ein internationales Projektkonsortium an der Entwicklung und Weiterentwicklung funktionaler Schichten mit biozider Wirksamkeit durch den Einsatz von Nanopartikeln.

Zum Erreichen der bioziden Eigenschaften werden passive biozide Wirkprinzipien genutzt, um eine Resistenzbildung der Bakterien und Pilze gegen das Wirkprinzip zu vermeiden. Die dafür notwendigen Nanopartikel zeichnen sich dadurch aus, dass sie die Mikroorganismen nicht aktiv töten oder in deren Zellmetabolismus eingreifen.

Innerhalb der Projektgruppe werden Nanopartikel auf der Basis von Übergangsmetalloxiden verwendet, die mit verschiedenen Verfahren auf die Bauteiloberfläche appliziert werden. Der deutsche Teil des Projektkonsortiums fokussiert sich auf die nasschemische Herstellung der Nanopartikel und die Applikation durch Spritzgießen (Abbildung) und Lackierung.

Der französische Teil des Projektkonsortiums erzeugt die Nanopartikel mittels Plasma und appliziert diese durch das Plasma direkt auf die zu funktionalisierende Oberfläche.

In ersten Ergebnissen konnte bereits die prinzipielle biozide Wirksamkeit der erzeugten bioziden Nanopartikel nachgewiesen werden. Diese verhindern die Ausbildung eines Biofilms auf der Probenoberfläche, indem sie den pH-Wert in den leicht sauren Bereich absenken. Durch den entstehenden Überschuss an Hydronium-Ionen in Verbindung mit vorhandenem Wasser aus der Luftfeuchtigkeit werden Bakterien ferngehalten.

Eine Beeinflussung der thermischen und mechanischen Eigenschaften des Kunststoffes durch die Nanopartikel konnte weitestgehend ausgeschlossen werden. Allerdings ist der Anteil der Nanopartikel

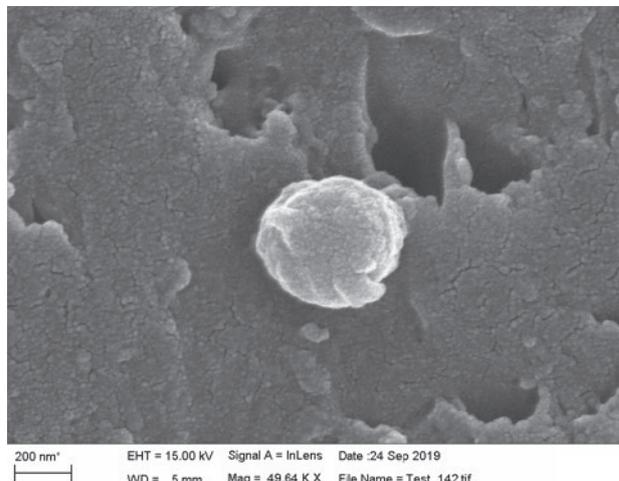


Abbildung: Nanopartikel auf einer ABS-Oberfläche

in der Oberfläche noch zu gering, um eine biozide Wirksamkeit des Kunststoffbauteils zu erzeugen. In den Folgeversuchen erfolgt daher die Applikation der Nanopartikel mithilfe eines Lacksystems. Außerdem werden dem Kunststoffcompound verschiedene Schleppermoleküle zugegeben, um eine Migration der Nanopartikel an die Oberfläche des jeweiligen Bauteils zu erreichen.

Die Partikelgröße der Nanopartikel soll ebenfalls reduziert werden und die Bildung von Agglomeraten vermieden werden. Durch beide Maßnahmen kann der Füllgrad durch die Nanopartikel verringert werden, wodurch entsprechend ausgerüstete Formteile wirtschaftlicher in ihrer Herstellung werden.

Die Anwendung der Nanopartikel erfolgt vor allem bei technischen Bauteilen, wie Telefongehäuseschalen und Türklinken, Massenartikeln, wie Kugelschreibern und in der Ausstattung von Gebäuden, z. B. mit Fußbodenpaneelen und Wandfarben.

### Weitere Informationen:

Dr.-Ing. Ruben Schlutter  
Tel.: +49 (0) 23 51.10 64-821  
schlutter@kunststoff-institut.de

Gefördert durch:



Bundesministerium  
für Bildung  
und Forschung

# Corrosion Protective Coatings (CPC)

## Entwicklung von 3D-fähigen Dünnschichten für den Korrosionsschutz (CAP-CPC).

Der Korrosionsschutz von Werkzeugoberflächen ist aufgrund der vielfältigen Materialauswahl, der unterschiedlichen Beanspruchungsarten und Konstruktionsrestriktionen ein anspruchsvolles Arbeitsgebiet. Die Zielstellung im Forschungsprojekt ist die Entwicklung von 3D-fähigen Schichtsystemen, die bei einer Schichtdicke von ca. 1  $\mu\text{m}$  einen deutlich verbesserten Korrosionsschutz im Arbeitsumfeld der Kunststoffverarbeitung bieten. Als Referenzsysteme sind hier chemisch Nickel Schichten mit einer Schichtdicke von 15-30  $\mu\text{m}$  sowie 2D-fähige amorphe DLC Schichten vorgesehen. Zur Schichtentwicklung wird die Impedanzspektroskopie und weitere Oberflächenanalytik (SEM, XRD, XPS) und Lichtmikroskopie angewendet.

Durch Variation der Beschichtungsparameter und unter Verwendung unterschiedlicher Precursor-systeme soll ein mediendichter kristallin/amorpher Schichtaufbau entwickelt werden. Grundlage der Prozessführung ist ein thermisch induzierter MoCVD Prozess, der Beschichtungstemperaturen von 200-450°C ermöglicht. Hierdurch ist das Beschichten komplexer, hinterschnittiger Geometrien oder enger Spalten gegeben.

Die Impedanzspektroskopie ist eine etablierte Untersuchungsmethodik, die eine sensible Erfassung von Stoffreaktionen an der Grenzfläche (Substrat/Beschichtung) erfassen kann. Durch Verwendung eines an die Aufgabenstellung angepassten Elektrolyten, erzeugt ein in seiner Frequenz variables Wechselstrompotential ein Elektronenaustausch an Grenzflächen. Als Reaktion wird ein frequenzabhängiger Spannungs-Stromfluss detektiert, dessen Interpretation eine Beurteilung der Porenintensität und chemischen Beständigkeit der Werkstoff/Schichtkombination erlaubt.

Die angewandte Vorgehensweise soll im Projektverlauf standardisiert, hinsichtlich der Interpretation der Messergebnisse diskutiert und für weiterführende Untersuchungen im Bereich der Korrosion und Schichtentwicklung nutzbar gemacht werden.

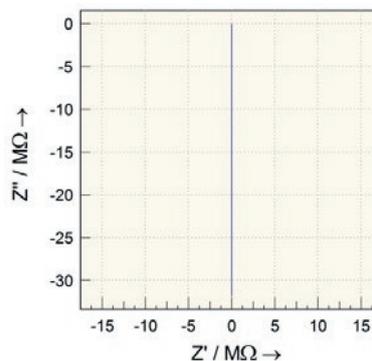


Abbildung 1: Nyquist-Darstellung einer idealen Medien- und korrosionsfesten Oberfläche

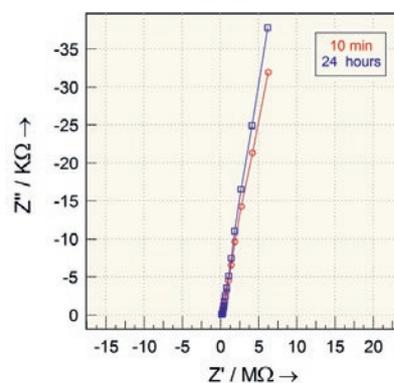


Abbildung 2: Nyquist-Darstellung einer realen amorphen oxidkeramischen Beschichtung Schichtdicke 0,4  $\mu\text{m}$  (0,1% NaCl, 30°C)

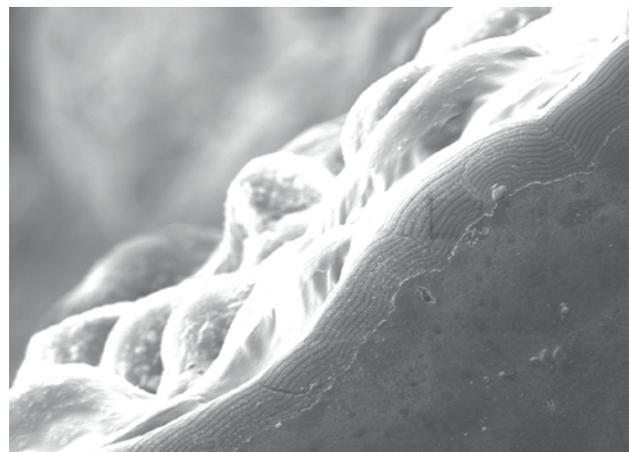


Abbildung 3: Amorph-kristalline metalloxid Multilagen-Beschichtung auf erodierter Oberfläche.

### Weitere Informationen:

Dipl.-Ing. Frank Mumme  
Tel.: +49 (0) 23 51.10 64-139  
mumme@kunststoff-institut.de

Gefördert durch:

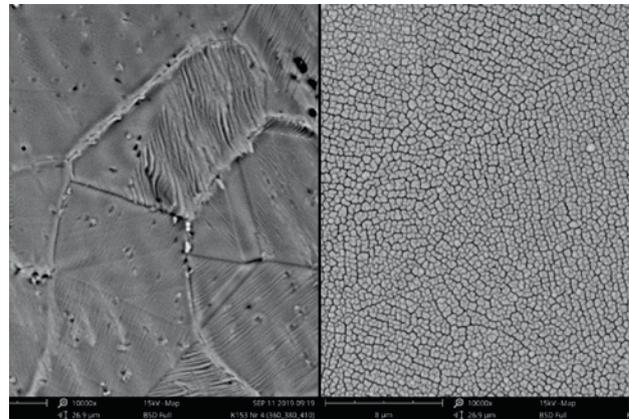


aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages

# Thermal Barrier Coatings (TBC)

**Das Teilprojekt des Vorhabens «Coatings and Particles for the Plastic Industry» (CAP) befasst sich mit der Entwicklung von thermischen Barrierschichten für energieeffizientere Spritzgießprozesse.**

Die Werkzeugwandtemperatur ist im Spritzgießprozess eine elementare Prozessgröße für eine maßhaltige und konturgenaue Abformung von Formteilen sowie für die Herstellung hochwertig anmutender Oberflächen. Die Viskosität der Kunststoffschmelze wird häufig durch kurzzeitige Erhöhung der Werkzeugwandtemperatur während der Einspritzphase verändert, was eine zusätzliche Anlagenperipherie sowie einen höheren Energieaufwand bedingt. Durch den Einsatz einer thermischen Barrierschicht (TBC, thermal barrier coating) im Werkzeug kann auch ohne zusätzlichen Energieeintrag Einfluss auf die Kontakttemperatur zwischen Kunststoffschmelze und Werkzeugwand und damit auf die Viskosität der Schmelze genommen werden. Da die TBC eine deutlich geringere Wärmeleitfähigkeit als der Werkzeugstahl aufweist, wird der Wärmeabfluss von der Schmelze in das Werkzeug kurzzeitig verzögert. Das Ziel des Projektes „CAP-TBC“ ist die Entwicklung von thermisch isolierenden Beschichtungen, die mittels metallorganischer chemischer Gasphasenabscheidung (MO-CVD) konturkonform auf die Kavität von Spritzgießwerkzeugen aufgebracht werden können. Die bisherigen Erkenntnisse der KIMW-F im Bereich der Zirkoniumdioxid-Beschichtungen fließen in die Entwicklung der Anlagen-, Prozess- und Schichtentwicklung ein. Zudem findet eine enge Zusammenarbeit mit den Projektpartnern Ruhr-Universität Bochum (AG Reaktive Plasmen), Formconsult Werkzeugbau GmbH und MöllerTech Engineering GmbH aus Deutschland sowie Forschungsstellen und diversen Anwendern in Frankreich statt. Um die für die Effizienz benötigte Schichtdicke zu reduzieren und das Schichtwachstum zu beschleunigen, wird eine Plasmaaktivierung der Werkzeugoberfläche sowie der chemischen Ver-



*Abbildung: Rasterelektronenmikroskopische Aufnahmen der Schichtmorphologie in Abhängigkeit von der Abscheidetemperatur: 360°C (links) und 500°C (rechts)*

bindungen zur Herstellung der Beschichtungen im Prozess zum Einsatz kommen. Die Eigenschaften der Beschichtungen werden gezielt optimiert und fortlaufend charakterisiert. Im Vordergrund stehen dabei die Schichtdicke, Morphologie und Temperaturleitfähigkeit der Beschichtungen. Letztere wird u. A. an der KIMW-F mit einem eigens angefertigten Prüfstand realisiert. Vielversprechende Beschichtungen werden auf Produktionswerkzeuge appliziert und ihre Performance unter Produktionsbedingungen analysiert.

Erste Screeningversuche zeigen eine starke Abhängigkeit der Morphologie der Beschichtungen von der Prozesstemperatur. Mit steigender Beschichtungstemperatur nimmt sowohl die Porosität der Schichten als auch die Wachstumsrate zu. Beides ist für die Effizienz der TBC von Vorteil, was durch Messungen der Temperaturleitfähigkeiten bestätigt wurde.

## Weitere Informationen:

Vanessa Frettlöh, M.Sc.  
Tel.: +49 (0) 23 51.6 79 99-11  
frettlloh@kunststoff-institut.de

Gefördert durch:



# DekOLED

## Dekorative und funktionelle, in ein Kunststoffbauteil integrierte OLED.

Ziel des im April 2016 gestarteten Projektes mit einer Laufzeit von drei Jahren ist es einen Demonstrator herzustellen, der 2,5D geformte organische Leuchtdioden (OLEDs) in ein 3D Kunststoffformteil integriert. Die symbolbeleuchteten Formteile sollen Bedieneinheiten für die Anwendungsfelder Automotive-Interieur und Haushaltgeräte assoziieren. Dazu werden OLEDs auf dünnen, biegbaren Glasfolien appliziert. Dieses System wird anschließend zur Bauteilkomplettierung im klassischen Film-Insert-Molding Prozess gemeinsam mit einer weiteren funktionellen Dekorfolie hinterspritzt. Diese beinhaltet neben den Dekor- und Schutzschichten weitere Funktionsmaterialien zur Realisierung einer Touch- und Sliderbedienung. Auf diese Weise soll es ermöglicht werden, Licht, Dekor und Bedienfunktion in einem Spritzgießzyklus herzustellen. Abbildung 1 zeigt das entwickelte Demonstratorbauteil, um die Machbarkeit zu validieren.

Im Rahmen der Entwicklungen wurden Untersuchungen zum Fügen der OLED-Glassubstrate mit einer Dekorfolie und die Überprüfung verschiedener Haftvermittlersysteme zur Anbindung der Hinterspritzmasse an die Glassubstrate erfolgreich durchgeführt.

Zur Herstellung der Demonstratoren wurde ein Spritzgießwerkzeug entwickelt (Abbildung 2), welches verschiedene Bauteilvarianten berücksichtigt. So kann die Kunststoffmasse wahlweise hinter oder vor die Folie gespritzt werden. Ebenfalls ist es möglich zwischen zwei Folie zu spritzen. Diese Varianten bieten im Rahmen der Versuche und Entwicklungen eine hohe Gestaltungsfreiheit, um im Bedarfsfall Funktion und Dekor jeweils in separate Folien einzubringen. Des Weiteren kann das Bauteil in einer zweiten Station im Spritzgießwerkzeug mit einer transparenten PUR-Komponente überflutet werden, um weitere Eigenschaften wie Oberflächenbeständigkeiten, optische und haptische Effekte zu integrieren.



Abbildung 1: Projektdemonstrator mit integrierter OLED und Touchbedienung im Tagdesign (links) und Nachtdesign (rechts)

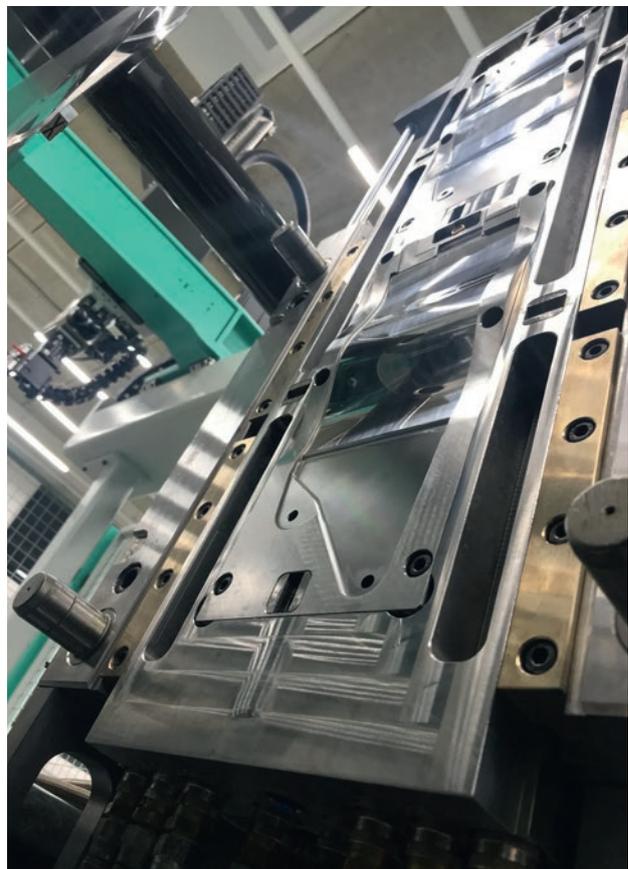


Abbildung 2: Demonstratorwerkzeug

### Weitere Informationen:

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

Gefördert durch:



Die Landesregierung  
Nordrhein-Westfalen



# dEkoPP

## Prozessintegrierte Ausbildung dekorativer Oberflächen auf EPP-geschäumten Bauteilen (2D und 3D).

Am 01.11.2019 wurde das 2-jährige ZIM-Kooperationsprojekt dEkoPP gestartet.

In Zusammenarbeit mit der Paul Müller Transport- und Verpackungsmittel GmbH wird die KIMW-F in den kommenden zwei Jahren an einer Lösung für die Dekoration von EPP-geschäumten Bauteilen arbeiten.

EPP ist ein vielseitig einsetzbarer Werkstoff, der aufgrund seines geringen Gewichts und den hervorragenden Wärmedämmeigenschaften die Möglichkeit bietet, auch in neuen Anwendungsbereichen eingesetzt werden zu können. Denkbar wären hierbei Einsatzgebiete im Bereich Mobiliar und Innenausstattung, oder Freizeit und Fitness. Ein Hemmnis hierbei ist allerdings häufig die charakteristische Oberfläche, bei der die Schaumperlenstruktur zu sehen ist.

Für neue Einsatzgebiete ist eine glatte, dekorative Oberfläche vorteilhaft. Eine bessere Reinigbarkeit und somit hygienischen Eigenschaften, aber auch vielfältigere Gestaltungsmöglichkeiten bieten hier neue Potenziale.

So bieten sich im Bereich der Folientechnologie außer den Foliendekoren an sich, noch einige Verfahren, durch die die Folien und die damit beschichteten Bauteile dekoriert und individualisiert werden können, wie etwa Siebdruck oder Digitaldruck.

Was einfach klingt, erfordert viel technische Entwicklung, da die Herstellung der EPP-Formteile bei hohen Temperaturen erfolgt und die Schaumperlen mittels Dampf verschweißt werden. Dies führt zu einem zu Abdrücken auf der Oberfläche, aber auch zu prozesstechnischen Aufgaben. Der Dampfdruck, der für die Verschweißung der Formteile notwen-



*Abbildung: Darstellung der charakteristische EPP-Oberfläche in zwei Farbvarianten. Eindeutig zu erkennen sind die für EPP charakteristischen Dampf-düsen-Abdrücke*

dig ist, muss gleichmäßig ins Bauteil eingebracht werden, um eine gute Bauteilqualität zu erreichen. Eine Abdichtung dieser Oberflächen mit einer Folie im Prozess sorgt also für einen Gegensatz, der im Rahmen dieses Projektes gelöst werden muss. Zusätzlich zu den prozess- und werkzeugtechnischen Herausforderungen, wird der Bereich des Materials eine große Rolle spielen. Die Oberflächenmaterialien müssen dem Dampfdruck, sowie den Temperaturen standhalten.

dEkoPP ist ein Entwicklungsprojekt, mit großen Herausforderungen, bietet aber die Möglichkeit, mit Kreativität und viel technischem Know-How, einem Werkstoff ein neues Gesicht zu geben und neue Wege zu gehen.

### Weitere Informationen:

Katharina Prammer, B.Eng.

Tel.: +49 (0) 23 51.10 64-131

prammer@kunststoff-institut.de

Gefördert durch:



Gefördert durch:

Bundesministerium für Wirtschaft und Energie

zugrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages

# DiffMold

## Entwicklung von diffusionsgeschweißten Werkzeugeinsätzen für mittelgroße und große Spritzgießwerkzeuge.

Eine effektive, konturnahe Temperierung in Spritzgusswerkzeugen erfordert komplexe Kühl- und Heizkanalstrukturen, die häufig nur durch den Einsatz segmentierter Werkzeugeinsätze realisiert werden können. Bei großen, variotherm temperierten Werkzeugen stoßen etablierte Fügeverfahren (Löten, Schrauben etc.) für die Segmente jedoch oftmals an ihre Grenzen, da einerseits die Dichtigkeit aufgrund der Temperaturwechselbelastung nicht sicher beherrschbar ist und andererseits Werkzeugverformungen durch die thermische Ausdehnung der Platten nicht prozesssicher aufgefangen werden können. Das Fügen der Werkzeugsegmente mittels Diffusionsschweißen wurde im Rahmen des vom BMWi geförderten Projektes „DiffMold“ erprobt und die Erkenntnisse auf den Bau eines Serienwerkzeuges übertragen.

Nachdem die Anforderungen an die zu verschweißenden Werkstücke und den Prozess feststanden, wurden die optimalen Schweißparameter an würfelförmigen Geometrien ermittelt. Die in der Spritzgusstechnik gängigen Werkstoffe 1.2083, 1.2343, 1.2738 und 1.1730 wurden sortenrein und in ausgewählten Kombinationen miteinander verschweißt. Durch Einstellung unterschiedlicher Oberflächen (geschliffen, gefräst, erodiert) wurde der Einfluss der Rauheit auf die Schweißbarkeit untersucht. Ein Schwerpunkt im Projekt war das Schweißen nicht-ebener Fügeflächen. So können Schweißnähte in der nachträglich einzubringenden Kavität vermieden werden. Allerdings stellen die schiefen Fügeflächen höchste Ansprüche an die Fertigung der Bauteile und die Prozessführung beim Diffusionsschweißen. Um die Realisierbarkeit dieser Vorgehensweise zu bewerten, wurden gezielt Simulationen des Schweißprozesses durchgeführt. Auf diese Weise konnte ein Eindruck von

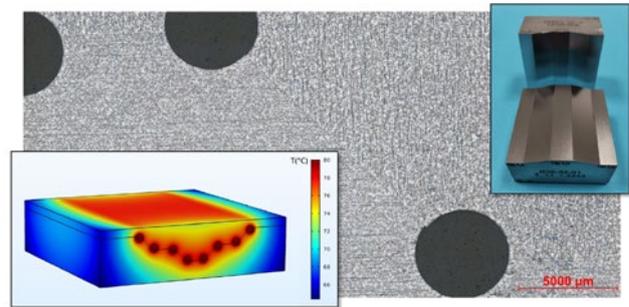


Abbildung: thermische Simulation eines Werkzeugblocks mit Kühlkanälen und schrägen Fügeflächen (links), Mikroskopaufnahme eines Blockes mit schrägen Fügezonen (Mitte), Demonstrator mit nicht-ebenen Fügeflächen (rechts)

den wirkenden Flächenpresskräften im Bereich der Verschweißung sowie eine Aussage über die spätere Qualität der Fügezonen gewonnen werden. Anhand von mit Kühlkanälen ausgestatteten Quadern (196x196x196 mm<sup>3</sup>) wurde die Geometrie der schrägen Fügeflächen hinsichtlich Schweißbarkeit und Temperaturverteilung nahe der späteren Kavität ermittelt. Mikroskopische Aufnahmen der verschweißten Proben zeigten, dass sich die Schrägen sehr gut fügen lassen und durch den Schweißprozess nur ein minimaler Versatz der Fügeflächen im Bereich der Kühlkanalgeometrie entsteht.

Die Vorteile des Verfahrens werden schlussendlich durch die Fertigung eines Spritzgießwerkzeuges zur Herstellung eines Lüfterrades demonstriert. Die Kühlkanalgeometrie wurde dabei in die komplexen Freiformflächen der zu fügenden Werkzeugelemente gefräst.

### Weitere Informationen:

Vanessa Frettlöh, M.Sc.

Tel.: +49 (0) 23 51.6 79 99-11

frettlloh@kunststoff-institut.de

Gefördert durch:



# DynaHEAT

## Entwicklung einer prozessintegrierten Dünnschichtheizung mittels chemischer Gasphasenabscheidung für die dynamische Werkzeugtemperierung zur Ressourceneinsparung in der Spritzgießtechnik.

Zur Kaschierung von Oberflächendefekten müssen in der konventionellen Werkzeugtemperierung die Spritzgusswerkzeuge in der Gesamtheit oder in größeren Teilsegmenten aufgeheizt werden. Dieser Vorgang ist sehr energieintensiv und führt zu einer Zykluszeitverlängerung. Daher soll in diesem Projekt ein wenige Mikrometer dicker Schichtverbund entwickelt werden, der eine partielle Aufheizung des Spritzgießwerkzeuges ermöglicht. Durch die partielle hocheffiziente Aufheizung kann eine gesteigerte Heizrate bei niedrigerem Leistungsaufwand erreicht werden. Die chemische Gasphasenabscheidung wird dabei genutzt, um eine keramische Isolierschicht sowie eine metallische Heizleiterschicht auf Werkzeugformeinsätze abzuscheiden.

Die Entwicklung des Schichtsystems erfolgte dabei zunächst auf zweidimensionalen Probekörpern. Hierbei stand die Entwicklung eines lösungsmittelfreien metallorganischen CVD-Prozesses im Mittelpunkt. Dieser Prozess erlaubt die Werkzeuge bei Temperaturen unterhalb der Anlasstemperatur des Werkzeugstahls zu beschichten. Ein weiterer positiver Aspekt ist eine Verringerung von Abfallprodukten im Vergleich zur Lösungsmittelbasierten chemischen Gasphasenabscheidung. In umfangreichen Versuchsreihen wurden diverse Abscheidparameter variiert und deren Einfluss auf die Schichteigenschaften untersucht. Durch eine geschickte Kombination der Schichtmaterialien und Abscheidparameter konnten gute Hafteigenschaften sowie die gewünschten elektrischen Eigenschaften erreicht werden. Das entwickelte Schichtsystem, bestehend aus einer ZrO<sub>2</sub>-Isolierschicht, einer Kupferoxid-Haftvermittlerschicht und der

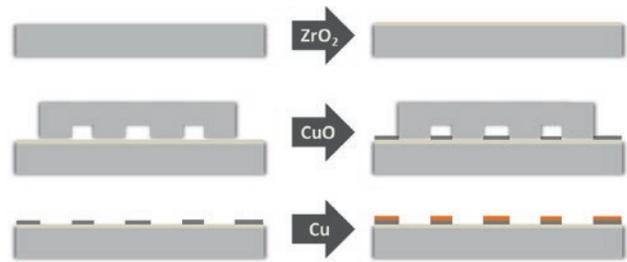


Abbildung: Schematische Darstellung der durchgeführten Beschichtung

eigentlichen Heizleiterschicht, konnte erfolgreich auf zweidimensionalen Probekörpern abgeschieden werden. Hierzu wurden die unterschiedlichen Haft- und Abscheideeigenschaften der einzelnen Schichten genutzt, um gezielt partielle Bereiche zu beschichten (siehe Abbildung).

In weiteren Versuchsreihen soll die Beschichtung eines produktionsnahen Demonstrators mit den optimierten Abscheidparametern untersucht werden, um die mit Heizleitern ausgestatteten Bereiche des Formeinsatzes kontrolliert und zyklisch zu temperieren. In enger Kooperation mit den Projektpartnern wird hierzu eine Form des Demonstrators definiert, um vergleichbare Durchbrüche und damit Bindenahtverläufe zu produktionsnahen Formeinsätzen zu generieren. Durch die enge Zusammenarbeit der Unternehmen aus dem Konsortium (GIGASET Communications GmbH, WENZ Kunststoff GmbH & Co. KG und Heite+Krause Werkzeugbau GbR) können Kompetenzen in den Bereichen Spritzgießtechnik, Anlagenperipherie und Werkzeugbau essenziell genutzt und der gesamte Prozess vom Werkzeug zum Endverbraucher optimal abgebildet werden.

### Weitere Informationen:

Dipl.-Chem. Martin Ciaston  
Tel.: +49 (0) 23 51.6 79 99-26  
ciaston@kunststoff-institut.de

Gefördert durch:



Die Landesregierung  
Nordrhein-Westfalen



# GasMold

## Entwicklung einer gasbasierten Temperierung für Spritzgießwerkzeuge.

Das vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie geförderte Projekt befasst sich mit der Entwicklung einer gasbasierten, variothermen Temperierung für den Einsatz in der Kunststoffspritzgießtechnik. Das Ziel der Vorgehensentwicklung ist die dynamische Temperierung von Spritzgießwerkzeugen mittels Einleitung von Heißgasen. Gängige, etablierte Temperiertechniken erfordern meist einen immensen Energieaufwand. Hierbei unterscheidet sich das GasMold Projekt insoweit, dass nur die oberflächennahe Werkzeugwand temperiert wird und ungewollt miterwärmte Bereiche auf ein Minimum reduziert werden können. Die dadurch entstehenden Vorteile sind zum einen der niedrigere Energiebedarf zum Erreichen der benötigten Kontakttemperaturen als auch eine geringere Werkzeugkomplexität.

Neben der Untersuchung von Prozessgasen und Prozesstemperaturen, werden aktuell Einflussgrößen wie Injektoranzahl, Injektorgeometrien und Injektorpositionen auf die Gasverteilung im Werkzeug untersucht. Durch die Überlagerung der thermischen und strömungsmechanischen Simulation sollen Erkenntnisse für ein seriennahes Werkzeug entnommen werden.

Die aus der Simulation gewonnenen Ergebnisse sollen am praxisnahen Versuchskonzept validiert werden. Durch das Einsatzschnellwechselsystem des Versuchskonzeptes werden weiterhin gängige Werkzeugstähle sowie thermisch leitfähige Oberflä-

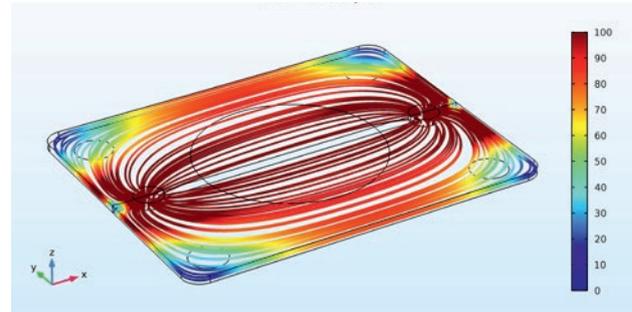


Abbildung: Strömungsmechanische Simulation – relative Strömungsgeschwindigkeit bezogen auf die Gaseintrittsgeschwindigkeit (laminare Gasströmung)

chenbeschichtungen mit in das Projekt einfließen. Untersucht wird hierbei die optimale Temperatureindringtiefe in Abhängigkeit des verwendeten Werkzeugstahles beziehungsweise das Optimierungspotential der Wärmeverteilung durch den Einsatz einer Werkzeugbeschichtung.

In Zusammenarbeit mit der Meding GmbH sowie der Canto GmbH werden nach erfolgreich abgeschlossenen Voruntersuchungen geeignete Injektoren in ein seriennahes Spritzgießwerkzeug eingebracht. Eine geeignete Gassteuerung inklusive Kommunikation mit der Spritzgießmaschine bildet hierbei die Basis für die Weiterentwicklung zur Serienreife.

### Weitere Informationen:

Alexander Paskowski, B.Eng.  
Tel.: +49 (0) 23 51.10 64-104  
paskowski@kunststoff-institut.de

Gefördert durch:



# InfraSurf

## **Analytische Methoden für Grenzflächen- und Werkstoffcharakterisierung im Bereich der Oberflächentechnik in der Kunststoffverarbeitung.**

Die Anschaffung von Schichtanalytik und Synthese von Precursorchemie zur Entwicklung von Hochleistungsschichten steht im Vordergrund des Projektes InfraSurf. Geplant sind Investitionen in:

- ☒ Rasterelektronenmikroskopie
- ☒ Nanoindentation
- ☒ Röntgenfluoreszenzanalyse
- ☒ Laborausstattung

Das übergeordnete Ziel der KIMW-Forschung gGmbH ist die Verbesserung der Prozessabläufe im Bereich der Kunststoffverarbeitung hinsichtlich Energieeffizienz, Standzeit der Werkzeuge, Zykluszeit sowie der Formteilqualität durch den Einsatz funktionaler Werkzeugbeschichtungen. Durch diese Schichtsysteme bietet sich ein enormes Einsparungspotential für Unternehmen entlang der Wertschöpfungskette „Kunststoff“, aber auch andere Branchen, bei denen sich durch Schichtsysteme Innovationspotentiale anheben lassen, werden adressiert. Durch das Investitionsprojekt wird ein Ausbau der Forschungsinfrastruktur mit Analysegaräten ermöglicht, um die praxisrelevante Weiterentwicklung der CVD-Schichtsysteme und der dazugehörigen Prozesstechnik zu ermöglichen.

Die geplante Infrastruktur dient zur Analyse und Charakterisierung von Beschichtungen, die im Bereich thermische Barriere, Dünnschichtsensorik, resistive Schichtheizung oder Korrosionsschutz angewendet werden. Die eingesetzten Materialien und Schichten müssen klare Anforderungen an Reinheit, mechanische Stabilität und verschiedene physikalische Eigenschaften erfüllen. Diese nachzuweisen ist ein wichtiger Eckpfeiler der For-

schung auf diesem Gebiet. Durch die Forschung im Kontext mit experimentellen Ergebnissen, können veröffentlichte Forschungsergebnisse aufgewertet sowie wissenschaftlich belastbarer gestaltet werden.

Die Charakterisierung der Schichten beginnt mit der äußeren bzw. optischen Betrachtung der Oberfläche. Dafür bietet sich die Digitalmikroskopie an, das gröbere Fehlstellen erkennen lässt und erste Rückschlüsse auf Homogenität und Oberflächenbeschaffenheit erlaubt. Für die Überprüfung des Schichtaufbaus hinsichtlich der Morphologie und der Grenzschichten im Submikrometerbereich ist ein Rasterelektronenmikroskop (REM) notwendig. Zur Messung mechanischer Eigenschaften ist der Einsatz eines Geräts zur Nanoindentation geplant. Hiermit lassen sich insbesondere mechanische Kenngrößen von Dünnschichten ermitteln. Speziell die Haftung, Härte und das E-Modul sind von besonderem Interesse zur Einschätzung der späteren Eignung in industriellen Anwendungen.

Die Funktionen der Schichten sind neben ihrer Topographie und den mechanischen Eigenschaften maßgeblich von der Zusammensetzung abhängig. Diese können mittels Röntgenfluoreszenzanalyse (RFA) am effektivsten bewältigt werden. Mittels dieses Verfahrens ist es nicht nur möglich eine große Anzahl von Elementen qualitativ sowie quantitativ (zerstörungsfrei) nachzuweisen, sondern auch durch eine entsprechende Kalibrierung die Schichtdicken zu bestimmen. Ausgehend von diesen Vorteilen stellt RFA eine effizientere Investition in unsere Forschungsinfrastruktur dar.

### **Weitere Informationen:**

Dr. rer. nat. Mohamed Mahmoud  
Tel.: +49 (0) 23 51.6 79 99-14  
mahmoud@kunststoff-institut.de

Gefördert durch:



Die Landesregierung  
Nordrhein-Westfalen



# IsoCer

## Elektrische Isolation durch keramische Dünnschichten zur Abschirmung von Heizleiterschichten auf Werkzeuoberflächen in der Kunststoffverarbeitung.

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

Die gewonnenen Erkenntnisse können dann in verschiedenen Anwendungen, bei denen eine mediendichte und galvanische Abtrennung der Werkzeuoberfläche von einer weiteren Funktionsschicht oder dem verarbeiteten Material benötigt wird, genutzt werden. Als Beispiel sei hier die resistive dynamische Temperierung von Spritzgießwerkzeugen genannt, welche es ermöglicht, bestimmte Bereiche der Werkzeuginnenwand mit möglichst wenig Energieaufwand und schneller Heizrate aufzuwärmen, um die Entstehung von Oberflächenfehlern im Spritzgussverfahren zu vermeiden bzw. effektiv zu kaschieren und die bestmögliche Oberflächenqualität des Bauteils zu erreichen.

Die benötigten Schichten werden durch die CVD-Technik und durch Anwendung verschiedener plasmagestützter Abscheidungsverfahren aufgebracht. Dieser Prozess nutzt Precursoren, die sich in einem Temperaturbereich von 300-500 °C zu oxidkeramischen Materialien zersetzen.

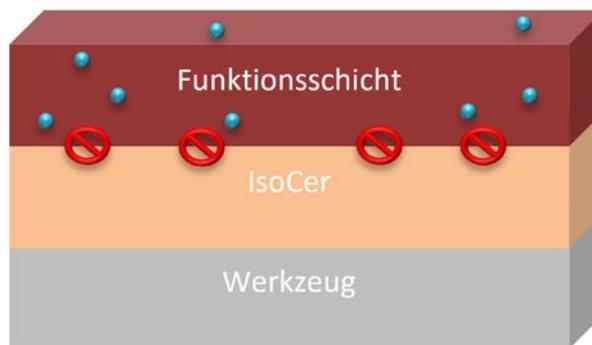


Abbildung: Darstellung der galvanischen Trennung.

Die Untersuchungen der in diesem Vorhaben relevanten Schichteigenschaften sind ein Hauptaspekt des Projekts. Um die Defekte in der Isolationsschicht nachzuweisen, werden Untersuchungen mittels Impedanzspektroskopie und Stromdichtepotentialmessung mittels Potentiostat durchgeführt.

Durch die Kooperation mit der Ruhr-Universität Bochum wird zudem die Vernetzung zwischen Industrie und Hochschulen weiter ausgebaut und der Knowhow-Transfer durch den Austausch von Mitarbeitern, die so in neuen Methoden der Schichtanalytik geschult werden können, gefördert.

### Weitere Informationen:

Dr. rer. nat. Mohamed Mahmoud  
Tel.: +49 (0) 23 51.6 79 99-14  
mahmoud@kunststoff-institut.de

Gefördert durch:



Die Landesregierung  
Nordrhein-Westfalen



# KeraIn

## Integration von thermisch isolierenden Keramiken zur punktuellen Manipulation des Wärmehaushaltes im Spritzgießprozess.

Am 01.04.19 startete das Projekt KeraIn, mit dem sich die KIMW-F das Ziel gesetzt hat Bindenähte auf Hochglanzoberflächen zuverlässig zu kaschieren. Unterstützt wird die KIMW-F bei diesem Vorhaben durch den Formenbau Althaus, dem Unternehmen NovoPlan und der MicroCeram GmbH. Hierzu werden thermisch isolierende Werkstoffe in die Oberfläche der Kavität eingesetzt, mit dem Ziel die Werkzeugwandtemperatur anzuheben. Eine Abformung des Einlegers wird durch eine dünne gleichmäßige Beschichtung vermieden. Im Fokus des Projektes stehen im Besonderen Sichtbauteile aus amorphen Thermoplasten.

Da das neue Verfahren ohne zusätzliche Anlagentechnik auskommt und auch keine zusätzliche Energie in den Prozess eingebracht wird, kann der Spritzgussprozess für Formteile mit hohen Anforderungen an die Oberfläche energieeffizient gestaltet werden. Ein Vorwärmen der Oberfläche, wie es bei variothermen Verfahren die Regel ist, entfällt. Die Steigerung der Werkzeugwandtemperatur wird durch die Kunststoffschmelze selbst hervorgerufen. Durch die Anwendung von partiellen Einlegern zur thermische Isolierung kann das Verfahren auch auf Spritzgießwerkzeuge mit größeren Kavitäten übertragen werden.

Bestandteil der derzeitigen Forschung ist die Entwicklung einer haftfesten Beschichtung, die sich sowohl auf dem Einleger als auch auf dem Werkzeugstahl gleichmäßig applizieren lässt. Des Weiteren werden verschiedene Werkstoffkombinationen hin-

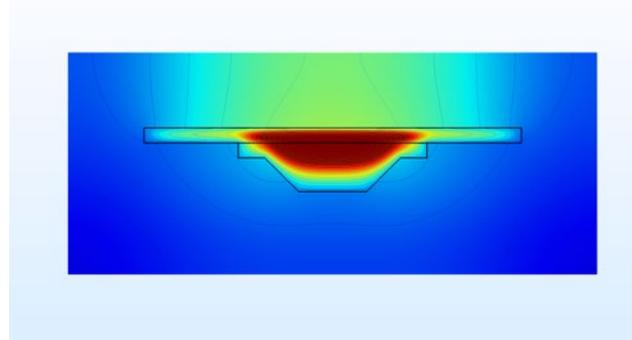


Abbildung: Darstellung einer thermischen Simulation eines Einlegers.

sichtlich ihrer Eignung untersucht. Angestrebt wird die Verwendung von branchenüblichen Werkzeugstählen. Um vorab eine Aussage über die Eignung der einzelnen Werkstoffe tätigen zu können, werden im Zuge dessen umfangreiche thermische Simulationen durchgeführt. Bei der Auslegung der Einleger wird darauf geachtet den Spritzgießprozess nicht negativ zu beeinflussen.

Durch eine Umsetzung des Verfahrens an einem realen Formteil, wird im Verlauf des vom BMWi geförderten Projektes die Serientauglichkeit in der Praxis nachgewiesen. Zu diesem Zweck wird eine Formteilkavität mit der neuen Technologie angefertigt und von der KIMW-F auf einer Spritzgießmaschine abgemustert. Anschließend erfolgt die Vermessung der Formteile durch unterschiedliche Messverfahren.

### Weitere Informationen:

Patrick Engemann, M.Sc.

Tel.: +49 (0) 23 51.6 79 99-24

engemann@kunststoff-institut.de

Gefördert durch:



Gefördert durch:

Bundesministerium für Wirtschaft und Energie

aufgrund eines Beschlusses der Deutschen Bundestage

## MediMold 2

### **Funktionelle Bauteile mit direkt eingespritzten metallischen Leiterbahnen und Bauteile mit Kontaktierungselementen.**

Zur Herstellung von immer komplexeren Kunststoffbauteilen, bei denen immer mehr Funktionen innerhalb des Bauteils abgedeckt werden, stellt das „Metalldirekteinspritzen“ heutzutage ein innovatives Verfahren dar. Auf diese Weise ist es möglich, kostengünstige Hybridbauteile in nur einem Arbeitsvorgang herzustellen. Im Zuge des Projektes sind von dem Konsortium zwei unterschiedliche Demonstratorbauteile erdacht worden, welche die vielfältigen Anwendungsmöglichkeiten des Metallspritzgusses in diesem Bereich darstellen sollen.

Bei dem Demonstratorbauteil 1 ist eine Folie mit kapazitivem Taster hintspritzt und dieser anschließend über die Metallschmelze kontaktiert worden (siehe Abbildung 1)

Aufgrund der Verarbeitungstemperatur und der physikalischen Eigenschaften der Metallschmelze stellte sich dies zunächst als relativ komplexes Unterfangen heraus, konnte schlussendlich aber verfahrenstechnisch gelöst werden. Diese Technik ermöglicht eine einfachere Einbindung solcher und ähnlicher Bauteilkomponenten im modernen Fertigungsprozess. Bei dem zweiten Demonstratorbauteil lag der Fokus auf der Kontaktierung kleiner Einlegeteile (hier Federstifte) sowie den unterschiedlichen Ausprägungsformen der Schmelze hinsichtlich dreidimensionalen Leiterbahnen und Kontaktierungspunkten (siehe Abbildung 2).

Innerhalb dieses Projektes konnten darüber hinaus die Grundlagen für zahlreiche weitere Ideen gelegt und teilweise in (geplanten) Nachfolgeprojekten umgesetzt werden.



Abbildung 1: Kontaktierung eines kapazitiven Tasters

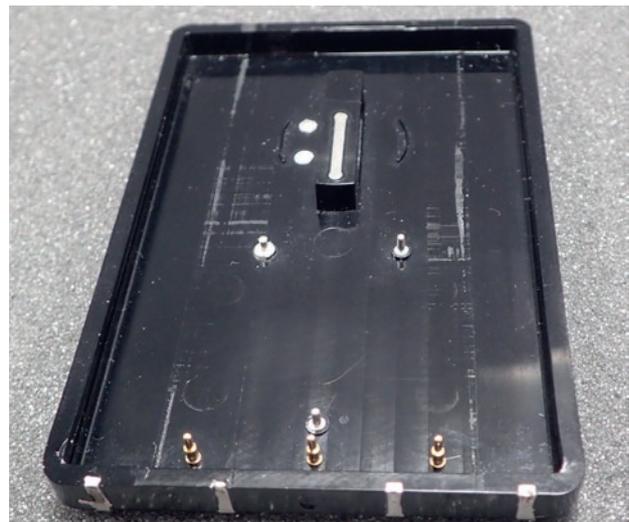


Abbildung 2: Kontakte, Kontaktierungen und Leiterbahnen

### **Weitere Informationen:**

Tom Figge, B.Eng.

Tel.: +49 (0) 23 51.6 79 99-28

figge@kunststoff-institut.de

Gefördert durch:



zugrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages

# Metalldirekt Antenne

## Anforderungen, Herstellung und Überprüfung eines Demonstrators mit direkteingespritzter Kommunikationsschnittstelle.

Anknüpfend an die im vorherigen Artikel „MediMold 2“ erwähnte Anwendung des Metalldirekteinspritzens zur Herstellung von Leiterbahnen und Kontaktierungselementen geht das Konsortium innerhalb des vorliegenden Projekts noch einen Schritt weiter. Dieses Verfahren soll im laufenden Projekt „Metalldirekt Antenne“ dazu verwendet werden, eine Kommunikationsschnittstelle direkt in ein Demonstratorbauteil einzubringen. Im Gegensatz zu dem technischen System der Leiterbahnen müssen hier weitere Details der Systemumgebung Beachtung finden. Neben der Positionierung der Antenne zur verwendeten Ansteuerungselektronik müssen auch die Umwelteinflüsse im Einsatzbereich und der verwendete Kunststoff berücksichtigt werden. Dies betrifft aber nicht nur den Kunststoff selbst, sondern darüber hinaus auch noch die Wirkung der eingesetzten Füllstoffe und Additive auf das Antennensystem. Innerhalb der Systemgrenzen kann es je nach Einsatzgebiet außerdem zu weiteren Störfaktoren, wie zum Beispiel Feuchtigkeit oder physischen Hindernissen kommen, deren Einfluss auf die elektromagnetischen Wellen in die Auslegung der Antenne einkalkuliert werden muss. Es muss also je nach Einsatzbereich eine für den Anwendungsfall passende Antenne entworfen, modelliert, simuliert und im Anschluss vermessen werden. Zu diesem Zeitpunkt liegt eine aus elektrotechnischer Sicht perfekt ausgelegte Antenne für den Anwendungsfall vor. Dieses Antennenmodell muss nachfolgend auf das Fertigungsverfahren und die dafür verwendete Werkzeugtechnik angepasst werden. Durch die spezifischen Eigenschaften der Metallschmelze, wie zum Beispiel der niedrigen Viskosität im schmelzeflüssigen Zu-

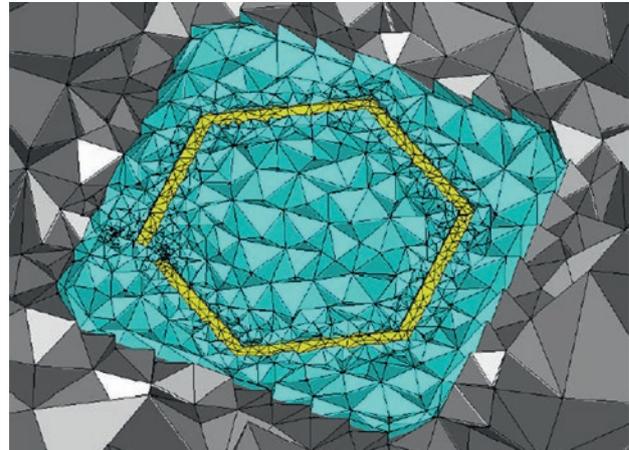


Abbildung: Antenne in Sechseck-Geometrie im Kunststoffbauteil

stand oder der hohen Wärmeleitfähigkeit müssen in diesem notwendigen Folgeschritt Anpassungen vorgenommen werden. Neben der Abdichtung der einzuspritzenden Metallstrukturen betrifft dies vor allem die Geometrie des Antennensystems (siehe Abbildung). Die Anpassung der Antennengeometrie hinsichtlich einer fließoptimierten Variante liegt hier nah. Dabei muss am Ende immer der, für das gesamte Verfahren, günstigste Kompromiss gefunden werden. Genau diesem Prozess soll innerhalb des Projektes nachgekommen und hieraus ein Demonstratorbauteil generiert und im Anschluss gefertigt werden.

Eine weitere mögliche Anwendung des Verfahrens „Metalldirekteinspritzen“ ist die intelligente Abfuhr von Wärme aus kritischen Produkt- bzw. Bauteilbereichen.

### Weitere Informationen:

Tom Figge, B.Eng.  
 Tel.: +49 (0) 23 51.6 79 99-28  
 figge@kunststoff-institut.de

Gefördert durch:



Gefördert durch:

Bundesministerium für Wirtschaft und Energie

aufgrund eines Beschlusses der Deutschen Bundesregierung

# Nanolight

## Entwicklung einer hochfokussierenden statischen Lichteinheit für Fahrzeugscheinwerfer sowie eines großtechnischen Produktionsverfahrens.

Fahrzeugscheinwerfer erfüllen eine wichtige Funktion im Fahrzeug. Nachts liegt die Verkehrsdichte bei 20%, jedoch ereignen sich 40% aller tödlichen Unfälle bei Dunkelheit. Die Hersteller arbeiten kontinuierlich an der Verbesserung der Fahrbahnausleuchtung, um das Unfall- und Verletzungsrisiko zu minimieren. Im Trend liegen aktuell adaptive Fernlichtsysteme, die die Beleuchtungsverteilung gezielt auf die jeweilige Situation anpassen. Nachteilig ist allerdings deren Komplexität, da sie aus einem geordneten System bestehen, das Sensor- und Kameratechnik zur Ansteuerung der Scheinwerfermatrix nutzt. Die stetige Variation der Lichtverhältnisse kann für den Fahrzeugführer als anstrengend empfunden werden.

Im Rahmen des im April 2019 gestarteten ZIM Projekts soll nun ein System entwickelt werden, welches sich im Gegensatz zum Industrietrend nicht auf die Entwicklung der Fernlichteinheiten, sondern auf die Optimierung des standardisierten Abblendlichtes konzentriert. Es soll ein LED basiertes, statisches System entwickelt werden, das die Ausleuchtungsdistanz vergrößert und dabei die Blendwirkung vermeidet. Dies soll durch eine schärfere Abgrenzung der vom Gesetzgeber vorgeschriebenen Hell-Dunkel-Grenze erreicht werden.

Ziel ist es, das nicht zu verhindernde Streulicht der Lichtquelle zu fokussieren. Die technische Basis dazu ist eine sog. optische Lamelle, bzw. Rasterlamelle. Diese Systeme verfolgen zwei Prinzipien.

Reflektor mit LEDs und Nanolight Technologie

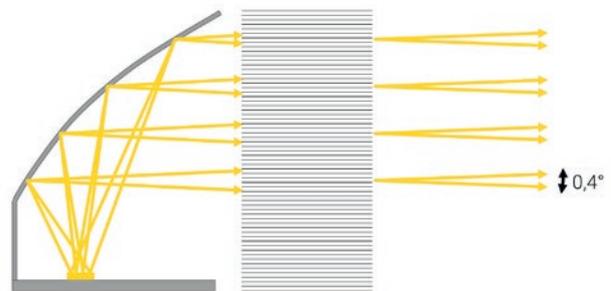


Abbildung: Schematische Darstellung der optischen Lamelle

Bei der optischen Lamelle wird das Licht durch ein Kunststoffelement geleitet. Die Oberflächen sind mit jeweils einer strukturierten und einer absorbierenden Oberfläche ausgestattet. Die einzelnen Lamellen werden als Stapel vor der Lichtquelle positioniert und sorgen dafür, dass der untere Blendenbereich fokussiert und der Winkel des ausgestrahlten Lichtfächers reduziert wird.

Bei der Rasterlamelle wird ein Trägermaterial mit einer reflektierenden und einer absorbierenden Schicht versehen. Dazwischen befindet sich ein Luftspalt, durch welchen das Licht geleitet und fokussiert wird.

Es soll eine Materialauswahl getroffen werden, die die Anforderungen an den Kunststoff berücksichtigt und der dafür notwendige Formgebungsprozess ausgewählt und ausgelegt werden.

### Weitere Informationen:

Dipl.-Ing. (FH) Matthias Militsch  
Tel.: +49 (0) 23 51.10 64-105  
militsch@kunststoff-institut.de

Gefördert durch:



# Replicated Metal Molds

## Ein neues Verfahren zur Herstellung metallischer Werkzeugeinsätze für optische Kunststoffbauteile.

Optische Komponenten sind grundlegende Bestandteile vieler technischer Systeme unterschiedlichster Funktionalität. Viele alltägliche Anwendungen wären ohne hochintegrierte optische Systeme nicht vorstellbar. Hochpräzise optische Bauteile mit mikrostrukturierten Oberflächen ersetzen bzw. ergänzen in zunehmendem Maße auch klassische optische Komponenten wie Linsen und Spiegel. Optische Systeme und Komponenten aus Kunststoff haben sich dabei für viele Anwendungen durchgesetzt. Sie sind wirtschaftlicher in der Herstellung als vergleichbare Komponenten aus Glas und lassen sich in ihren chemischen, optischen und physikalischen Eigenschaften der Anwendung entsprechend flexibel einstellen.

Aufgrund des Trends zu immer weiterer Individualisierung des Endprodukts hat sich eine Diskrepanz zwischen den hohen Fertigungskosten eines Spritzgießwerkzeugs und den benötigten Stückzahlen entwickelt. Eine Antwort darauf besteht in der Verwendung von Werkzeugeinsätzen, die mit verhältnismäßig geringem Aufwand ausgetauscht werden können. Derzeit sind jedoch deren Oberflächeneigenschaften noch nicht geeignet, den hohen Anforderungen optischer Komponenten zu genügen.

Bei dem im Rahmen des Projekts zu entwickelnden Verfahren sollen Werkzeugeinsätze durch replikative Techniken beliebig oft reproduziert werden können. Ihre Abformung soll dabei von Urformen abgeleitet werden, deren Dimensionen und Oberflächeneigenschaften denen des Bauteils entsprechen. Ziel des Projekts ist es, in diesem Prozess Formtreuen und Oberflächenqualitäten zu erreichen, die den Qualitätsanforderungen optischer Kunststoffkomponenten entsprechen.

Die ersten Schritte sind im Herbst 2019 erfolgt: Die Topographietreue des ersten Abformungsschrittes wurde an einem technischen Bauteil mittels interferometrischer Topographieuntersuchung nachvollzogen; der dazugehörige Werkzeugeinsatz wird in Kürze erzeugt und unter Praxisbedingungen getestet.



Abbildung 1: Oberflächenstruktur eines optischen Bauteils, generiert aus 3D-Daten (links); Silikonabformung (rechts)

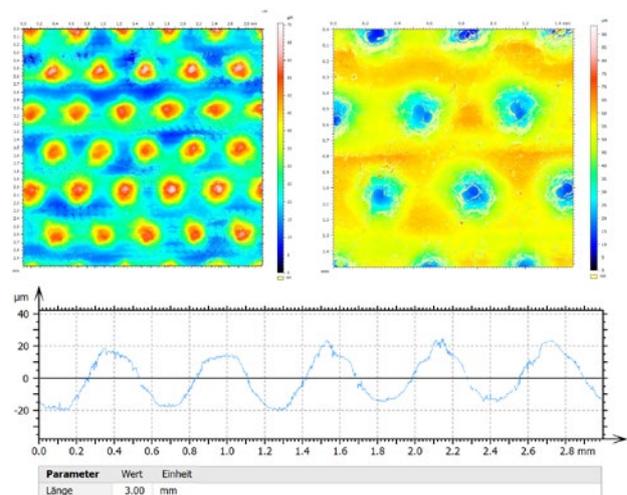


Abbildung 2: Topographie des gedruckten Positivs (links) und der Silikonabformung (rechts); Profilmessung des Positivs (unten)

Projektpartner sind das Institut für Mikrosystemtechnik IMTEK der Universität Freiburg, polyoptics GmbH aus Kleve, 4D Concepts GmbH aus Groß-Gerau und die gemeinnützige KIMW Forschungs-GmbH. Die KIMW-F ist dabei an der Werkzeugkonzeption, an der Charakterisierung der Werkzeugeinsätze sowie an der Prozessintegration unter industrienahen und -relevanten Bedingungen beteiligt.

### Weitere Informationen:

Dr. Andreas Balster  
Tel.: +49 (0) 23 51.10 64-801  
balster@kunststoff-institut.de

Gefördert durch:



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

# SUCRE

## Entwicklung einer belagreduzierenden und verschleißschützenden MOCVD-Beschichtung zur Beschichtung von hochwärmeleitfähigen Stählen.

Aufgrund ihrer Neigung, bei erhöhten Temperaturen unter sauerstoffhaltiger Atmosphäre Oxidschichten auszubilden, können hochwärmeleitfähige Stähle nur mit begrenzten Möglichkeiten CVD beschichtet werden. Das Ziel im Projekt SUCRE ist die Entwicklung eines Schichtsystems für hochwärmeleitfähige Stähle, ohne dass sich eine Oxidbildung auf der Oberfläche des Stahls oder eine Verschlechterung seiner mechanischen Eigenschaften während der Prozessführung einstellt. Ein Aspekt des Schichtsystems liegt hierbei auf der Reduktion von Belagbildung, ausreichendem Verschleißschutz und darüber hinaus auf der Verbesserung des Entformungsverhaltens. Zudem soll das Schichtsystem hinsichtlich einer maximalen Mediendichtigkeit weiterentwickelt werden, um einen Einsatz in Kühlkreisläufen zu ermöglichen.

Die in dem Projekt eingesetzte MOCVD-Technologie (Metallorganische CVD) ermöglicht aufgrund einer speziellen Precursorchemie Beschichtungstemperaturen unter 500 °C. Hierdurch können die in der Kunststoffverarbeitung üblichen Formenstähle ohne Neuhärtung beschichtet werden. Die genutzte Technologie und Precursorauswahl ermöglicht es, dreidimensionale Oberflächen von Formeinsätzen mit einer schützenden Keramik zu beschichten. Hierbei soll die Nutzung eines Multilagensystems (vgl. Abbildung) die gewünschten Eigenschaften erzielen. Mithilfe des Multilagenaufbaus können Barriereigenschaften verstärkt und innere Spannungen gesenkt werden. Die Porosität der Schichten und deren strukturelle Eigenschaften können anschließend mit Hilfe elektrochemischer Methoden charakterisiert werden.

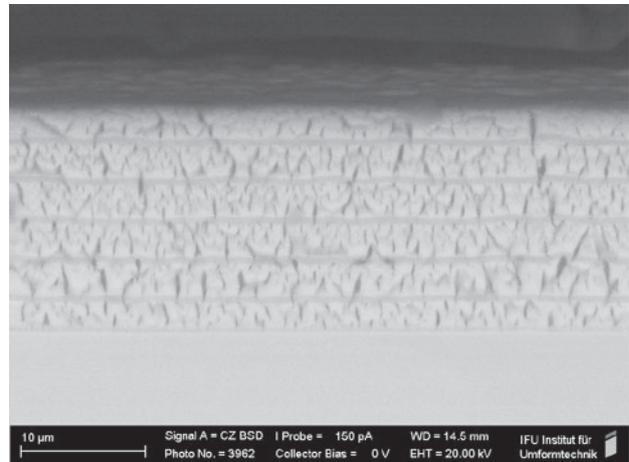


Abbildung: Rasterelektronenmikroskop-Aufnahmen von Querschnitten einer in der KIMW-F hergestellten Kombinationsschicht aus kristallinem YSZ und amorphem PDZ nach 6 Beschichtungszyklen

Die KIMW-F wird in diesem Projekt die Entwicklung des Schichtsystems durchführen, die Schichten aufbringen und evaluieren. Die Technologie wird sich am Ende der zweijährigen Projektlaufzeit im Produktionsbetrieb hinsichtlich Belagreduktion, Verschleißschutz, Entformungsverhalten und Mediendichtigkeit prüfen lassen.

Das Konsortium setzt sich weiterhin aus den Unternehmen Kisico Kirchner, Simon & Co. GmbH und GHD-Präzisions-Formenbau GmbH & Co. KG zusammen. Hierdurch können Kompetenzen in den Bereichen Werkzeugbau, Beschichtungstechnik und Spritzgießtechnik vereint und die gesamte Wertschöpfungskette optimal abgebildet werden.

### Weitere Informationen:

Dipl.-Ing. Marko Gehlen  
Tel.: +49 (0) 23 51.10 64-124  
gehlen@kunststoff-institut.de

Gefördert durch:



# TBC-Dünnwand

## Höhere Ressourceneffizienz durch erweiterte Dünnwandspritzgießtechnik mittels thermischer Barriere-Schichten (TBC) im Werkzeug.

Das Projekt TBC-Dünnwand beschäftigt sich mit der Entwicklung von thermischen Barriere-Schichten für Werkzeugoberflächen. Das Ziel solcher Beschichtungen ist eine Verzögerung der Wärmeübertragung vom Kunststoff in das Werkzeug während der Formfüll- und Abkühlphase des Spritzgießprozesses von dünnwandigen Bauteilen.

Die Wärmeleitfähigkeit von Yttrium stabilisiertem Zirkoniumdioxid (YSZ) ist um ein Vielfaches geringer als die der Werkzeugstähle, jedoch sind die Wärmedehnungskoeffizienten beider Materialien sehr ähnlich. Dies macht YSZ zur idealen Beschichtung von Spritzgießwerkzeugen.

Ein wichtiger Vorteil der CVD (Chemical Vapor Deposition) Technologie gegenüber dem PVD (Physical Vapor Deposition) Verfahren ist die 3D Fähigkeit dieses Prozesses, so dass auch Werkzeuge mit komplexer Geometrie beschichtet werden können. Allgemein wird die Abscheiderate durch die chemische Reaktionsgeschwindigkeit und die Menge der Reagenzien an einer bestimmten Position im Reaktor beeinflusst. Mehrere Versuchsserien mit unterschiedlichen Temperaturen (Abbildung 1) und Drücken wurden mit einem Heißwandreaktor und flüssigen metallorganischen Vorläufern von der KIMW-F durchgeführt, um die Abscheiderate der kristallinen Schichten in Abhängigkeit der Prozessparameter zu ermitteln. Die abgeschiedenen Schichten wurden mittels Kalottenschliff, REM/EDX, RFA, XPS und Impedanzspektroskopie hinsichtlich ihrer chemischen und physikalischen Eigenschaften charakterisiert. Eine klare Tendenz wurde festgestellt: je höher die Temperatur und/oder der Druck während der Beschichtung sind, umso höher sind Wachstumsrate und Porosität, wodurch die Thermoisolationswirkung der Schicht zunimmt (Abbildung 2).

In Zusammenarbeit mit der Hochschule Darmstadt als zweite Forschungsstelle im Projekt wird ein Versuchswerkzeug entwickelt und beschichtet.

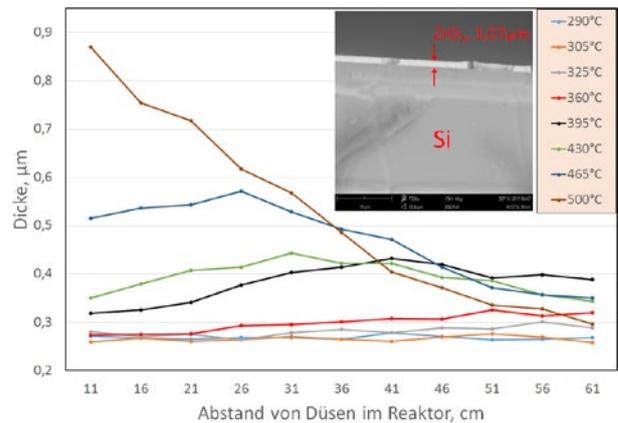


Abbildung 1: Schichtdicke vs. Position im Reaktor für verschiedene Prozesstemperaturen und REM Aufnahme der YSZ Schicht auf Si Substrat

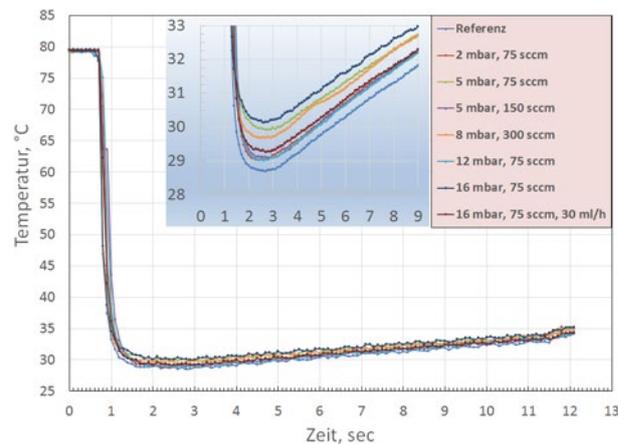


Abbildung 2: Kontakttemperaturverlauf vs. Prozessdruck für YSZ (Schichtdicke 0,7 µm)

In anschließenden Musterungen werden die thermoisolierenden Eigenschaften der Schicht sowie weitere Oberflächeneffekte zwischen der Schicht und der Kunststoffschmelze (z.B. Entformungskraft, Tribologie, Rheologie) untersucht.

### Weitere Informationen:

Dr.-Ing. Anatoliy Batmanov  
Tel.: +49 (0) 23 51.6 79 99-13  
batmanov@kunststoff-institut.de

Gefördert durch:



# Übersicht vorwettbewerblicher Eigenforschungsprojekte

## **Simulation von Heizleiterfolien**

- ▣ Multiphysik-Simulation von Heizleiterfolien mit Versuchsabgleich
- ▣ Projektleiter: Ameya Kulkarni, M.Sc.

## **Haftkraftmessung**

- ▣ Ermittlung der Haftkräfte im Spritzguss für die Verpackungsindustrie zur Bestimmung der optimalen Werkzeugoberflächen
- ▣ Projektleiter: Patrick Engemann, M.Sc. und Vanessa Frettlöh, M.Sc.

## **Mechanische Eigenschaften von Polyolefinen**

- ▣ Untersuchung der Universalhärte und des Eindringkriechens von Polyethylen und Polypropylen bei Verarbeitung mittels thermischer Barriere-Schichten.
- ▣ Projektleiter: Dipl.-Ing. Frank Mumme

## **3D-Hartstoffschichten**

- ▣ Abriebfeste und harte Beschichtungen mit neuen Precursorkonzepten
- ▣ Projektleiter: Dipl.-Ing. Frank Mumme

## **Analytik an dünnen Schichten**

- ▣ Analytik an dünnen Schichten am Beispiel carbidischer Beschichtungen (RFA, XPS, Nanoin-denter und REM)
- ▣ Projektleiter: Dr. rer. nat. Mohamed Mahmoud

# Simulation von Heizleiterfolien

## Multiphysik-Simulation von Heizleiterfolien mit Versuchsabgleich.

Die Spritzgießtechnik ist bekannt für die Fertigung von komplexen Kunststoffbauteilen. Um die dort auftretenden Oberflächenfehler und Bindenähte zu kaschieren, ist eine optimierte Temperaturverteilung im Werkzeug erforderlich. Durch die Verwendung einer Heizfolie im Werkzeug kann eine höhere Kontakttemperatur auf der Werkzeugoberfläche erreicht werden. Innerhalb dieser Forschungsarbeit sind Geometrien von Heizleiterfolien berechnet worden, um einen geeigneten Stromfluss sowie eine homogene Temperaturverteilung zu erzielen. Unter Zuhilfenahme des Simulationsprogrammes COMSOL Multiphysics®, speziell der Module „AC/DC“ und „Heat Transfer“ sind die Simulationen durchgeführt worden. Als Randbedingung wurde eine Werkzeugwandtemperatur von 80°C festgelegt und eine vorher festgelegte elektrische Spannung (V) an der Folie angenommen, um daraus den Stromfluss (A) und die Temperaturverteilung durch die Folie abzuleiten bzw. zu berechnen. Mit diesen Kenntnissen ist es möglich, schon im Vorfeld zu ermitteln, wie viel Spannung und Strom benötigt wird, um die gewünschte Werkzeugoberflächentemperatur zu erreichen.

Abbildung 1 zeigt die ermittelte Temperaturverteilung in der Folie und ermöglicht die Temperatur-Hotspots zu erkennen und zu vermeiden, da die Heizleiterfolie durch die thermische Ausdehnung an diesen Stellen schneller versagt.

In Abbildung 2 ist die erreichte Temperatur der Werkzeugoberfläche in der Simulation zu erkennen. Im Vergleich zeigt Abbildung 3 eine Wärmebildkamera, mit welcher die Temperaturen aus dem Versuch gemessen worden sind. Mit den Nachbearbeitungsmöglichkeiten von COMSOL Multiphysics® war es möglich die Messpunkte der Kamera auf die der Simulation zu übertragen und damit die Genauigkeit der Ergebnisse deutlich zu erhöhen.

Bei einem Vergleich von Simulation und praktischem Versuch entsprechen sich die Ergebnisse

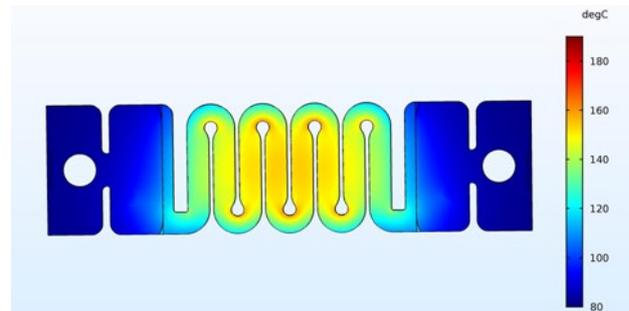


Abbildung 1: Temperaturverteilung durch die Heizleiterfolie

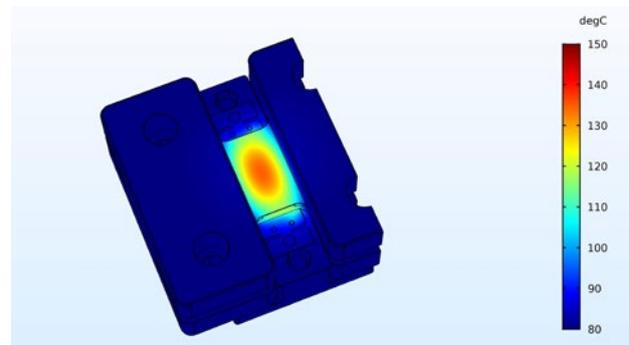


Abbildung 2: Temperaturverteilung durch das Werkzeug



Abbildung 3: Temperaturverteilung durch das Werkzeug mit Wärmebildkamera

nahezu. Im Anschluss an diese Erkenntnisse werden nun weitere Heizleiterfolien aus unterschiedlichen Materialien geprüft, um die Temperaturverteilung weiter zu optimieren.

### Weitere Informationen:

Ameya Kulkarni, M.Sc.

Tel.: +49 (0) 23 51.6 79 99-23

kulkarni@kunststoff-institut.de

# Haftkraftmessung

## Ermittlung der Haftkräfte im Spritzguss für die Verpackungsindustrie zur Bestimmung der optimalen Werkzeuoberflächen

Die Verpackungsindustrie ist ein großes Feld der Kunststoffbranche, bei dem die Prozesszeiten eine besonders relevante Rolle spielen. Durch Reduzierung der Entformungskräfte kann direkt Einfluss auf die Effizienz der Prozesse genommen werden. Da jedoch das konkrete Zusammenspiel von Kunststoff, Werkzeuoberfläche und Verarbeitungsparametern von entscheidender Bedeutung ist, führte die KIMW-F eine umfangreiche Untersuchung durch. Zum Einsatz kam hierbei das bereits bewährte Spritzgießtribometer, mit dem die Ablösemomente und Gleitintegrale durch Torsion im Spritzgießwerkzeug ermittelt werden können. Durch die Anwendung von wechselbaren Ronden können eine Vielzahl verschiedenster, im Markt verwendeten Werkzeuoberflächen und Beschichtungen effizient untersucht werden. Zur Messung wird die Ronde, die die Werkzeuoberfläche abbildet, gegenüber dem Formteil um 180° verdreht. Nach dem Ablösen des Formteils bis zum Abschluss der Drehung wird das Gleitintegral ermittelt. Im Fokus der Versuchsreihe standen thermoplastische Kunststoffe der Verpackungsindustrie. Die Messungen wurden mit in der Industrie üblichen Verfahrensparametern durchgeführt.

Messungen an in der KIMW-F applizierten Beschichtungen zeigen, dass bei der Verarbeitung von PP besonders kombinierte Schichten aus Siliziumoxid und Zirkoniumoxid zu reduzierten Haftkräften (siehe Abbildung) führen. Dies ermöglicht eine schnellere Entformung und damit wirtschaftlichere Prozesse. Ein verbessertes Gleiten des PP-Formteils ließ sich

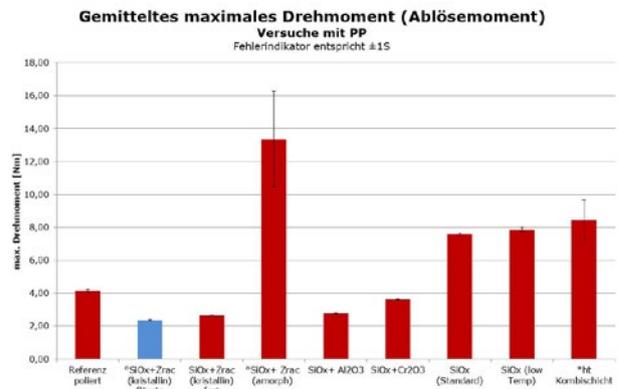


Abbildung: Ablösemomente bei der Verarbeitung von PP

insbesondere mit der Applikation einer kombinierten Schicht aus oxydischem Aluminium und Silizium erzielen. Die Versuche zeigen weiterhin, dass ungeeignete Werkzeuoberflächen die Anhaftung der Formteile zusätzlich noch verstärkt. Daher ist abhängig von der Kunststoffspezifikation eine individuelle Werkzeuoberfläche zu schaffen.

Durch die Messung der Haftkräfte zwischen Formteil und Kavität konnten die Effektivität der Schichten nachgewiesen und kundenspezifische Lösungen angeboten werden.

### Weitere Informationen:

Patrick Engemann, M.Sc.  
Tel.: +49 (0) 23 51.6 79 99-24  
engemann@kunststoff-institut.de

Vanessa Frettlöh, M.Sc.  
Tel.: +49 (0) 23 51.6 79 99-11  
frettlloh@kunststoff-institut.de

# Mechanische Eigenschaften von Polyolefinen

## Untersuchung der Universalhärte und des Eindringkriechens von Polyethylen und Polypropylen bei Verarbeitung mittels thermischer Barriere-Schichten.

Die Wirkung von Thermischen Barriere-Schichten im Spritzgießprozess ist Thema in verschiedenen aktuellen Förderprojekten der Forschungsstelle. Aufgrund der höheren Kontakttemperatur des Kunststoffformteils in beschichteten Werkzeugkavitäten wird Grenzschicht des Kunststoffes langsamer eingefroren. Der Fließquerschnitt wird vergrößert und infolge der höheren Schmelztemperatur die Viskosität des Kunststoffes reduziert.

Der Einfluss auf die Ausbildung der Morphologie des Kunststoffes wurde bisher wenig untersucht. In einer studienbegleitenden Arbeit wurde daher der Einfluss von thermischen Barriere-Schichten auf die mechanischen Eigenschaften von Kunststoffbauteilen untersucht.

Die mechanischen Eigenschaften von Werkstoffen lassen sich elegant mittels Nanoindentation beschreiben. Der resultierende Kraftwegverlauf ermöglicht die Erfassung einer Vielzahl von mechanischen Kenngrößen des untersuchten Substrates. In der hier dargestellten Arbeit wurden mit TBC-Schichten abgemusterte Kunststoffbauteile aus PP einer Härtemessung zur Bestimmung der Universalhärte (Martens) durchgeführt (Abbildung 1).

Die durchgeführten Messungen zeigen für den Kunststoff PP einen signifikanten Anstieg der Oberflächenhärte im Bereich der Randzone des spritzgegossenen Kunststoffbauteiles für Varianten aus beschichteten Werkzeugoberflächen. Die Standardabweichung der Messwerte konnte durch die Be-

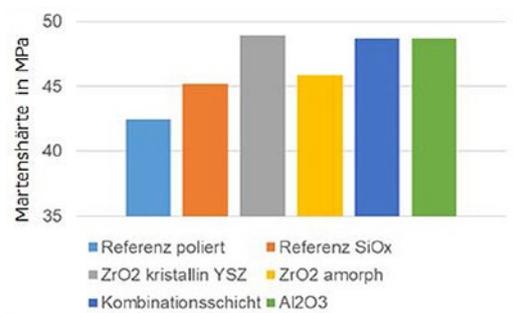


Abbildung 1: Martenshärte für PP in Abhängigkeit von der Verwendung unterschiedlicher Metalloxidschichten

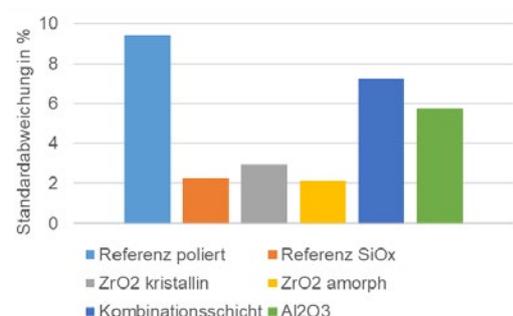


Abbildung 2: Standardabweichung der Martenshärte für PP in Abhängigkeit von der Verwendung unterschiedlicher Metalloxidschichten

schichtungen ebenfalls deutlich eingegrenzt werden (Abbildung 2). Ursächlich ist hier der höhere Anteil kristalliner Phasen in der Kunststoffrandschicht. Zukünftige Arbeiten werden sich mit den Auswirkungen höherer Kristallitanteile auf Bauteileigenschaften von Verpackungsprodukten beschäftigen.

### Weitere Informationen:

Dipl.-Ing. Frank Mumme  
 Tel.: +49 (0) 23 51.10 64-139  
 mumme@kunststoff-institut.de

# 3D-Hartstoffschichten

## Abriebfeste und harte Beschichtungen mit neuen Precursorkonzepten.

Die chemische Gasphasenbeschichtung ermöglicht das beschichten komplexer Geometrien mit homogenen und gleichförmigen Schichten. Im besonderen der Einsatz metallorganischer Precursorchemie ermöglicht die Abscheidung einer Vielzahl von oxidischen, nitridischen, carbidischen, boridischen oder einer Mischung der selben bei Prozesstemperaturen unter 500°C. Hierfür werden empfindliche Precursorsysteme eingesetzt, die eine sichere Handhabung und die eine speziell ausgerüstete Precursorzuförderung und vakuumdichte Anlagen-ausstattung erfordert.

Für die Abscheidung z.B. boridischer Schichten wurden daher die für die metallische Schichtabscheidung eingesetzten Extruderfördereinrichtungen weiterentwickelt (Abbildung 1). Die Mischung relativ stabiler chemischer Komponenten erfolgt nun mittels inkrementeller Dosierung in einem angeschlossenen Mini-Reaktor. Die hierbei gebildete Precursorchemie ist hochreaktiv und extrem flüchtig. Zur sicheren Handhabung erfolgt die Produktion in einer Glovebox unter inerter Atmosphäre. Durch angeschlossene gasdichte Verrohrungen kann der Precursor an verschiedenen CVD Beschichtungsanlagen zur Schichtabscheidung zugeführt werden. Angestrebt werden Hartstoffschichten, die in erster Linie eine hohe Abriebfestigkeit sowie gute Spaltgängigkeit für Anwendungen in der Kunststoffverarbeitung aufweisen. Höchste Schichthärten stehen bei dieser Schichtentwicklung nicht im Vordergrund. Vielmehr soll erreicht werden, dass möglichst feinkristalline (nanoskalige) oder amorphe Schichten dargestellt werden, die auch eine hohe Mediendichtigkeit aufweisen. Aktuelle Entwicklungen für 3D fähige, carbidische und nitridische Schichten zeigen Schichthärten von ca. 21GPa bei guten Haft- und Abriebfestigkeiten, die mit modernen plasmagestützter PVD Hartstoffschichten (Abbildung 2) vergleichbar sind.

Potentiell ist die Abscheidung von Schichten mit einer Schichthärte von bis zu 40GPa angedacht. Dies entspricht einer Oberflächenhärte nach Vickers von ca. 3800. Für einen industriellen Einsatz ist es im



Abbildung 1 : Minireaktor mit 2-Komponenten Extruderzuförderung

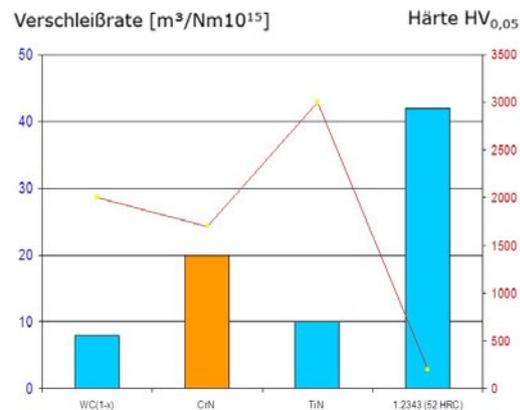


Abbildung 2: Abriebfestigkeit versus Schichthärte 3D-WC(1-x),PVD-TiN (3PE),PVD-CrN(Arc)

weiteren Wichtig, die genannten Schichteigenschaften mit einer guten Haftung auf Formenbaustähle und ausreichender Schichtdicke abzuscheiden.

### Weitere Informationen:

Dipl.-Ing. Frank Mumme  
Tel.: +49 (0) 23 51.10 64-139  
mumme@kunststoff-institut.de

# Analytik an dünnen Schichten

## Analytik an dünnen Schichten am Beispiel carbidischer Beschichtungen (RFA, XPS, Nanoindenter und REM).

Die Analyse der Schichten gewinnt aufgrund der zunehmend angewendeten und entwickelnden Beschichtungen zunehmend an Bedeutung.

Die Röntgenfluoreszenzanalyse (RFA) ist eine schnelle und einfache Methode zur qualitativen und quantitativen Bestimmung der elementaren Zusammensetzung von Oberflächen. Zusätzlich ermöglicht die RFA die Messung der Schichtdicken nach jeweiligen Kalibrierungen. Allerdings können leichte Elemente, die leichter als Bor sind, mittels der RFA nicht nachgewiesen werden, da die Röntgenstrahlung dieser leicht absorbiert wird.

Eine elegante analytische Methode zur Untersuchung von beschichteten Probenkörper bietet die Röntgenphotoelektronenspektroskopie XPS (X-ray Photoelectron Spectroscopy). Dieses Gerät ermöglicht eine quantitative Elementzusammensetzung von Oberflächen. Im Vergleich zur RFA können alle Elemente außer Wasserstoff und Helium definiert nachgewiesen werden.

Nanoindenter ermöglichen die Untersuchung von mechanischen Eigenschaften der dünnen Schichten, die weniger als 1  $\mu\text{m}$  dick sind, ohne nennenswerte Einflüsse der darunter liegenden Substratwerkstoffes. Es wird eine Diamantspitze mit bekannter Geometrie in die zu prüfende Oberfläche hineingedrückt. Während des Versuchs werden die aufbrachte Eindringkraft sowie der Eindringweg der Spitze gleichzeitig gemessen. Durch die bekannte Geometrie der Prüfspitze und den Messdaten kann die Kontaktfläche, und in weiterer Folge die Härte und das E-Modul berechnet werden.

Das Rasterelektronenmikroskop (REM) wird für die Analyse von Oberflächentopographien und der Morphologie der Schichten verwendet. Bei dem ein Elektronenstrahl über das vergrößerte abzubildende Objekt gerastet wird und Wechselwirkungen der Elektronen mit dem Objekt zur Erzeugung eines Bildes des Objekts genutzt werden. Die EDX-Messung (Energy Dispersive X-ray) wird im Strahlen-

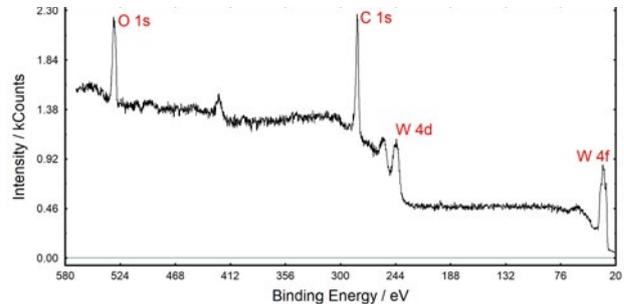


Abbildung 1: Darstellung eines XPS-Spektrums einer carbidischen Wolfram-Schicht.

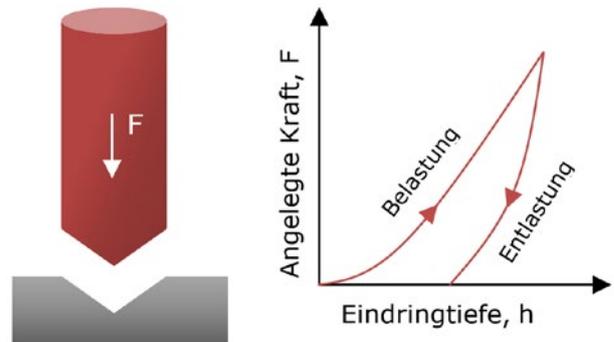


Abbildung 2: Messprinzip des Nanoindenters.

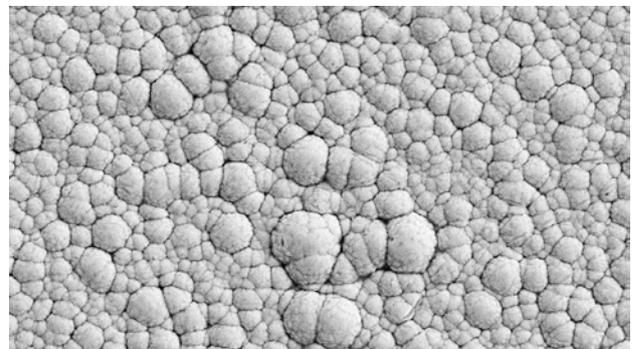


Abbildung 3: Morphologie einer carbidischen Wolfram-Schicht mittels REM.

gang des Elektronenmikroskops durchgeführt. Zur Elementbestimmung wird das Röntgenspektrum der mit Elektronen beschossenen Proben ausgewertet.

### Weitere Informationen:

Dr. rer. nat. Mohamed Mahmoud  
Tel.: +49 (0) 23 51.6 79 99-14  
mahmoud@kunststoff-institut.de

# Netzwerke

## **FOresIght**

☒ ZIM-Kooperationsnetzwerke

## **MUPAM**

☒ ZIM-Kooperationsnetzwerke

## **Forschung International**

☒ Zusammenarbeit mit der Region Okzitanien

## FOresight

### ZIM-Kooperationsnetzwerke

Als Mitinitiator beteiligt sich die KIMW-F am Netzwerk für Funktionsintegration und neue Oberflächen für das Automobil-Interieur der Zukunft. Im Vordergrund von FOresight stehen Unternehmen des Werkzeug-/Formenbaus, Zulieferer von Teilen und Komponenten, die die bidirektionale Kommunikation mit den OEMs sowie Tier-1-2 suchen und passgenaue Forschungs- und Entwicklungsprojekte anstreben.

Die KIMW-F beteiligt sich dabei an Themenfeldern aus den Bereichen der Hinterspritztechnik, der gedruckten Elektronik, Beleuchtungsanwendungen und allgemeinen Design- und Integrationskonzepten.

Das 2. Netzwerktreffen der Phase 2 fand dieses Mal in den Räumen des Mercedes-Benz Museums in Stuttgart statt. Rund 30 Teilnehmer diskutierten über die zukünftigen FuE-Projekte und durften im Anschluss an einer Museumsführung teilnehmen. Ein Beitritt in das Netzwerk ist jederzeit möglich.



### Weitere Informationen:

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

## MUPAM

Mit dem Netzwerk MUPAM – Multiplikative Produkte im Additive Manufacturing – kann die KIMW-F in einem weiteren Fachnetzwerk ihre Expertise zu den Zukunftstechnologien der additiven Fertigung erweitern. Das Anfang Juni gestartete Netzwerk hat Partner aus kleinen und mittleren (KMU) sowie größeren Unternehmen und Forschungseinrichtungen und deckt damit die gesamte Wertschöpfungskette ab.

Den 3D-Druck (im industriellen Umfeld auch „Additive Manufacturing“ genannt) bezeichnen führende Marktanalysten als eine der zukunftsweisenden Technologien mit enormen Wachstumsraten. Noch aber schrecken hohe Anschaffungskosten für Anlagen und ungeklärte technische Fragestellungen vor einem Einstieg ab.

Ziel des Netzwerks ist es, innovative Produkte, Verfahren und Dienstleistungen mit Hinblick auf eine einfache Technologieintegration im Unternehmen zu entwickeln und damit Potenziale zu erschließen. Auch in diesem spannenden Netzwerk ist ein Beitritt weiterer Unternehmen jederzeit möglich.

# MUPAM

DAS INNOVATIONSNETZWERK MULTIPLIKATIVE  
PRODUKTE IM ADDITIVE MANUFACTURING

### Weitere Informationen:

Nicolai Clemens, B.Eng.  
Tel.: +49 (0) 23 51.10 64-814  
clemens@kunststoff-institut.de

# Forschung International

## Zusammenarbeit mit der Region Okzitanien

Im Zuge der BMBF CAP Förderprojekte TBC- Thermische Barriere-Schichten für die Kunststoffverarbeitung, CPC – Korrosionsfeste Werkzeugoberflächen mittels Dünschichttechnologie und BNP-Biozide Nanopartikel für Kunststoffoberflächen konnten in der Zusammenarbeit mit französischen Forschungspartnern gute Fortschritte erzielt werden.

Die Universität Toulouse und seine angegliederten Carnout Institute (CNRS), vergleichbar mit der deutschen Fraunhofer-Gesellschaft, sind unsere zentralen Ansprechpartner für den wissenschaftlichen Austausch in den Förderprojekten:

CIRIMAT erforscht multidisziplinär alle Materialfamilien (Metalle, Legierungen, Keramiken, Polymere, Verbundwerkstoffe, Multimaterialien) in Form von Pulvern, dünnen Filmen, Beschichtungen und massiven Teilen, von ihrer Konzeption bis zu ihrem Betriebsverhalten. Diese grundlegende und angewandte Forschung befasst sich mit aktuellen wissenschaftlichen Fragen in Bereichen mit starker industrieller und gesellschaftlicher Auswirkung: Luftfahrt (Flugzeuge und Motoren), Raumfahrt, Energie (Produktion und Lagerung), Elektronik, Gesundheit, Umwelt, Bauwesen.

IMRCP: untersucht die Chemie und physikalische Chemie weicher Materialien und selbstorganisierender Systeme. Diese Materialien, die auf biologischen Molekülen oder synthetischen Verbindungen (wie Tensiden und Polymeren) basieren, haben ein breites Spektrum an industriellen und technologischen Anwendungen.

LAPLACE: Ist die führende französische Forschungsstelle auf dem Gebiet der Elektro- und Plasmatechnik mit 160 Vollzeitforschern und einer ähnlichen Anzahl von Doktoranden werden die Grundlagen für neue physikalische Konzepte für aktuelle und zukünftige Fragestellungen bearbeitet.

LCC: Das „Laboratoire de Chimie de Coordination“ bietet eine Expertise in der molekularen Chemie von Übergangsmetall- und Hauptgruppenelemen-



ten mit spezifischen Forschungsinteressen in den Bereichen Feinchemie und Katalyse, bioanorganische Chemie, Nanowissenschaften und neue Materialien. Ein hochqualifiziertes Team (100 Personen, einschließlich Forschungs- und technisches Personal) arbeitet in enger Partnerschaft mit einer Reihe öffentlicher und privater Unternehmen in Frankreich, Europa und weltweit.

LGC: Das LGC hat es sich zur Aufgabe gemacht, Wissen auf dem Gebiet der chemischen Verfahrenstechnik zu schaffen, indem es sich auf industrielle und gesellschaftliche Zwänge und Probleme konzentriert und gleichzeitig am internationalen Wettbewerb zur Schaffung neuen Wissens teilnimmt.

Die Zusammenarbeit auf hohem wissenschaftlichen Niveau in industrienahen Projekten hat zum Ziel, deutsche Forschung auf ein höheres Niveau zu bewegen und die Erschließung von neuen Marktpotentialen für deutsche Industrieakteure zu ermöglichen. In der Kooperation soll eine Win-Win Situation für alle beteiligten Forschungs- und Industriepartner entstehen. So setzen sich die Konsortien aus Unternehmen der Kunststoffverarbeitung und die Forschungsstellen interdisziplinär aus den Bereichen der Medizin, Chemie, des Maschinenbaus und der Luft- und Raumfahrttechnik zusammen.

Regelmäßige internationale Treffen vertiefen die Zusammenarbeit und bereiten weitere zukünftige Forschungsk Kooperationen vor.

### Weitere Informationen:

Dipl.-Ing. Frank Mumme  
Tel.: +49 (0) 23 51.10 64-139  
mumme@kunststoff-institut.de

# Ausstattung und Service

## **Prüfen & Analysieren**

- ☒ Leuchtdichtemessung
- ☒ Röntgenfluoreszenzanalysator
- ☒ Impedanzspektroskopie  
(Electrochemical Workstation)
- ☒ Digital-Mikroskopie
- ☒ Kalottenschliffgerät
- ☒ Restgasanalysator (RGA)  
(Quadrupole Mass Spectrometer)

## **Beschichtungstechnik**

- ☒ CVD 0
- ☒ CVD 1
- ☒ CVD 2
- ☒ CVD 3

## **Beratung**

- ☒ Kunststoff-InnovationLab

## **Multi-Physik-Simulation**

- ☒ Durch Simulation schneller zum Ziel

# Prüfen & Analysieren

Seit Bestehen der Forschungsstelle wurde die Infrastruktur im Bereich der Prüftechnik und Analytik kontinuierlich ausgebaut. Nachstehend erläuterte Prüf- und Analysegeräte stehen für wissenschaftliche und praxisrelevante/normative Fragestellungen für F&E-Projekte und für Auftragsforschung zur Verfügung:

- ☒ Leuchtdichtemessung
- ☒ Röntgenfluoreszenzanalysator
- ☒ Impedanzspektroskopie
- ☒ Digital-Mikroskopie
- ☒ Kalottenschliff-Gerät
- ☒ Thermogravimetrische Analyse

## Leuchtdichtemessung

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 die Lichtfarbe können mit dem Leuchtdichtemesstand blickwinkelab-



Abbildung 1: Leuchtdichtemesskamera LMK5-5 Color

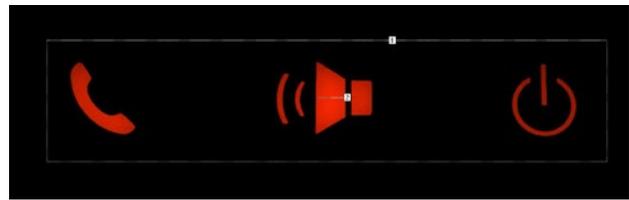


Abbildung 2: Farbbild einer Symbolbeleuchtung

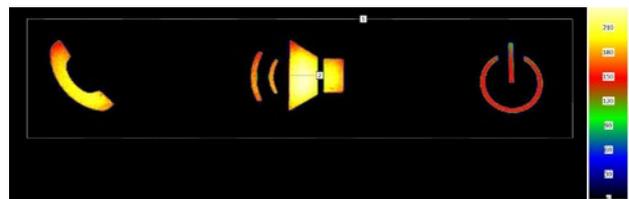


Abbildung 3: Ergebnis einer Leuchtdichtemessung in  $\text{cd/m}^2$

hängig an Symbolbeleuchtungen oder Ambientebeleuchtungssystemen charakterisiert werden. Das System beinhaltet eine optische Bank, mit der die Kameraentfernung auf bis zu 2m vom Bauteil eingestellt werden kann.

Technische Features:

Typ: LMK5-5 Color

- ☒ Auflösung: 2448 x 2050 Pixel
- ☒ Dynamikbereich: Farb-High-Dynamic  
Messung 1 :10.000.000 ( $\sim 140$  dB)

Messgrößen:

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

## Weitere Informationen:

Dipl.-Ing. (FH) Matthias Militsch  
Tel.: +49 (0) 23 51.10 64-105  
militsch@kunststoff-institut.de

### Röntgenfluoreszenzanalysator

Die Röntgenfluoreszenzanalyse ermöglicht die Elementaranalyse von Metallen, Keramiken und anderen Materialien und somit eine zerstörungsfreie Messung von Schichtdicken galvanisierter Kunststoffe und beschichteter Werkzeugoberflächen.

- ☒ Detektor:  
Silizium-Drift-Detektor mit Peltierkühlung
- ☒ Röntgenquelle:  
Mikrofokus-Wolframanode mit Berylliumfenster  
stufig einstellbar 10 kV, 30 kV, 50 kV
- ☒ Blende 4-fach wechselbar
- ☒ Primärfilter 6-fach wechselbar
- ☒ Kleinster Messfleck:  $\varnothing$  0,25 mm
- ☒ Max. Probengröße: 300 x 350 x 140 mm
- ☒ Max. Probenmasse 5 kg



Abbildung 4: Röntgenfluoreszenzanalysator

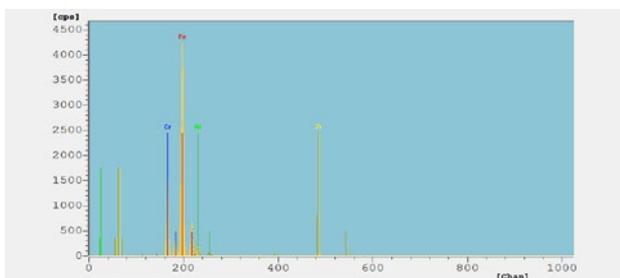


Abbildung 5: Ergebnis einer Elementanalyse

#### Weitere Informationen:

Dipl.-Chem. Martin Ciaston  
Tel.: +49 (0) 23 51.6 79 99-26  
ciaston@kunststoff-institut.de

### Impedanzspektroskopie (Electrochemical Workstation)

Die elektrochemische Impedanzspektroskopie (EIS) ist ein zerstörungsfreies elektrisches Messverfahren. Es ermöglicht die Zustandsuntersuchung von festen Materialien (z.B. Porosität, Dielektrizität, etc.) oder elektrochemischen Systemen (Korrosion, Korrosionsschutz, Passivierung, Brennstoffzelle, Batterien, etc.).

Allgemeine technische Features:

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

Frequenzgenerator & Analysator:

- ☒ Frequenzbereich: 10  $\mu\text{Hz}$  – 4 MHz
- ☒ Genauigkeit:  $< 0.0025\%$
- ☒ Auflösung: 0.0025%, 10000steps/decade

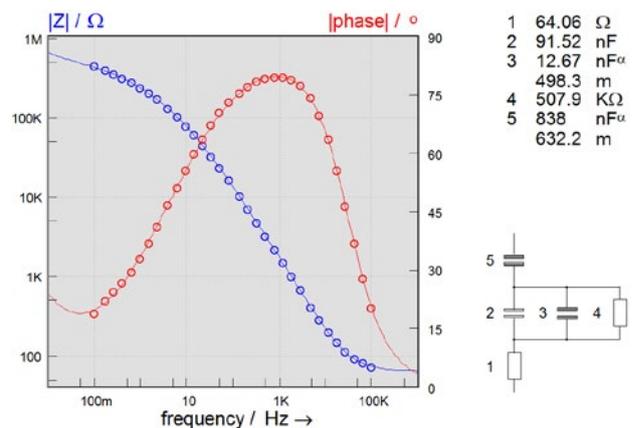


Abbildung 6: Ergebnis der Impedanzspektroskopie als Bode-Diagramm

#### Weitere Informationen:

Dr.-Ing. Anatoliy Batmanov  
Tel.: +49 (0) 23 51.6 79 99-13  
batmanov@kunststoff-institut.de

### Digital-Mikroskopie

Die Digitalmikroskopie ermöglicht zwei- und dreidimensionale Bildaufnahmen u. a. zur Qualitätssicherung und -kontrolle, Fehleranalyse oder Schichtdickenbestimmung nach dem Kalottenschliff.

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

Stativ:

- ▣ Neigungswinkel (codiert):  $\pm 45^\circ$
- ▣ Max. Probengröße: ~120 mm

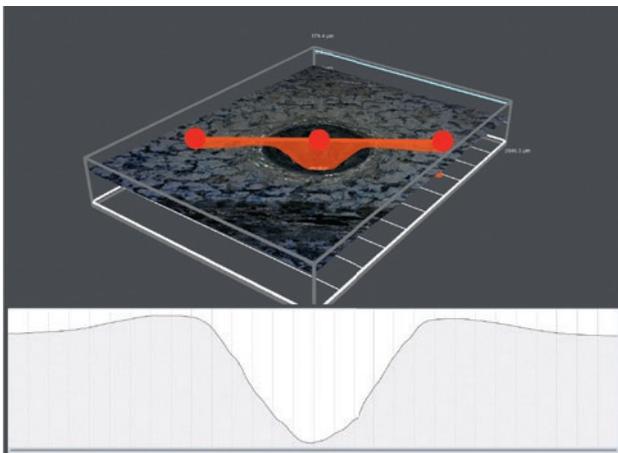


Abbildung 7: Darstellung einer Höhenprofilmessung

### Weitere Informationen:

Dipl.-Chem. Martin Ciaston  
Tel.: +49 (0) 23 51.6 79 99-26  
ciaston@kunststoff-institut.de

### Kalottenschliffgerät

Das Kalottenschliff-Gerät ermöglicht in Kombination mit der Licht-/Digitalmikroskopie eine Schichtdickenmessung. Mit einer Stahlkugel und einer Schleifsuspension wird eine Kalotte in die Schicht bis zum Grundmaterial geschliffen. Mittels Lichtmikroskop wird anschließend der Durchmesser der konzentrischen Kreise ausgewertet, und in die Dicke der Schicht umgerechnet.

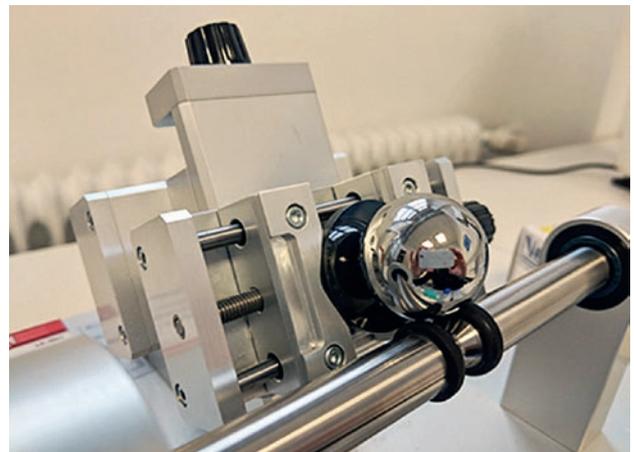


Abbildung 8: Kalottenschliffgerät

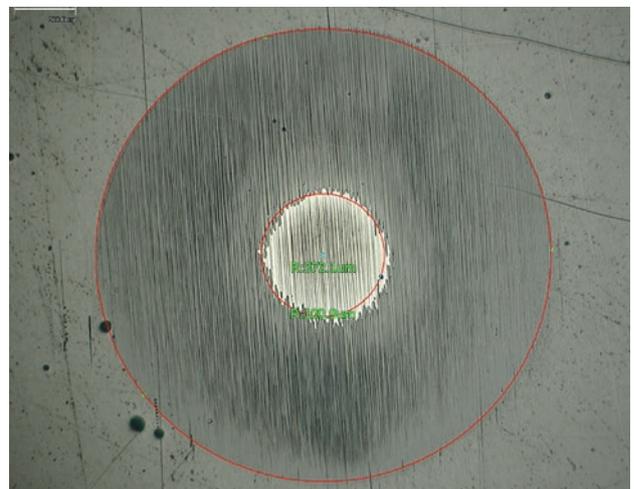


Abbildung 9: Analyse der Schichtdicke im Lichtmikroskop.

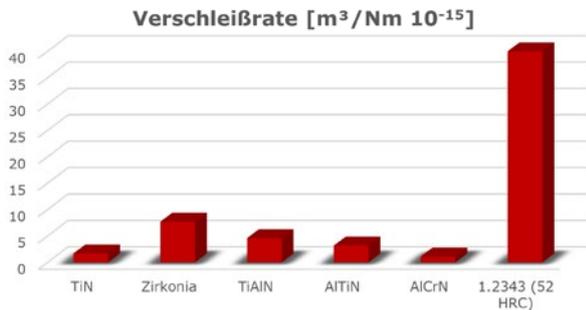


Abbildung 10: Darstellung der Messergebnisse zur Verschleißbeständigkeit von verschiedenen Schichten.

Zusätzlich kann die Verschleißbeständigkeit von Schichten bestimmt werden. In diesem Fall wird eine Kalotte nicht bis in das Grundmaterial, sondern nur in die Schicht geschliffen. Anschließend wird das spezifische Abtragungsvolumen analysiert.

**Weitere Informationen:**

Dr. rer. nat. Mohamed Mahmoud  
 Tel.: +49 (0) 23 51.6 79 99-14  
 mahmoud@kunststoff-institut.de

**Restgasanalysator (RGA)  
 (Quadrupole Mass Spectrometer)**

Das Massenspektrometer ermöglicht die Detektion und Analyse von Restgasen/ Dämpfen in einem Vakuumsystem sowie die Echtzeitüberwachung von Partialdrücken in Gasgemischen. Der RGA hat eine exzellente Empfindlichkeit für Helium. Dadurch kann dieser er für die Lecksuche an Vakuumbeschichtungsanlagen angewendet werden.

Technische Features:

- ▣ Massenbereich: 1-300 amu
- ▣ Betriebsdruck max.:
  - ▣ Faraday: 1 x 10<sup>-4</sup> mbar
  - ▣ EM: 1 x 10<sup>-5</sup> mbar
- ▣ Maximale Messgeschwindigkeit: 650 Messungen pro Sekunde
- ▣ Detektor: EM/Faraday
- ▣ Minimaler nachweisbarer Partialdruck:
  - ▣ 1 x 10<sup>-11</sup> mbar mit Faraday-Detector
  - ▣ 2 x 10<sup>-13</sup> mbar mit EM
- ▣ Kathode: Iridium, Y2O3-beschichtet
- ▣ Ausheiztemperatur: Analysator: 250 °C
- ▣ Anschlussflansch (Eingang): DN 40 CF-F

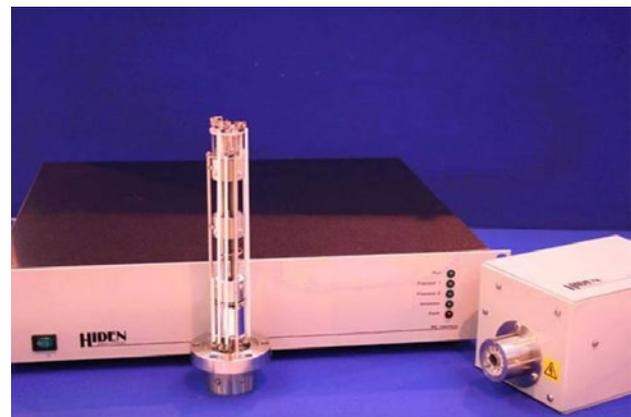


Abbildung 11: Restgasanalysator

**Weitere Informationen:**

Dr.-Ing. Anatoliy Batmanov  
 Tel.: +49 (0) 23 51.6 79 99-13  
 batmanov@kunststoff-institut.de

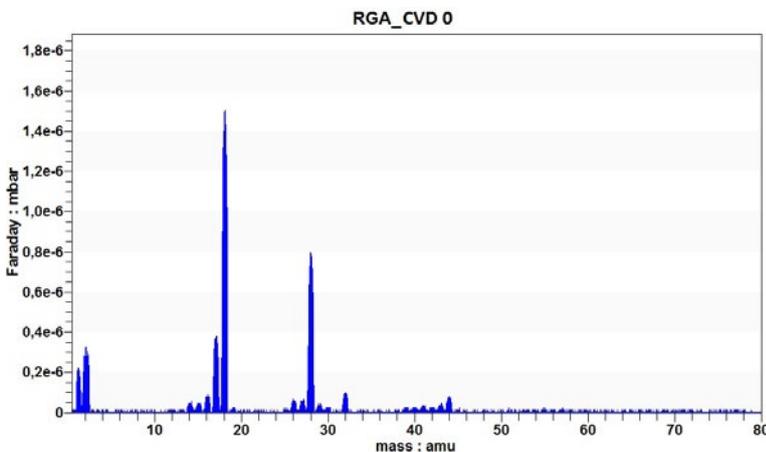


Abbildung 12: Darstellung eines Restgasspektrums eines reinen CVD Reaktors bei HV.

# Beschichtungstechnik

Die Forschungsstelle verfügt mittlerweile über vier CVD (chemical vapour deposition, chemische Dampfphasenabscheidung) 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.

Die Peripherie wurde gezielt an die Reaktoren und die abzuschneidenden Schichten angepasst. Neben metalloxidischen Keramikbeschichtungen unterschiedlicher Morphologie und Kristallstruktur können an der KIMW-F auch metallische Kupferschichten sowie Hartstoffschichten wie Wolframcarbid und Chromcarbid abgeschieden werden. Bei den oxidischen Schichten sind verschiedene Modifikationen von Zirkoniumdioxid (Y :ZrO<sub>2</sub>, P :ZrO<sub>2</sub>, La :ZrO<sub>2</sub>), Aluminium-, Chrom-, Kupfer- und Siliziumoxid zu nennen. Durch den Einsatz von metallorganischen Vorläuferverbindungen (den sogenannten Precursoren), welche im Verdampfer in die Gasphase überführt werden und sich im Reaktor zersetzen, 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 Schichteigenschaften (Schichtdicke, Kristallinität, Phase, Dichte) hängen von den Prozessparametern ab. Der Precursorzufluss (Art und Menge), der Reaktanzufluss (Art und Menge), die Gaszufuhr (Art und Menge), 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.

## CVD 0

Der kleinste der vier CVD Reaktoren dient in erster Linie der Schichtneuentwicklung und Erprobung der Schichtabscheidung. Für die Abscheidung neuartiger carbidischer und nitridischer Hartstoffschichten wurde die Pilotanlage CVD 0 aufgebaut (Abbildung 2), die in erster Linie die Machbarkeit der Schichtabscheidung, der Parametrierung des CVD-Prozesses

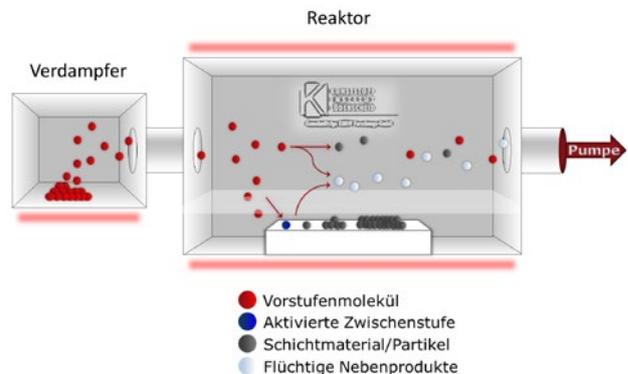


Abbildung 1: Schematische Darstellung eines CVD Heißwandreaktors mit vorgeschaltetem Verdampfer

sowie der Untersuchung der 3D-fähigkeit von Precursorsystemen dient. Die Anlage verfügt über mehrere Gaszuführungen und kann mit dem bewährten System der Feststoffprecursorzufuhr unterhalten werden. Der Reaktionsraum ist bewusst klein gehalten, um eine sehr schnelle Prozessführung mit hohen Schichtwachstumsraten bei gleichzeitig minimalem Stoffumsatz zu erreichen. Hierdurch lassen sich Zeiten und Kosten in der Schichtentwicklung massiv reduzieren.



Abbildung 2: Pilotanlage CVD 0

## Weitere Informationen:

Dipl.-Ing. Frank Mumme  
Tel.: +49 (0) 23 51.10 64-139  
mumme@kunststoff-institut.de

### CVD 1

Im Heißwandreaktor CVD 1 können diverse oxidische Schichtsysteme auf metallische Substrate appliziert werden. Der Reaktor hat ein Gesamtvolumen von 70 Litern ( $\varnothing$  208 mm). Die Vorläuferverbindungen werden in flüssiger Form vorgelegt, mittels Schlauchpumpe oder Flüssigkeitsreglern (Liquiflow-Controllern) dosiert und in den Reaktor überführt. Auf diesem Weg können Monolagen- und Multilagenbeschichtungen realisiert werden. Die Beschichtungen werden bei Temperaturen zwischen 250°C und 500°C aufgebracht, wobei auch Temperaturgradienten im Reaktor realisiert werden können. Aktuelle Schichtsysteme sind  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{ZrO}_2$  (kristallin, amorph).

Die Vakuumerzeugung erfolgt mittels zweistufiger Drehschieberpumpe bis zu einem Druck von 1 mbar. Zur Abgasreinigung sind eine Kühlfalle sowie ein Kartuschenfilter installiert.

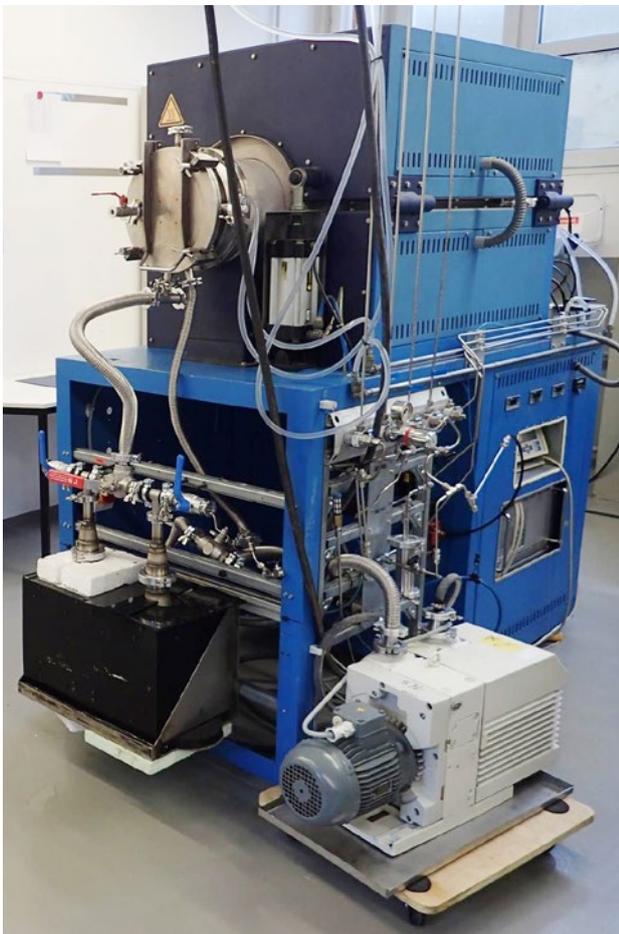


Abbildung 3: Reaktor und Peripherie der CVD 1, Abgasseite



Abbildung 4: Reaktor und Peripherie der CVD 1, Einlassseite, Flüssigkeitsregler und Schlauchpumpe dienen der Dosierung der flüssigen Vorläuferverbindungen.



Abbildung 5: Flüssigkeitsregler inkl. Steuereinheit an der CVD 1

#### Weitere Informationen:

Vanessa Frettlöh, M.Sc.  
Tel.: +49 (0) 23 51.6 79 99-11  
frettlloh@kunststoff-institut.de

### CVD 2

Der Heißwandreaktor CVD 2 hat einen Durchmesser von 110 mm. 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 Temperaturgra-

dienten innerhalb des Reaktors realisiert werden. An diesem Reaktor kommen feste Precursoren zum Einsatz. Die metallorganischen Vorläuferverbindungen werden in Pulverform über einen Gasstrom in den Verdampfer überführt und dort in die Gasphase gebracht. Die Dosierung erfolgt mittels kleiner Extruder, welche an der KIMW-F entwickelt, gebaut und optimiert wurden. Geregelt werden die Extruder softwarebasiert. Neben verschiedenen Gasen können auch Lösemittel wie z.B. Wasser und Ethanol in den Reaktor gefördert werden, um eine gezielte Abscheidung der Beschichtungsmaterialien zu realisieren. An dieser Anlage werden oxidkeramische Beschichtungen (u. A. diverse Zirkoniumdioxid-Modifikationen, Chromoxid, Kupferoxid und Aluminiumoxid) sowie metallische Beschichtungen (elementares Kupfer) und Hartstoffbeschichtungen

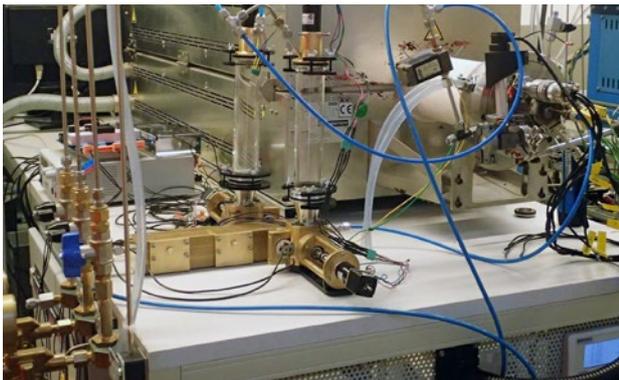


Abbildung 6: Einlasstrakt der CVD 2 mit Extrudern zur Förderung und Dosierung der festen Vorläuferverbindungen



Abbildung 7: Reaktor und Peripherie der CVD 2

realisiert.

Das Vakuum im Reaktor wird durch die Kombination einer Drehschieberpumpe und einer Turbomolekularpumpe erzeugt und durch ein Schmetterlingsventil geregelt. Die Abgasreinigung erfolgt über einen Kartuschenfilter und verbleibende Lösemittel aus dem Prozess werden auskondensiert und aufgefangen.

**Weitere Informationen:**

Vanessa Frettlöh, M.Sc.  
Tel.: +49 (0) 23 51.6 79 99-11  
frettlloh@kunststoff-institut.de

**CVD 3**

Für die Abscheidung von Schichten im industriellen Maßstab, steht eine Beschichtungsanlage mit einem Kammervolumen von 230 Litern zur Verfügung (Abbildung 8). Ziel ist es, größere Formabmessungen (z.B. 380x380x500mm) zu beschichten. Geplant ist die Abscheidung aller im Vorfeld entwickelten Schichten darstellen zu können. Besonderer Augenmerk wird hier auf die Automatisierung der Prozessführung gelegt. Im Zuge eines BMBF Projektes wird der Rezipient der CVD 3 zukünftig mit zwei unterschiedlichen Plasmaquellen ausgerüstet. Hierdurch soll eine Aktivierung der Substratoberfläche und eine Erhöhung der Schichtbildungsrate erzielt werden.

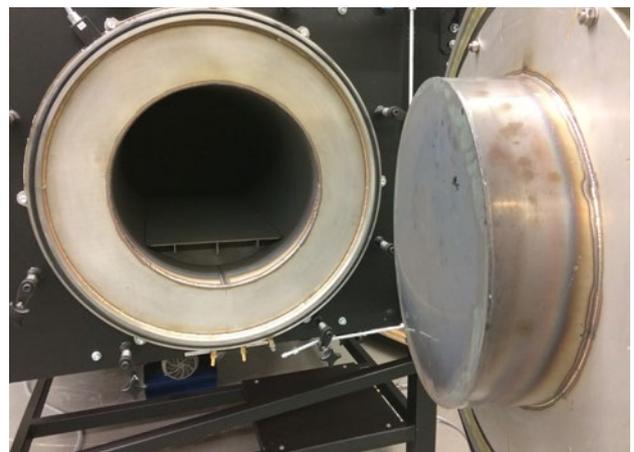


Abbildung 8: CVD 3 für großflächige Beschichtung

**Weitere Informationen:**

Dipl.-Ing. Frank Mumme  
Tel.: +49 (0) 23 51.10 64-139  
mumme@kunststoff-institut.de

# Beratung

## **Kunststoff-InnovationLab**

Die Kunststoffindustrie steht im Wandel. Wichtige Branchen für die Kunststoffindustrie wie beispielsweise die Verpackungsbranche und Automobilindustrie stehen unter Druck. In der Zukunft kommt es deswegen immer mehr darauf an, die neuen Anforderungen der Kunden frühzeitig zu verstehen, neue Branchen zu entdecken und frühzeitige negative Tendenzen zu erkennen. Die Entwicklungen von neuen Produkten, Dienstleistungen sowie Geschäftsmodellinnovationen spielen hierbei eine wichtige Rolle. Dabei stehen Unternehmen vor diversen Herausforderungen, es fehlen die finanziellen & personellen Kapazitäten sowie die Infrastruktur & Impulse für die Entwicklung solcher Innovationen.

Zur Minderung dieser Innovationshemmnisse wurde 2019 das **Kunststoff-InnovationLab** ins Leben gerufen. In diesem Jahr wurden schon einige spannende Veranstaltungen ausgerichtet u. a. die Technologietransferinitiative des BMWi in Lüdenscheid und die exklusive Netzwerkveranstaltung „Innovationsanstöße“ im Schloss Merode.

## **Folgende Aspekte beinhaltet das Kunststoff-InnovationLab:**

### **Vernetzung**

Ein wichtiger Baustein ist der Technologie- und Wissenstransfer und die damit verbundenen Kooperationen zwischen Unternehmen, Startups und KIMW-F. Wir bringen Sie mit Gleichgesinnten zusammen und vernetzen Sie untereinander.

### **Informationen zu Trends und Forschung & Entwicklung**

Zudem erhalten Sie regelmäßige Informationen zu neuen Forschungsergebnissen und Trends.

### **Projekte**

Unsere Forschungsstelle ist Trendsetter und in einer Vielzahl von Forschungsprojekten involviert. Im Anschluss dieser Forschungsprojekte geht es

darum, die Produkte zur Marktreife zu bringen. Wir möchten mit Ihnen diese Entwicklungen gemeinsam beschreiten. Zudem entwickeln wir gemeinsam mit Ihnen zu neuen Forschungstrends „Technologieroadmaps“ und Marktanalysen!

## **Innovationsförderung**

Ab 2020 können finanzielle Innovationshemmnisse gemindert werden. Die Bundesregierung führt die steuerliche Forschungsförderung ein. So können zukünftig FuE-Projekte bis zu 500 T € gefördert werden! Wir schaffen mit Ihnen die notwendigen Strukturen. Auch zu allen Themen im Bereich der Projektförderung können Sie uns kontaktieren vom Innovationsgutschein bis zur ZIM-Förderung!

## **Leistungen des**

### **Kunststoff-InnovationLab kompakt:**

- ☒ Vernetzung im Rahmen von Innovationskongressen und Fachveranstaltungen
- ☒ Innovationsimpulse durch Informationen zu Trends und Forschung & Entwicklung
- ☒ Entwicklung von Technologieroadmaps zu neuen Trends und Forschungsthemen, Marktanalysen und Machbarkeitsstudien
- ☒ Vermarktung von Innovationen und neuen Technologien
- ☒ Fördermittelberatung und steuerliche Forschungsförderung
- ☒ Unterstützung bei der Antragsstellung und Konsortiumsbildung

## **Weitere Informationen:**

Dipl.-Kfm. Michael Krause

Tel.: +49 (0) 23 51.10 64-187

krause@kunststoff-institut.de

<https://kunststoff-institut-luedenscheid.de/2019/06/neu-ab-april-2019-kunststoff-innovationlab-2/>



# Multi-Physik-Simulation

## Durch Simulation schneller zum Ziel

COMSOL Multiphysics® ist ein Simulationsprogramm zur Modellierung von Designs, Geräten und Prozessen in allen Bereichen der Ingenieurs- und Fertigungstechnik.

Die Software bietet den Vorteil, dass mehrere physikalische Probleme gleichzeitig in einem Simulationsmodell gekoppelt werden können. Die gemeinnützige KIMW Forschungs-GmbH hat die folgenden Module zur Verfügung: Structural Mechanics, CFD (Fluidströmung), AC/DC, Heat Transfer (Wärmeübertragung) und Chemietechnik. Mit dem multiphysikalischen Ansatz können die Simulationen die Realität noch besser abbilden. Als Beispiel für eine Multiphysik Simulation ist hier ein CVD Reaktor der KIMW-F zu sehen. Für diese 3D-Simulation wurden die Module CFD und Heat Transfer verwendet.

In der Abbildung (Mitte) ist die Gasströmung im Reaktor dargestellt. Das Gas wird durch den Einlass in ein innen liegendes, kleines Rohr bis kurz vor die zu beschichtende Probe geleitet, um diese zu umspülen. Mit Hilfe der Simulation ist es möglich, die Prozessparameter vorab auszuloten, um im gezeigten Beispiel eine gleichmäßige Gasgeschwindigkeit bzw. Beschichtung im Reaktor zu erreichen.

Die Temperaturverteilung spielt eine wichtige Rolle im CVD Prozess, da sowohl die Dichte als auch die Durchströmungsgeschwindigkeit von diesem Parameter abhängig sind.

In der Abbildung (rechts) wird die Temperaturverteilung in den Bereichen aus Quarz und Stahl aufgezeigt. Die Temperaturverteilung wird gleichzeitig mit der Durchströmung des Gases simuliert. Die Simulationsergebnisse sind mit der Praxis abgeglichen worden und zeigen optimale Werte für die Beschichtung. Zurzeit arbeitet die KIMW-F an

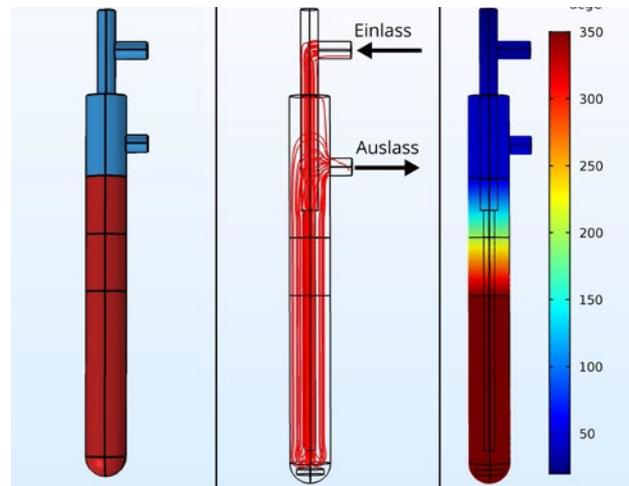


Abbildung: Reaktor (links): Quarzglas (rot) und Stahl (blau); Strömung (Streamlines) im Reaktor (mitte); Temperaturverteilung im Reaktor (rechts)

einer Erweiterung der Simulation mit chemischen Reaktionen, um auch die Beschichtungsrate auf den Proben vorhersagen zu können.

Des Weiteren hat die KIMW-F die Möglichkeit linear elastische FEM Berechnungen durchzuführen und damit die Festigkeit und Steifigkeit von Werkzeugen und Bauteilen im Betrieb zu analysieren. Ferner bieten wir im Kundenauftrag die Möglichkeit, Simulationen mit multiphysikalischer Modellierung für Projekte zu entwickeln, die für den Bereich der Konstruktion, die Fertigung, aber auch für Testlabors hilfreich sind. Durch diesen Ansatz können Entwicklungszeiten beschleunigt, Iterationsschleifen verkürzt und letztlich Kosten gesenkt werden.

### Weitere Informationen:

Ameya Kulkarni, M.Sc.

Tel.: +49 (0) 23 51.6 79 99-23

kulkarni@kunststoff-institut.de

# Öffentlichkeitsarbeit und Wissenstransfer

## **KIMW-F vor Ort**

- ▣ Tagungen und Messen

## **Fachtagung Werkzeugbeschichtung**

- ▣ 2. Fachtagung Werkzeugoberfläche  
und Ausblick 2020

## **Lehre und Publikationen**

- ▣ Tätigkeiten in der Lehre
- ▣ Publikationen

## KIMW-F vor Ort

**Auch im Jahr 2019 war die gemeinnützige KIMW Forschungs-GmbH wieder auf zahlreichen Tagungen und Messen aktiv.**



Im September 2019 präsentierte die KIMW-F, bei der **2. Fachkonferenz „Innovationen im Automobilinterieur“** in Stuttgart, im Rahmen des ZIM-Kooperationsnetzwerks „FOresIght“, Ergebnisse aus Forschungsprojekten bei der begleitenden Fachaussstellung. Ziel der Konferenz war es, aktuelle technologische Entwicklungen, Lösungsbeispiele oder auch Fragestellungen im Automobilinterieur aus Unternehmen und F&E-Einrichtungen zu präsentieren. Im Vordergrund standen dabei die Vernetzung von Akteuren entlang der Zuliefer- und Wertschöpfungskette, der Technologietransfer zwischen Forschung und Wirtschaft sowie die Diskussion und der Austausch der Akteure untereinander.



Zum zweiten Mal nahm die KIMW-F an der alle zwei Jahre stattfindenden **EURO-CVD** teil. DIE TAGUNG in der CVD Community fand 2019 in Luxemburg statt. Ergebnisse aus dem Bereich der Precursorentwicklung und Charakterisierung von

thermischen Barrierschichten wurden in einem Vortrag dem Auditorium präsentiert. Die beiden ausgestellten, anwendungsorientierten Poster sorgten für einen intensiven Austausch mit den Teilnehmern.



Auf der **K-Messe** war die Forschungsstelle mit einem Stand auf dem Science-Campus vertreten. Mit Exponaten u. a. aus dem Bereich der Werkzeugbeschichtung, der Emmisionsmessung von Kunststoffen, der Direktlackierung von Kunststoffen im Werkzeug und der Metaldirekteinspritzung konnte ein überzeugender Messeauftritt präsentiert werden. Die Gespräche mit den interessierten Besuchern waren durchweg von positiver Resonanz geprägt. Somit konnten neue Kontakte geknüpft werden und eine erfolgreiche Netzwerkarbeit erfolgen.



Im Rahmen der **V2019 Vakuum und Plasma** in Dresden fand in der Industrieausstellung auch eine Posterpräsentation von innovativen Arbeiten aus dem Bereich der Dünnschichttechnik statt. Die Forschungsstelle zeigte hier die Ergebnisse zur Strukturierung von Werkzeugoberflächen und Verbesserung der Entformung im Spritzgießprozess.



Die Fachtagung über Verarbeitung und Anwendung polymerer Werkstoffe – die **Technomer** – feierte 2019 ihr 50jähriges Jubiläum und zählt damit zu den etablierten und hochangesehenen Tagungen in der Kunststoffbranche. Die KIMW-F bekam die Möglichkeit ihre Ergebnisse in gleich drei Beiträgen zu präsentieren. Im Rahmen eines Vortrages wurden sowohl die Entwicklung von bioziden Nanopartikeln zur Anwendung in der Kunststofftechnik als auch die Wirkung von thermischen Barrierschichten in der Spritzgießkavität vorgestellt. Ein Poster berichtete über die Messung von Entformungskräften und deren gezielte Beeinflussung durch Oberflächenmodifikation.

### **Weitere Informationen:**

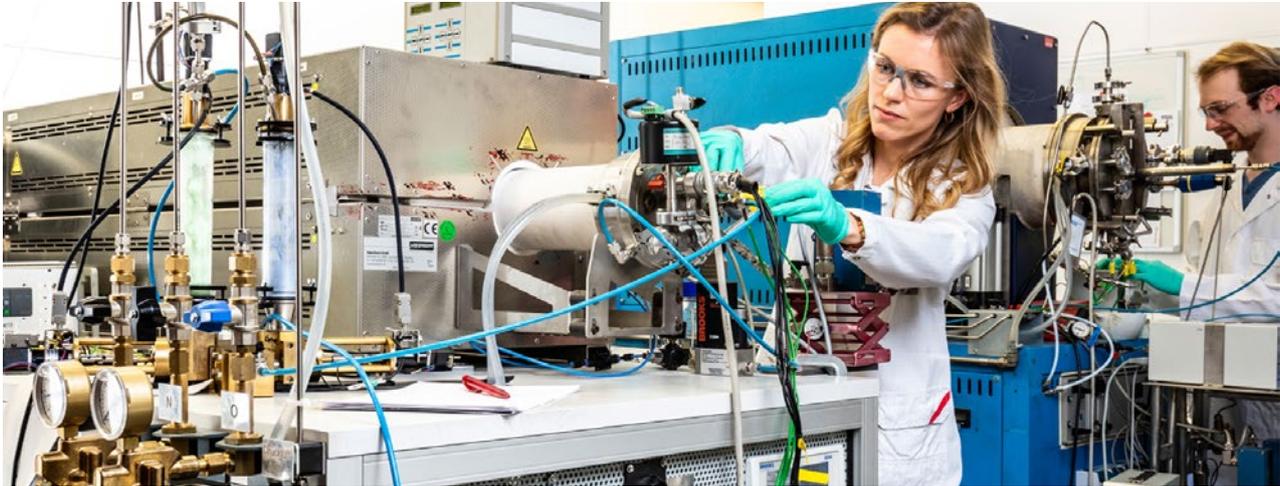
Dr.-Ing. Angelo Librizzi

Tel.: +49 (0) 23 51.10 64-134

librizzi@kunststoff-institut.de

# Fachtagung 2019

## 2. Fachtagung Werkzeugoberfläche und Ausblick 2020



Die KIMW Forschungsstelle veranstaltet jährlich eine branchenübergreifende Fachtagung zum Thema der Oberflächenmodifikation von Werkzeug und Bauteiloberflächen. Das zweitägige Treffen hat das Ziel, Konstrukteure, Anwendern und Forschern aus unterschiedlichen Branchen und Fachrichtungen Potentiale moderner Oberflächentechnologien aufzuzeigen.

Die im November 2019 letztmalig durchgeführte Veranstaltung stellte die Schichtentwicklung für unterschiedliche Anwendungsfelder, sowie auch die Integration sensorischer Funktionen in Werkzeug- und Bauteiloberflächen dar.

Die Auswahl der Vortragsthemen und Referenten bildet ein Spiegelbild der aktuellen Anwendungsbreite, Technologievelfalt und Forschungstiefe ab.

- ☒ Vor- und Nachbehandlung von Werkzeugoberflächen
- ☒ Oberflächenveredelung von Werkzeugen
- ☒ Funktionalisierung von Bauteiloberflächen
- ☒ Integration von Sensorik in Werkzeugoberflächen
- ☒ Ideen & Innovationen für die Praxis

### Ausblick Fachtagung 2020

Die 3. Fachtagung « Schlüsseltechnologien für die Modifikation von Oberflächen » wird am 3. und 4. Juni 2020 in Lüdenscheid stattfinden. Thematisch soll sich die Tagung zu einem « Anwender- und Forschungs-Event » weiterentwickeln, das jährlich Ideen und Innovationen für industrielle Anwendungen ermöglicht.

Erstmalig möchten wir den teilnehmenden Firmen die Möglichkeit bieten eine begleitende Fachausstellung durchzuführen. Geplant ist zudem allen Teilnehmern ein « Matchmaking » anzubieten. Hier können Interessen und Treffen im Zuge der Tagung vorab geplant werden. Somit soll sichergestellt werden, dass die Inhalte der Vorträge und das Zusammenkommen von Interessen zu einem großen Nutzen aller Teilnehmer führt.

### Weitere Informationen:

Christian Rust, M.Sc.  
Tel.: +49 (0) 23 51.10 64-139  
mumme@kunststoff-institut.de

# Lehre und Publikationen

In 2019 wurden verschiedene Aktivitäten durch die Mitarbeiter der KIMW-F zum Wissenstransfer von Projekt- und Forschungsaktivitäten durchgeführt. Hierzu wurden wissenschaftliche Publikationen, Beiträge in einschlägigen Fachzeitschriften sowie Vorträge auf Fachkonferenzen veröffentlicht. Auch wurden in 2019 in Zusammenarbeit mit Hochschulen Tätigkeiten in der Lehre durchgeführt.

## Tätigkeiten in der Lehre

- ☒ Vorlesungsveranstaltungen zum Fach „Oberflächentechnik Kunststoff“ im Verbundstudiengang Bachelor Kunststofftechnik an der Fachhochschule Südwestfalen (FH-SWF);  
Durchführender: Dr.-Ing. Angelo Librizzi
- ☒ Vorlesungsveranstaltungen zum Fach „Werkstoffkunde der Kunststoffe“ im Verbundstudiengang Bachelor Kunststofftechnik an der Fachhochschule Südwestfalen (FH-SWF);  
Durchführender: Dr. Andreas Balster
- ☒ Vorlesungsveranstaltungen zum Fach „Spritzgussimulation“ im Verbundstudiengang Master Angewandte Kunststofftechnik an der Hochschule Schmalkalden;  
Durchführender: Dr. Ruben Schlutter
- ☒ Laborveranstaltung „Werkstofftechnikum“ im Verbundstudiengang Master Angewandte Kunststofftechnik an der Hochschule Schmalkalden;  
Durchführender: Dr. Ruben Schlutter
- ☒ Vorlesungsveranstaltungen zum Fach „Spritzgussimulation“ im Zertifikatsstudiengang Produktionsmanager Kunststofftechnik an der Hochschule Schmalkalden;  
Durchführender: Dr. Ruben Schlutter
- ☒ Laborveranstaltung „Werkstofftechnikum“ im Zertifikatsstudiengang Produktionsmanager Kunststofftechnik an der Hochschule Schmalkalden;  
Durchführender: Dr. Ruben Schlutter
- ☒ Vorlesungsveranstaltungen zum Fach „Konstruieren mit Kunststoffen“ im Verbundstudiengang Master Maschinenbau und Management an der Hochschule Schmalkalden;  
Durchführender: Dr. Ruben Schlutter
- ☒ Praktikum „IMD-Technik“ zur Vorlesung „Innovative Verfahren“ (Prof. Dr.-Ing. Andreas Ujma) im Bachelor-Präsenzstudiengang Kunststofftechnik  
Durchführender: Dr.-Ing. Angelo Librizzi

## Publikationen

1. Malecha, D.; Librizzi, A.: Foliendekoration mittels Digitaldruck – Übersicht zum Stand der Technik. In: Fachtagung Folien+Fahrzeug 2019, Düsseldorf-Kaarst, 12./13.02.2019
2. Mumme, F.: Spritzgießen ohne Haftprobleme. In: K-Zeitung online, 02/2019
3. Mumme, F.: Spritzgießtribometer analysiert Haftung zwischen Werkzeugwand und Formteil. In: K-Aktuell, 03/2019
4. Librizzi, A.: OLED meets Film Insert Molding (DekOLED). In: Südwestfälische Wirtschaft, 03/2019
5. Engemann, P.; Beck, C.: Materialmix im Werkzeugbau für ideale Formteile (Hybrid-Temp). In: VWDF im Dialog, Ausgabe 1 – 2019
6. Engemann, P.: Mit Schweißnähten zur besseren Temperierung (HybridTemp). In: K-Impulse Nr.74, 03/2019
7. Mumme, F.: Entformen von Kunststoffen. In: FORM+WERKZEUG, 03/2019
8. Frettlöh, V. et.al.: Entwicklung von hochbeanspruchten diffusionssgeschweißten Bauteilen für den Werkzeugbau. In: Schweißen und Schneiden 71 (4), 05/2019
9. Fornalczyk, G.: Verschleißschutz für Spritzgießwerkzeuge (Abracoat). In: Der Stahlformenbauer, Ausgabe 2 -2019
10. Frettlöh, V.: Diffusionsgeschweißte Werkzeugeinsätze für Spritzgießformen. In: Der Stahlformenbauer, Ausgabe 2 -2019
11. Engemann, P.: Neue Möglichkeiten zur besseren Temperierung. In: Der Stahlformenbauer, Ausgabe 3 -2019
12. Engemann, P.; Frettlöh, V.: Kunststoffverarbeitungswerkzeuge optimal temperiert. In: Der Stahlformenbauer, Ausgabe 3 -2019
13. Librizzi, A.: Licht & Kunststoff – Verarbeitungs- und Veredelungsverfahren für Symbolbeleuchtungen. In: Lichtdesign 14, Lüdenscheid, 27.06.2019
14. Fornalczyk, G.: Rare-earth-containing zirconia as thermal barrier coating materials for plastic processing tools and device development for heat transfer measurement. In: EuroCVD 22-Baltic ALD 16., Luxemburg, 24.-28.06.2019

15. Sommer, M.: Continuous dosage of solid state precursor material for MOCVD processes and the laser structuring of so-obtained zirconia thin films. In: EuroCVD 22-Baltic ALD 16., Luxemburg, 24.-28.06.2019
16. Frettlöh, V.: Improvement of demolding properties in injection molding processes by application of metal oxide thin films. In: EuroCVD 22-Baltic ALD 16., Luxemburg, 24.-28.06.2019
17. Frettlöh, V. et.al.: Development of diffusion bonded large scale parts for highly stressed tool applications. In: Welding and Cutting 18 (4), 08/2019
18. Engemann, P.: Mit Keramiken gegen Bindenähete. In: K-Impulse 75, 09/2019
19. Batmanov, A.: Ressourceneffizienz durch Thermo-Barriere. In: K-Impulse 75, 09/2019
20. Frettlöh, V.: Improvement of demolding properties in injection molding processes by application of metal oxide thin films. In: V2019., Dresden, 09.10.2019
21. Mumme, F.: Continuous dosage of solid state precursor material for MOCVD processes and the laser structuring of soobtained zirconia thin films. In: V2019., Dresden, 09.10.2019
22. Frettlöh, V.: Keramische MOCVD Beschichtungen für den Einsatz in Spritzgießwerkzeugen zur Beeinflussung von thermischen und Entformungseigenschaften. In: Härterekongress 2019, Köln, 22.10.2019
23. Frettlöh, V.: Gesteigerte Bauteilqualität und Energieeffizienz durch den Einsatz von thermischen Barrierschichten im Kunststoffspritzguss. In: Technomer 2019, Chemnitz, 08.11.2019
24. Schlutter, R.: Entwicklung innovativer biozider Nanopartikel zur Anwendung in der Kunststofftechnik. In: Technomer 2019, Chemnitz, 08.11.2019
25. Schlutter, R.: Reduzierung der Entformungskraft durch innovative Oberflächenmodifizierung. In: Technomer 2019, Chemnitz, 08.11.2019
26. Frettlöh, V., Mumme, F.: Forschungstransfer im Kunststoff-Institut Best Practice. In: BMWi Transferinitiative - Technologie- und Wissenstransfer von der Forschung in die unternehmerische Praxis: Das Beispiel Kunststoff, Lüdenscheid, 19.11.2019

**Gemeinnützige KIMW Forschungs-GmbH**

Tel.: +49 (0) 23 51.6 79 99-0 | Fax: +49 (0) 23 51.6 79 99-66  
Lutherstraße 7 | 58507 Lüdenscheid  
[www.kunststoff-institut.de](http://www.kunststoff-institut.de) | [mail@kunststoff-institut.de](mailto:mail@kunststoff-institut.de)