



Bundesministerium  
für Bildung  
und Forschung



NKS Werkstoffe  
Nationale Kontaktstelle zum  
EU-Programm Horizont 2020

# Materialinnovationen made in Europe

Deutsche Erfolgsgeschichten aus der europäischen Forschungsförderung





# Inhaltsverzeichnis

Informationen zur europäischen Forschungsförderung	2
SENSIndoor: Nanosensor steuert die Luftqualität	6
WALiD: Rotorblatt in neuem Gewand	8
LaWin: „Flüssige Gebäudehüllen“, inspiriert vom Wasserfall	10
CO-PILOT: Nanopartikel nach Maß	12
DIMAP: Tinten mit exquisiten Eigenschaften	14
FlexHyJoin: Das richtige Material am richtigen Ort	16
Bio4Self: Kunststoffe sind längst bio	18
ADIR: Urban Mining der nächsten Generation	20
SINTBAT: Batterien mit bester Ökobilanz	22
N2B-patch: Innovation in der Behandlung von Multipler Sklerose	24
Hinweise zur Antragsstellung	26
Impressum	29

# Informationen zur europäischen Forschungsförderung

**Horizont 2020 ist das Rahmenprogramm der Europäischen Union für Forschung und Innovation. Das Förderprogramm zielt darauf ab, EU-weit eine wissens- und innovationsgestützte Gesellschaft und eine wettbewerbsfähige Wirtschaft aufzubauen. Gleichzeitig trägt es zu einer nachhaltigen Entwicklung bei. Um gezielt in die Gesellschaft wirken zu können, setzt das Programm Schwerpunkte und enthält einen umfassenden Maßnahmenkatalog.**

## Programmaufbau Horizont 2020

Das aktuelle EU-Rahmenprogramm für Forschung und Innovation – Horizont 2020 – ist darauf ausgelegt, eine EU-weite Wissensbasis zu schaffen und eine wettbewerbsfähige Wirtschaft zu erhalten. Das Programm untergliedert sich in mehrere Teile.

Horizont 2020 basiert auf drei Säulen und ist weit mehr als ein Forschungsrahmenprogramm (FRP). Indem es erstmals die bisher getrennten EU-Programme der Forschungs- und Innovationsförderung weitgehend bündelt, soll es dazu beitragen, dass weltweit wettbewerbsfähige Forschung besser in Wachstum und Arbeitsplätze übertragen wird. Der Europäische Forschungsraum ist ein politisches Konzept der Europäischen Union. Ziel ist es, einheitliche Rahmenbedingungen für Forschung und Innovation in Europa zu schaffen. Im Zentrum stehen die Mobilität von Forschenden und der freie Austausch von wissenschaftlichen und technologischen Erkenntnissen.

### • Säule Wissenschaftsexzellenz

Führende Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler in Europa werden nachhaltig unterstützt und gefördert. Der Europäische Forschungsrat (ERC) vergibt *Grants* an exzellente Institute sowie Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler zur Verwirklichung erfolgversprechender Projekte. Mittels der *Future and Emerging Technologies (FET)* wird neuartige Grundlagenforschung vorangetrieben, die den Grundstein zu neuen Technologien und Forschungsfeldern legen soll. Wissenschaftliche Karrieren werden gefördert, indem grenzüberschreitende Forschungsaufenthalte mittels Marie-Sklodowska-Curie-Maßnahmen ermöglicht werden. So werden Nachwuchswissenschaftlerinnen und Nachwuchswissenschaftler bestärkt, Erfahrungen in anderen Ländern zu sammeln. Die Schaffung von Forschungsinfrastrukturen führt zu einer besseren Vernetzung von Forscherinnen und Forschern in Europa und gilt mit Blick auf Innovationen als weltweites Alleinstellungsmerkmal.

### • Säule Führende Rolle der Industrie

Nicht allein in Universitäten und Hochschulen findet Forschung und Entwicklung statt – sie spielt auch eine zentrale Rolle in der Industrie. Gezielt werden Schlüsseltechnologien – *Leadership in Enabling and Industrial Technologies (LEIT)* – zur Förderung von neuen Produkten und mehr Wettbewerbsfähigkeit gefördert. Die Entwicklung neuer Materialien oder Produktionstechnologien ist zum einen als Geschäftsfeld relevant, zum anderen bietet sie darüber hinaus eine Grundlage für Lösungen gesellschaftlicher Herausforderungen. Nicht zuletzt soll der Zugang zu Risikofinanzierung geschaffen werden, da immer erhebliche Investitionen notwendig sind, um gute Ideen zur Anwendung zu bringen. Durch die Etablierung eines spezifischen KMU-Instruments werden innovationsstarke kleine und mittelständische Unternehmen wirksamer eingebunden.

### • Säule Gesellschaftliche Herausforderungen

Ein Großteil der Fördermittel wird für Projekte aufgewendet, die sich mit der Lösung gesellschaftsrelevanter Fragestellungen beschäftigen: Der demografische Wandel etwa führt zu Veränderungen und Herausforderungen in der medizinischen Versorgung und Pflege. Daher müssen Konzepte für moderne Gesundheitsversorgung und Pflege entwickelt werden. Um die Lebensmittelversorgung der wachsenden Bevölkerung sicherzustellen, muss in nachhaltige Agrarwirtschaft, Fischerei, Biowirtschaft und maritime Forschung investiert werden. Der Klimawandel selbst und seine Folgen müssen begrenzt werden. Zur Erzielung der Ziele zur Limitierung der Treibhausgasemissionen (bis 2050 um 95 Prozent) sollen beispielsweise alternative, nachhaltige Brennstoffe für die Mobilität entwickelt und eine kostengünstige CO<sub>2</sub>-neutrale Energieversorgung geschaffen werden. Ein ressourcenschonender, umweltfreundlicher Verkehr muss vorangetrieben werden. Dazu zählen auch Konzepte für ein geringeres Verkehrsaufkommen.

## Programmaufbau Horizont 2020

I. Wissenschafts- exzellenz	II. Führende Rolle der Industrie	III. Gesellschaftliche Herausforderungen	Ausweitung der Beteiligung
Europäischer Forschungsrat (ERC)	Grundlegende und industrielle Technologien (LEIT)  Informations- und Kommu- nikationstechnologien (IKT); Nanotechnologien, Fortschrittliche Materialien, Biotechnologie, Produktions- techniken (NMBP); Raumfahrt	Gesundheit, demografischer Wandel und Wohlergehen	Wissenschaft mit der und für die Gesellschaft
Künftige und neu entstehende Technologien (FET)		Europäische bioökonomische Herausforderungen	
Marie-Sklódowska-Curie- Maßnahmen	Risikofinanzierung	Sichere, saubere und effiziente Energie	Gemeinsame Forschungsstelle (JRC)
Forschungsinfrastrukturen	Innovation in KMU	Intelligenter, umweltfreund- licher und integrierter Verkehr	
<p>Bezeichnungen teilweise verkürzt wiedergegeben; vgl. <a href="http://horizont2020.de/einstieg-programmstruktur.htm">horizont2020.de/einstieg-programmstruktur.htm</a></p>		Klimaschutz, Umwelt, Ressourceneffizienz und Rohstoffe	
		Integrative, innovative und reflexive Gesellschaften	
		Sichere Gesellschaften	

Migration, Integration und soziale Ungerechtigkeit machen die Schaffung eines gemeinsamen Verständnisses der gesellschaftlichen Herausforderungen unabdingbar. Kriminalität, Terrorismus und Katastrophen erfordern verschiedenste Forschungsschwerpunkte zur Entwicklung unterschiedlicher Gegenmaßnahmen.

## Weitere Aktivitäten

Neben diesen drei Säulen werden noch weitere Ziele verfolgt. Wirtschafts- und forschungsschwache Regionen werden gefördert, um eine möglichst breite Basis innovationsfreudiger Spitzenforschung zu schaffen. Ebenso soll die Gesellschaft mehr in die Wissenschaft mit eingebunden werden. Die Gemeinsame Forschungsstelle (JRC) ist der wissenschaftliche Dienst der EU-Kommission und berät die EU in wissenschaftlichen Fragen zur Politikgestaltung. Das Europäische Innovations- und Technologieinstitut (EIT) fördert und stärkt Synergien zwischen Wirtschaft, Bildung und Forschung.

## Ausblick Horizont Europa

Nach Auslaufen des EU-Rahmenprogramms Horizont 2020 (Laufzeit 2014–2020) wird das Nachfolgeprogramm Horizont Europa starten und den Zeitraum zwischen 2021 und 2027 abdecken. Dabei werden viele bewährte Bestandteile aus Horizont 2020 aller Voraussicht nach beibehalten, sodass sich das neue Programm wiederum in drei Säulen untergliedert:

- Excellent Science
- Global Challenges and European Industrial Competitiveness
- Innovative Europe

Einen Überblick über den aktuellen Diskussionsstand findet sich auf <http://ec.europa.eu/horizon-europe>.

## Deutsche Erfolgsgeschichten

Von den rund 2 Mrd. Euro Fördermitteln, die in den ersten vier Jahren von Horizont 2020 im Programmbereich Nanotechnologies, Advanced Materials, Biotechnology and Advanced Manufacturing and Processing (NMBP) bewilligt wurden, gingen 17,5 Prozent an deutsche Partner. Damit schneiden deutsche Antragsteller in diesem Bereich im

Vergleich zu anderen Programmteilen besonders erfolgreich ab. Eine andere Kennzahl unterstreicht noch eindrucksvoller die Bedeutung europäischer Projekte für die nationale Forschungslandschaft: 84 Prozent aller NMBP-Projekte laufen mit deutscher Beteiligung.

Die Motivation für eine Teilnahme an EU-Projekten ist unterschiedlich. Die meisten Antragsteller schätzen insbesondere die Komplementarität der europäischen Programme zur nationalen Förderung. Denn viele Forschungsfragen können nur im internationalen Kontext angegangen werden und wären mit einem rein nationalen Konsortium nicht lösbar. Die internationale Vernetzung im spezifischen Themenfeld, die Erschließung neuer Märkte sowie der Zugang zu europäischen Forschungs- bzw. Industrie-Infrastrukturen (z. B. Pilotlinien, Open Innovation Test Beds) stellen weitere Gründe für das Engagement deutscher Projektpartner dar. In Horizont 2020 stammt mehr als die Hälfte aller deutschen Antragsteller aus der Industrie. Dies ist ein weiterer Beleg für die Attraktivität der EU-Forschungsprogramme sowohl für Großunternehmen als auch für kleine und mittlere Unternehmen (KMU).

In dieser Broschüre werden die Erfolgsgeschichten zehn deutscher Partner skizziert, um den Mehrwert der EU-Forschungsförderung zu verdeutlichen. Die vorgestellten Vorhaben zeigen dabei nicht nur die große thematische Bandbreite und Vielfalt der Materialforschung, sondern legen auch exemplarisch dar, dass sich grenzüberschreitende Zusammenarbeit für jeden Einzelnen auszahlt. So sollen potenzielle Antragsteller aus Forschung und Industrie für eine aktive Teilnahme am nächsten Rahmenprogramm Horizont Europa gewonnen werden.

Die vorgestellten Projekte wurden im Rahmen des Forschungs- und Innovationsprogramms der Europäischen Union Horizont 2020 auf Grundlage der nachfolgenden Finanzhilfvereinbarungen gefördert:

SENSindoor:	604311
WALiD:	309985
LaWin:	637108
CO-PILOT:	645993
DIMAP:	685937
FlexHyJoin:	677625
BIO4SELF	685614
ADIR:	680449
SINTBAT:	685716
N2B-patch:	721098

Deutsche Erfolgsgeschichten  
aus der europäischen Forschungsförderung

# Nanosensor steuert die Luftqualität

Neun Forschungspartner arbeiteten länderübergreifend daran, mit fortschrittlichen Sensorsystemen die Luftqualität in Innenräumen zu überwachen und durch bedarfsgerechte Lüftung für saubere Luft zu sorgen. Im internationalen Projekt SENSIndoor wurden massentaugliche Produktionsmethoden entwickelt, die die Herstellung günstiger Sensoren ermöglichen.

Die Innenraumluftqualität hat einen großen Einfluss auf unsere Gesundheit, denn wir verbringen etwa 80 bis 90 Prozent des Tages in geschlossenen Räumen.<sup>1</sup> Um eine gute Luftqualität gewährleisten zu können, sind fortschrittliche Sensorsysteme erforderlich, die laufend die Luftqualität insbesondere im Hinblick auf gesundheitsschädliche flüchtige organische Verbindungen überwachen. Wenn die Konzentration dieser gesundheitsschädlichen Verbindungen zu hoch ist, kann durch eine bedarfsgerechte Lüftung ein optimaler Kompromiss zwischen Energieverbrauch und gesunder Raumluft erzielt werden.

Im Projekt SENSIndoor wurden länderübergreifend in Frankreich, Finnland, Schweden sowie in der Schweiz und Deutschland Sensorsysteme erforscht, die exakt diese Anforderungen erfüllen. Die entwickelten Sensoren, die eine wohldefinierte Nanostrukturierung aufweisen, sind

extrem empfindlich und selektiv bezüglich der Detektion von gesundheitsschädlichen Verbindungen. Außerdem hat das Konsortium eine massentaugliche Produktionsmethode entwickelt, um so kostengünstige Sensoren herzustellen.

## Entwicklung von neuen Mikro-Präkonzentratoren

In der Praxis konzentrierte sich das Projekt auf die drei Schadgase Benzol, Formaldehyd und Naphthalin, die eine besonders hohe Gesundheitsgefahr darstellen. Diese Verbindungen sind häufig in Farbanstrichen, Fußböden oder Möbeln enthalten und schon in kleinen Konzentrationen sehr toxisch aufgrund ihrer krebserregenden Eigenschaften.

Ein zentraler innovativer Ansatz im Projekt war die Entwicklung von neuen Mikro-Präkonzentratoren auf Basis von porösen metallorganischen Gerüsten und Polymerschichten, die bestimmte Moleküle sehr selektiv binden. Erstmals konnten Präkonzentratoren demonstriert werden, bei denen der Gastransport allein durch Diffusion erfolgt und somit keine teuren und anfälligen Mikropumpen erfordert.

Durch die Aufkonzentration der Zielgase konnte eine Steigerung der Sensitivität um etwa zwei Größenordnungen demonstriert werden. Durch eine gleichzeitige Reduzierung von Störeinflüssen durch Permanentgase wie CO, H<sub>2</sub> und Wasser wurde eine bis dato unerreichte Selektivität von mehr als vier Größenordnungen (z. B. für 1 ppb Benzol in einem Hintergrund von 10 ppm Ethanol) erzielt. Die Sensorsysteme wurden in umfangreichen Labor- und Feldversuchen erprobt und die Ergebnisse durch Vergleichsstudien in metrologischen Forschungseinrichtungen in Deutschland und Italien verifiziert.

„Das SENSIndoor-Projekt bringt eine erhebliche Multiplikationswirkung für die beteiligten Partner mit, deren Gesamtpotenzial heute noch nicht endgültig absehbar ist. Die Vernetzung der beteiligten Arbeitsgruppen aus Forschung und Industrie hat sich durch das EU-Projekt und die damit verbundene internationale Sichtbarkeit

## SENSIndoor

**PROJEKTLAUFEIT:** 01.01.2014–31.12.2016

**PROJEKTVOLUMEN:** 4 619 315,60 Euro

**EU-FÖRDERUNG:** 3 399 995,00 Euro

### WEBSITE ZUM PROJEKT:

[sensindoor.eu](http://sensindoor.eu)

### ANSPRECHPARTNER:

Prof. Dr. Andreas Schütze, Universität des Saarlandes

### KONSORTIUM:

- Koordinator: Universität des Saarlandes, Deutschland
- NanoSense SARL, Frankreich
- Fraunhofer-Gesellschaft zur Förderung der angewandten Forschung e. V., Deutschland
- Oulun yliopisto, Finnland
- Universität Linköping, Schweden
- SenSiC AB, Schweden
- SGX Sensortech S.A., Schweiz
- 3S – Sensors, Signal Processing, Systems GmbH, Deutschland
- Picodeon Ltd Oy, Finnland
- Eurice GmbH, Deutschland

<sup>1)</sup> Quelle: bmu.de



wesentlich erhöht. Dies ermöglichte schließlich auch den Einstieg in neue Anwendungsfelder“, betont Prof. Dr. Andreas Schütze von der Universität des Saarlandes, der mit der Koordination des Projektes betraut war.

## Auf dem Weg zu marktreifen Sensorsystemen

Inzwischen wurde an der Universität Linköping das Spin-off DANSiC ausgegründet, das Gas-Sensorsysteme für die Bewertung der Innenraumluftqualität auf Basis der Forschungsergebnisse entwickelt und vermarktet. Das teilweise im Rahmen des Projektes entwickelte Softwarepaket DAV<sup>3</sup>E (Data Analysis and Verification/Visualization/Validation Environment) steht als Open-Source-Projekt zur Verfügung. Es handelt sich um ein Tool, das sowohl in der Forschung als auch in der Produktentwicklung eine schnelle Entwicklung und sichere Bewertung von Auswertalgorithmen ermöglicht. Durch die freie Verfügbarkeit ist dieses Tool für weitere interessierte Gruppen nutzbar.

Derzeit arbeiten die industriellen Partner auf der Basis der Projektergebnisse an der Entwicklung verschiedener Produkte bis zur Marktreife, sowohl im Bereich von Sensorelementen als auch von Sensorsystemen. Hierfür kooperieren die Projektpartner in unterschiedlichen Konstellationen und mit weiteren Partnern. Mehrere wissenschaftliche Mitarbeiter der akademischen Projektpartner wechselten zu industriellen Projektpartnern, um dort die im Projekt begonnenen Arbeiten im Hinblick auf eine Vermarktung der Technologien fortzusetzen. Das Anwendungsspektrum erstreckt sich dabei nicht nur auf die Innenraumluftqualität, sondern auch auf Sensoren für die Außenluftqualität sowie auf die Geruchsbewertung. Damit sollen weitere Anwendungsbereiche wie die Atemgasanalyse oder das Geruchsmonitoring erschlossen werden. Hierdurch wird auch die Tür für neue Ansätze im Bereich des Umweltmonitorings ergänzend zu den wenigen bestehenden offiziellen Messstationen aufgestoßen, z.B. für Smart Citys mit neuen Umweltinformationsdiensten und für Citizen-Science-Projekte.

## Frühzeitige Begeisterung der Nachwuchskräfte

Des Weiteren entstanden zum Teil bereits während der Projektlaufzeit neue Kontakte und Kooperationsprojekte.



Batch aus Sensor-Präkonzentrator-Systemen, zum Teil abgedeckt mit exakt positioniertem Gaszutritt

Im Bereich der Messtechnik für flüchtige organische Verbindungen in der Geruchsmessung ist das BMBF-Projekt SEPEG entstanden. Zudem wird auch ein umfassendes Aus- und Weiterbildungskonzept verfolgt, das einerseits industrielle Nutzer und andererseits den akademischen Nachwuchs adressiert. Als eine Komponente ist ein Projekt entstanden, das bereits Schülerinnen und Schüler an die Gasmesstechnik heranführt und für eigene Umweltstudien begeistert, z.B. zur Erfassung der Innenraumluftqualität in Schulen (DBU-Projekt SUSmobil; susmobil.de). Hierdurch sollen frühzeitig Nachwuchskräfte auf dieses spannende Themengebiet aufmerksam gemacht und gleichzeitig ihr Umweltbewusstsein gestärkt werden.

Das SENSIndoor-Projekt wurde im Juni 2017 mit dem Best Project Award beim EuroNanoForum 2017 in Malta ausgezeichnet. Der Preis würdigt aktuelle und abgeschlossene EU-Projekte aus dem Bereich Nano- und Materialwissenschaften im Hinblick auf ihr herausragendes Potenzial für Industrie und Gesellschaft. Die binationale Dissertation von Dr. Christian Bur, Universität des Saarlandes und Universität Linköping, wurde 2015 mit dem Messtechnik-Preis des AHMT (Arbeitskreis der Hochschullehrer für Messtechnik) als beste Dissertation im deutschsprachigen Raum im Gebiet Messtechnik ausgezeichnet.

# Rotorblatt in neuem Gewand

**Rotorblätter mit wirtschaftlichem, fortschrittlichem und leichtem Verbundwerkstoffdesign (Wind Blade Using Cost-Effective Advanced Composite Lightweight Design, kurz WALiD) eines internationalen Forschungskonsortiums mit 15 Beteiligungen begeistern die Fachwelt. Gemeinsames Ziel der Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler sowie der beteiligten Firmen ist die Entwicklung eines wettbewerbsfähigen Rotorblattdesigns für die europäische Offshore-Windindustrie. Sie leisten damit einen wichtigen Beitrag zur Erreichung der EU-Klimaziele.**

Offshore-Windenergieanlagen werden immer größer. Transport, Montage, Demontage und auch die Entsorgung der gigantischen Rotorblätter stellen die Betreiber stets vor neue Herausforderungen. Windkraftanlagen mit bis zu 80 Meter langen Rotorblättern und einem Rotordurchmesser von mehr als 160 Metern sind auf maximale Energieerträge ausgelegt. Da die Länge der Blätter durch ihr Gewicht begrenzt ist, ist es notwendig, leichte Systeme zu entwickeln,

die gleichzeitig eine hohe Materialfestigkeit bieten. Denn das geringere Gewicht erleichtert den Auf- und Abbau der Windturbinen und verbessert die Stabilität auf See.

## Entwicklung neuer thermoplastischer Tape-Materialien für einen automatisierten Tapelegeprozess

Die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler nehmen die Form der Rotorblätter wie auch die Materialien in den Fokus. So wurde unter anderem das Design des Rotorblatts an thermoplastische Tape-Materialien angepasst und die Blattanbindung mit einem neuen Anschlusskonzept versehen. Thermoplastische Tape-Materialien wurden im Rahmen des Projekts für einen automatisierten Tapelegeprozess für verschiedene strukturelle und semistrukturelle Rotorblattkomponenten entwickelt. Dabei wurden auch die Eigenschaften von thermoplastischen Schäumen als Kernmaterialien für Sandwichkomponenten im Bereich des „shear webs“ (Scherstegs) genauer in Augenschein genommen. Zusätzlich wurde die Umweltbeständigkeit von thermoplastischen Beschichtungen verbessert.

Derzeit werden Rotorblätter für Windkraftanlagen mit einem hohen Anteil an manuellen Arbeitsschritten aus duroplastischen Harzsystemen hergestellt. Einer der Hauptnachteile ist, dass diese nicht recycelbar sind, da sie nach einmaliger Erwärmung dauerhaft aushärten. WALiD setzt im Gegensatz dazu auf die Verwendung von thermoplastischen Materialien. Dabei handelt es sich um wiederaufschmelzbare Polymermaterialien, die in automatisierten Produktionsanlagen mit weniger manuellem Arbeitsaufwand als herkömmliche duroplastische Polymere effizient verarbeitet werden können. Diese thermoplastischen Materialien eignen sich sowohl für die Außenschale der Rotorblätter als auch für Segmente der inneren Tragstruktur.

Hochsteife, kohlefaserverstärkte Thermoplaste bewähren sich für die Bereiche mit der größten Belastung des Blattes, während Glasfaser die weniger beanspruchten Bereiche verstärkt. Erstmals wurde für thermoplastische

## WALiD

**PROJEKTLAUFEIT:** 01.02.2013–31.01.2017

**PROJEKTVOLUMEN:** 5 499 110,65 Euro

**EU-FÖRDERUNG:** 3 964 797,00 Euro

### WEBSITE ZUM PROJEKT:

[eu-walid.com/the-project](http://eu-walid.com/the-project)

### ANSPRECHPARTNER:

Björn Beck und Carolyn Fisher,  
Fraunhofer-Institut für Chemische Technologie ICT

### KONSORTIUM:

- Koordinator: Fraunhofer-Gesellschaft zur Förderung der angewandten Forschung e.V., Deutschland
- WPS Windrad Power Systems GmbH, Deutschland
- Norner Innovation AS, Norwegen
- Smithers Rapra and Smithers Pira Limited, Vereinigtes Königreich
- Nederlandse Organisatie voor Toegepast Natuurwetenschappelijk Onderzoek TNO, Niederlande
- A.P.T. Archimedes Polymer Technologies LTD, Zypern
- PPG Industries Fiber Glass BV, Niederlande
- Norner AS, Norwegen
- Comfil ApS, Dänemark
- Loiretech SAS, Frankreich
- Coriolis Composites SAS, Frankreich
- Stichting Nederlands Normalisatie-Instituut, Niederlande
- Windrad Engineering GmbH, Deutschland
- Norner Research AS, Norwegen
- Loiretech Mauves, Frankreich

Materialien im Bereich des „shear webs“ ein modulares Design eingeführt, wodurch Einzelsegmente separat voneinander gefertigt werden können und anschließend zusammengefügt werden. Neue, ultraleichte, steife thermoplastische Tape-Materialien mit erhöhten mechanischen Eigenschaften erlauben eine schnelle und kostengünstige Herstellung der Rotorblätter durch einen hohen Grad an Automatisierung.

## Gemeinsame Arbeit für ein Zukunftsthema

Die thermoplastische WALiD-Beschichtung ist eine schützende Oberflächenschicht, die eine erhöhte Haltbarkeit unter rauen Bedingungen aufweist. Darüber hinaus wurde ein neues Vorhersagemodell validiert, das die Entwicklung der Beschichtungen unterstützt. Der Zusammenhang zwischen Oberflächeneigenschaften und Erosionsbeständigkeit wurde so deutlicher erkennbar.

„WALiD gab uns die Möglichkeit, auf Kompetenzen aus ganz Europa zurückzugreifen und Ergebnisse zu erreichen, die auf nationaler Ebene nicht möglich gewesen wären. Es war ein Privileg, mit den Partnern an einem so wichtigen Zukunftsthema zu arbeiten. Aus unserer gemeinsamen Arbeit sind auch bilaterale Kooperationen entstanden, von denen die jeweiligen Firmen auch nach Projektende noch profitieren“, sagt Björn Beck vom Fraunhofer-Institut für Chemische Technologie ICT, das mit der Projektkoordination betraut war.

Die Zusammenarbeit mit der Wissenschaft ermöglichte es den Industriepartnern, die Ergebnisse auf ihre Organisationen zu übertragen und damit ihre Wettbewerbsfähigkeit zu steigern. Das wird als wichtiger Beitrag für die europäische Innovationskraft gewertet. Zudem förderte die Zusammenarbeit auf internationaler Ebene auch das Zusammenspiel von verschiedenen Segmenten der Lieferkette, was sich wiederum positiv auf deren Qualität ausgewirkt hat.

## Forschung für die Erreichung der EU-Klimaziele

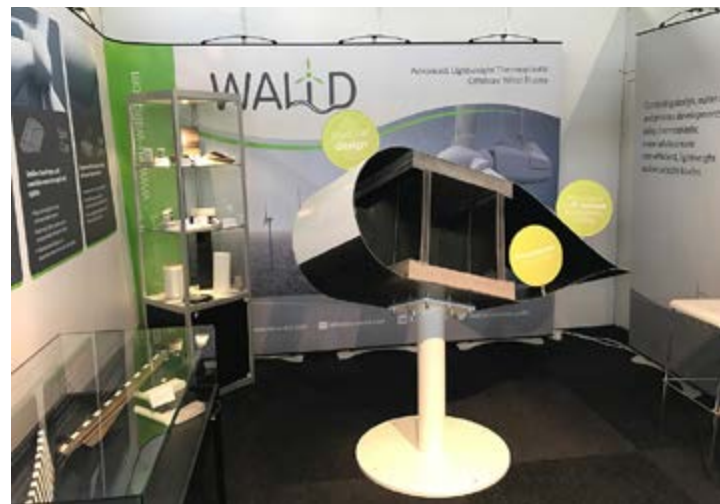
Die EU hat sich 2009 das rechtsverbindliche Ziel gesetzt, bis 2030 mindestens ein Fünftel ihrer Energieversorgung aus Wind und anderen erneuerbaren Ressourcen zu

decken. Bis 2020 soll Windenergie 12 bis 14 Prozent des gesamten EU-Strombedarfs decken. Dieser Beitrag verteilt sich sowohl auf die Onshore- als auch auf die Offshore-Windenergie. Neben dem für alle erneuerbaren Energien beschlossenen Ziel für 2020 wurden für die Windindustrie die folgenden Vorgaben festgelegt:

- 180 GW installierte Gesamtleistung (davon 35 GW Offshore)
- Jährliche Installationen von 16,8 GW (davon 6,8 GW Offshore)

Dieses Ziel wurde von der EU 2014 auf 27 Prozent der erneuerbaren Ressourcen bis zum Jahr 2030 angehoben, was 46 bis 49 Prozent der erzeugten Elektrizität entspricht. Prognosen sehen vor, dass Windenergie den größten Teil dieses Stroms mit einem Beitrag von mindestens 21 Prozent erzeugen wird.

Obwohl die europäische Offshore-Windindustrie in den vergangenen zehn Jahren ein enormes Wachstum verzeichnet hat, steht sie immer noch vor Herausforderungen. Die größte besteht darin, die Kostenwettbewerbsfähigkeit zu erreichen. Dazu zählt auch die Reduzierung der mit der Lieferkette verbundenen finanziellen Aufwendungen wie etwa Bau- und Montageeinrichtungen. Analysen zufolge muss die europäische Offshore-Windindustrie 26 Prozent der Kosten senken, um bis 2023 gegenüber konventionellen Energieträgern wettbewerbsfähig zu sein. Das WALiD-Projekt will die Industrie dabei unterstützen, dieses Ziel zu erreichen.



Projektpräsentation auf Messestand

## „Flüssige Gebäudehüllen“, inspiriert vom Wasserfall

Im Rahmen des durch die Europäische Kommission geförderten Projektes „LaWin – Large Area Fluidic Windows“ wurden sogenannte „flüssige Gebäudehüllen“ entwickelt. Eine flüssige Gebäudehülle imitiert die thermischen Eigenschaften eines Wasserfalls: In Außenwänden und Fenstern zirkulierende, für sichtbares Licht transparente Flüssigkeiten verwandeln passive Wandflächen in thermisch aktive Gebäudekomponenten. Durch ein großes, transparentes Fenster strömt ein Fluid, und die Scheibe fungiert als Wärmetauscher.

Die Projektidee basiert auf der Strukturierung einer Glasscheibe mit einem innen liegenden Kapillarsystem. Innerhalb des Systems befindet sich ein Fluid, das für den Betrachter im Zusammenhang mit den Kapillaren nicht sichtbar ist. Mithilfe von Druckleitungen zirkuliert das Fluid innerhalb des Systems mit entsprechenden Absorptionsvorgängen im Scheibenbereich und einer Anbindung an ein Heizsystem. Das Konzept ist hervorragend für Niedertemperatursysteme geeignet, also für Heizsysteme, die mit vergleichsweise niedrigen

Temperaturen arbeiten. Während für klassische Innenraumheizungen oft Vorlauftemperaturen von 60 Grad Celsius üblich waren, können Niedertemperatursysteme selbst an kalten Wintertagen mit häufig nicht mehr als 30 Grad Celsius auskommen. Eingesetzt werden diese bisher z. B. in Fußbodenheizungen.

### Abkehr von umweltschädlichen fossilen Rohstoffen

Gebäude sind für mehr als ein Drittel des weltweiten Energiebedarfs verantwortlich, einschließlich der damit verbundenen CO<sub>2</sub>-Emissionen. Gleichzeitig verbringen wir mehr als drei Viertel unseres Lebens im Inneren von Gebäuden und stellen dabei immer höhere Ansprüche an Komfort und Funktionalität. „Die Entwicklung neuer, nachhaltiger, CO<sub>2</sub>-effizienter Materialien und Verfahren zur Reduktion des Energiebedarfs von Gebäuden bei gleichzeitiger Erhöhung der Gebädefunktionalität und des Komfortlevels ist daher eine der großen Prioritäten in globalen Technologie-Roadmaps“, sagt Prof. Lothar Wondraczek von der Friedrich-Schiller-Universität Jena, der das Projekt mit 14 Konsortialpartnern koordiniert hat. „Der Rahmen des Programms Horizont 2020 ermöglichte es uns als Konsortium, die Forschungs- und Entwicklungsarbeiten von Anfang an unter einer realistischen Umsetzungsperspektive durchzuführen. Zudem konnten durch breite Vernetzungsaktivitäten über verschiedene Projektcluster hinaus unmittelbare Synergien erschlossen und Ansätze für weitere Spin-off-Technologien entwickelt werden.“

Der Vorteil der „flüssigen Gebäudehülle“ ist nicht nur die deutlich effizientere Isolierung, sondern auch die sehr viel kostengünstigere Beheizung oder Kühlung, die sich an die Wettervorhersage und die Jahreszeit anpasst. Die zirkulierende Flüssigkeit wird dabei als Wärmeträgermedium genutzt, mit dessen Hilfe Wärme aus der Umgebung in das Gebäude eingetragen, innerhalb des Gebäudes verteilt oder auch heraustransportiert werden kann.

## LaWin

**PROJEKTLAUFZEIT:** 01.01.2015–31.12.2017

**PROJEKTVOLUMEN:** 7 508 780,88 Euro

**EU-FÖRDERUNG:** 5 481 912,25 Euro

### WEBSITE ZUM PROJEKT:

[lawin.uni-jena.de](http://lawin.uni-jena.de)

### ANSPRECHPARTNER:

Prof. Dr. Lothar Wondraczek,  
Friedrich-Schiller-Universität Jena

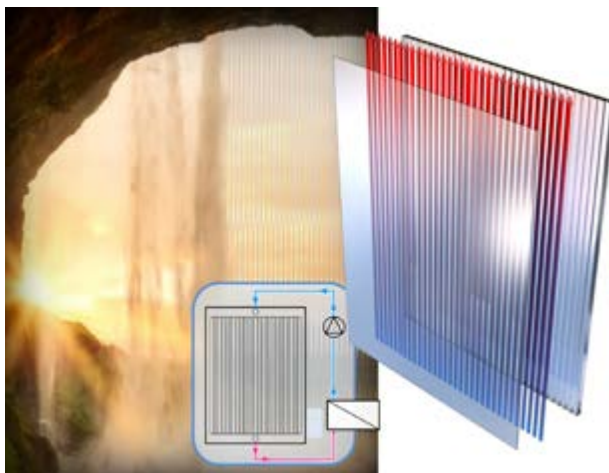
### KONSORTIUM:

- Koordinator: Friedrich-Schiller-Universität Jena, Deutschland
- Schott Technical Glass Solutions GmbH, Deutschland
- Bauhaus-Universität Weimar, Deutschland
- Ducatt NV, Belgien
- EurA Innovation GmbH, Deutschland
- Glass Service, a.s., Tschechien
- Flachglas Sachsen GmbH, Deutschland
- Eilenburger Fenstertechnik GmbH & Co. KG, Deutschland
- A. + E. Ungricht GmbH + Co. KG, Deutschland
- Fickert + Winterling Maschinenbau GmbH, Deutschland
- Beuth Hochschule für Technik Berlin, Deutschland
- Folienwerk Wolfen GmbH, Deutschland
- Clariant Produkte (Deutschland) GmbH, Deutschland
- LISEC Austria GmbH, Österreich



## Ganzheitlicher Ansatz für neue Technologie

Auf Basis funktionaler, großflächiger Glaselemente mit integrierten Kanalstrukturen wurde eine Technologie bereitgestellt, die flüssige Gebäudehüllen zur Realität macht. In einem ganzheitlichen Ansatz wurde diese Technologie bis zur Verfügbarkeit kompletter Fluidikfenster mit Zwei- und Dreifachverglasung vorangetrieben. Derartige Fenstersysteme eignen sich nicht nur als Wärmetauscher, sondern gleichzeitig auch zur aktiven Verschattung, zur solarthermischen Energiegewinnung oder beispielsweise zur steuerbaren Einfärbung von Fassaden. In Form flächiger Kühlelemente können sie zudem heutige Klimaanlage mit starker Luftbewegung und hohem Energiebedarf nachhaltig ersetzen.



Prinzipdarstellung der Projektidee

Die grundlegende Herausforderung des Projektes war es, einen flüssigen Wärmeträger kontrolliert, großflächig und aus ökologischer wie ökonomischer Sicht nachhaltig in hochwertige Gebäudehüllen zu integrieren. Von besonderem Interesse war dabei die Integration in Fenstersysteme, die einerseits die energetisch schwächste Stelle moderner Gebäudehüllen darstellen, andererseits die hinsichtlich optischer Transparenz und Integration größte Herausforderung bieten: Wenn es gelingt, Flüssigkeiten in „Smart Windows“ zu integrieren, so ist die Integration auch in andere, nicht transparente Fassadenelemente möglich.

Gegenstand der Förderphase waren großflächige Fluidikelemente, die es in einzigartiger Weise erlauben, funktionale Flüssigkeiten in Fenster- und Fassadenelemente aktiver und passiver Gebäudehüllen zu integrieren. Diese Elemente basieren auf einem Glas-Glas-Laminat, in dem eines der beteiligten Gläser der Funktion entsprechende Kapillarstrukturen enthält. Die Kapillarstrukturen dienen dem Transport einer Wärmetauscherflüssigkeit. Für die flächendeckende Anwendung müssen die Laminatenelemente nicht nur ihre Primärfunktion dauerhaft tragen, sondern einerseits in bestehende Produktionsprozesse für Zwei- und Dreifachverglasungen integrierbar sein, andererseits den Anforderungen einer Lebensdaueranalyse standhalten. Ergänzt wurde dies durch die Entwicklung von Integrationskonzepten für die Implementierung mit einer Gebäudeinfrastruktur. Dazu gehörten Fragen der Verschaltung mehrerer Elemente, Fluidik- und Wärmeübergabekonzepte (Wärmepumpen) sowie Fragen der Nutzerakzeptanz.

Aus diesem Erfolg ergaben sich zahlreiche Szenarien der weiteren Anwendung. So sind etwa neue Wege der Innenraumklimatisierung auf Basis großflächiger, architektonisch ansprechender und energetisch nachhaltiger Kühltechnologie denkbar – oder auch die Verwendung von Fluidikfenstern als Luftwärmetauscher, die direkte Beheizung (oder Kühlung) durch Fensterflächen sowie die Implementierung funktionaler Flüssigkeiten (z. B. foto-, elektro- oder thermochrom) zur Beschattung und gezielten Steuerung des spektralen Lichteintrages in Gebäuden. „Das Alleinstellungsmerkmal dieser neuartigen Technologie ergibt sich dabei nicht aus den Einzelfunktionen, sondern vor allem aus der Kombinationsfähigkeit mehrerer Funktionen“, so Lothar Wondraczek.

# Nanopartikel nach Maß

Viele gute Ideen für neue Industrieprodukte bleiben in der Schublade, weil die technische Infrastruktur zum Ausprobieren fehlt – insbesondere, wenn es um den Einsatz von Nanopartikeln geht. Hier setzt das Forschungsprojekt CO-PILOT an: Es ermöglicht die flexible Herstellung von verhältnismäßig kostengünstigen Nanokompositen im Pilotmaßstab. 13 Konsortiumspartner haben eine „Open-Access-Infrastruktur“ aufgebaut, die es vor allem kleinen und mittelständischen Unternehmen (KMU) ermöglicht, mit Nanotechnologie zu experimentieren.

Von der „Nanoküche“ spricht man am Fraunhofer-Institut für Silicatforschung ISC in Würzburg, um Laien anschaulich darzulegen, woran in den Laboren gearbeitet wird. Das hoch spezialisierte technische Equipment umfasst unter anderem einen 100-Liter-Rührreaktor für das Upscaling von Laborsynthesen oder eine mannshohe halbkontinuierliche Zentrifuge. Damit ist das ISC eine Anlaufstelle für Unternehmen und wissenschaftliche Einrichtungen, die eine Nanoidee in

einem kleinen Maßstab ausprobieren möchten. Da vor allem KMU nicht unbedingt auf die für die Herstellung und Modifizierung von Nanopartikeln sowie deren Weiterverarbeitung nötige technische Infrastruktur verfügen, schließt dieses Angebot eine Lücke.

## Nanopartikel wecken Ideen für neue Produkteigenschaften

Funktionelle Kompositwerkstoffe auf der Basis von Nanomaterialien oder -partikeln haben in den vergangenen Jahren kontinuierlich an Bedeutung gewonnen. Viele interessante Materialeigenschaften lassen sich durch Nanoadditive erreichen – das weckt Ideen für neue Produkteigenschaften. Ein Manko für Produktentwickler ist bisher jedoch die schlechte Verfügbarkeit von produktionstauglichen Nanopartikeln. Die beschriebenen Produktionsmengen sind meist kleiner als ein Gramm, die Infrastruktur für die Herstellung größerer Mengen ist teuer, die Syntheseprozesse sind störungsanfällig und nicht ohne Weiteres skalierbar. Viele gute Ideen scheitern so schon vor der eigentlichen Produktentwicklung.

„Die EU hat damit einen neuen Ansatz der Dienstleistung gefördert“, sagt Dr. Karl Mandel, Leiter der Partikeltechnologie des Fraunhofer ISC. „Ein einfacher und offener Zugang zu hochklassiger Infrastruktur für die zuverlässige Produktion kleiner Chargen von funktionalisierten Nanopartikeln und Nanokompositen zu Testzwecken, das könnte Unternehmen aus Chemie und Pharmazie den Weg hin zu neuen nanobasierten Produkten erleichtern.“ Er vergleicht die Pilotlinie mit einer Hightechküche: „Wir stellen ausgefeiltes Equipment und Profiköche zur Herstellung eines Nanomenüs à la carte oder nach individuellen Wünschen zur Verfügung. So können Unternehmen ihre oder auch unsere Rezepte erstmals testen, bevor sie sich zum Nachkochen oder zum Aufbau einer eigenen Nanoküche entschließen.“ Neben dem ISC sind zwei weitere „Open-Access-Linien“ im

## CO-PILOT

**PROJEKTLAUFZEIT:** 01.01.2015–31.01.2017

**PROJEKTVOLUMEN:** 5 475 358,75 Euro

**EU-FÖRDERUNG:** 5 021 858,50 Euro

### WEBSITE ZUM PROJEKT:

[h2020copilot.eu](http://h2020copilot.eu)

### ANSPRECHPARTNER:

Dr. Karl Mandel, Fraunhofer-Institut für Silicatforschung ISC

### KONSORTIUM:

- Koordinator: Nederlandse Organisatie voor Toegepast Natuurwetenschappelijk Onderzoek TNO, Niederlande
- Fraunhofer-Gesellschaft zur Förderung der angewandten Forschung e.V., Deutschland
- SKZ-KFE gGmbH, Deutschland
- Momentive Performance Materials GmbH, Deutschland
- LS Instruments AG, Schweiz
- Sonaxis S.A., Frankreich
- Institute of Occupational Medicine, Vereinigtes Königreich
- Trinity College Dublin, Irland
- Carl Padberg Zentrifugenbau GmbH, Deutschland
- Nabaltec AG, Deutschland
- Ioniqa Technologies BV, Niederlande
- Kriya Materials BV, Niederlande
- Stichting NanoHouse, Niederlande

niederländischen Eindhoven sowie am Süddeutschen Kunststoffzentrum in Selb aufgebaut worden.

## Projekt ermöglicht einzigartige Ausstattung

Was das Angebot in Würzburg für Kunden besonders interessant macht, ist die langjährige Erfahrung der betreuenden Projektteams im Material- und Eigenschaftsdesign von Partikeln sowie in der Steuerung von komplexen Synthesen. Durch das EU-geförderte Projekt wurde eine einzigartige Ausstattung für robuste und zuverlässige Herstellprozesse ermöglicht. So wurde ein neuartiger Prototyp einer halb kontinuierlichen Zentrifuge zur Partikelabscheidung speziell für diese Pilotlinie entwickelt. Damit werden bis zu fünf Kilogramm Partikelgel mit einem Feststoffgehalt von 70 Prozent pro Zyklus aus dem Syntheseansatz „gerntet“.

Online-Analysegeräte ermöglichen eine ständige Überwachung und Steuerung der Partikelsynthese und -funktionalisierung. Damit sind die Syntheseprozesse ebenso wie die Abscheidung der Partikel exakt steuerbar und effizient und garantieren reproduzierbar das gewünschte Eigenschaftsprofil der Partikel auch im Kilogrammmaßstab.

Erprobt wurde die Pilotlinie mit vier unterschiedlichen Partikelsystemen:

- Layered Double Hydroxides (LDH) als flammhemmende Füllstoffe zur Compoundierung in Kunststoffen
- Titandioxid für optisch hoch brechende Komposite
- hohle Silikapartikel für gefüllte Silikonpolymere
- Magnetpartikel mit katalytisch modifizierten Oberflächen für das Recycling von PET

Materialdesign und Syntheserouten ermöglichen dabei auch die Funktionalisierung von Partikeln hinsichtlich ihrer weiteren Verarbeitung, also beispielsweise die Anpassung an die chemische Beschaffenheit der Matrix bei der Compoundierung.

Nanopartikel helfen etwa dabei, dass Plastik nicht brennt. Oder sie versehen Oberflächen mit neuen Eigenschaften, wie das Beispiel Fotovoltaik zeigt. Die Oberflächen von Fotovoltaikanlagen werden dahingehend verändert, dass die Staubablagerung auf den Glasflächen gestoppt wird.



Der Rührreaktor für Partikelsynthesen im Maßstab 100 Liter

Kunststoffe etwa werden durch Nanotechnologie reißfester und beständiger, was eine ganze Bandbreite von Anwendungen ermöglicht. Auch für die Weiterentwicklung von Brennstoffzellen oder von Katalysatoren eignet sich die „Nanoküche“.

Die Ergebnisse aus dem Projekt CO-PILOT dienen als Grundlage für Folgeprojekte. Das Fraunhofer ISC kümmert sich aktuell in diesem Jahr im EU-Forschungsprojekt OASIS um induktiv heizbare Magnetpartikel für neuartige Pultrusionsansätze im Pilotmaßstab.

# Tinten mit exquisiten Eigenschaften

**Ob ein menschlicher Unterkiefer aus Titan oder eine künstliche Aortaklappe – nicht nur im Gesundheitswesen revolutioniert der 3-D-Druck die Behandlungsmethoden. Mit den Materialien für diese Form der Fertigungstechnik beschäftigte sich das Forschungsprojekt DIMAP: Es wurden Silber- und Keramik-Nanopartikel mit hervorragender Leitfähigkeit, Hochleistungspolymere und schäumbare Tinten für Leichtbauanwendungen entwickelt und optimiert.**

Ziel von DIMAP (Novel nanoparticle enhanced Digital Materials for 3D Printing and their application shown for the robotic and electronic industry) war es, den Anwendungsbereich und die Möglichkeiten des Multimaterial-3-D-Drucks zu erweitern. Es ist gelungen, 3-D-Druckmaterialien für die PolyJet™-Technologie mit völlig neuen Eigenschaftsprofilen zu definieren und nanotechnologisch weiterzuentwickeln. Dabei handelt es sich um:

- elektrisch leitfähige Tinten mit Silbernanopartikeln
- thermisch leitfähige Tinten mit keramischen Nanopartikeln
- schäumbare Tinten für Leichtbauanwendungen
- Hochleistungstinten aus Polyimid

Für den Druck dieser Materialien wurde eine spezifische Druckerarchitektur realisiert.

## Neue Möglichkeiten mit neuen Materialien

3-D-Drucker fertigen heute mehr als Plastikteile – auch Edelstahl, Aluminium oder Titan können verarbeitet werden. Diese Form der additiven Fertigung (im Gegensatz steht die subtraktive Fertigung, die durch Fräsen oder Sägen etwas wegnimmt) verlangt Materialien, die auf die jeweilige Anlagentechnik abgestimmt sind. Zwar besitzt die PolyJet™-Technologie mit der Fähigkeit des Multimaterialdrucks eine herausragende Eigenschaft im Feld der 3-D-Druck-Technologien, die eine beispiellose Funktionsintegration innerhalb eines Printvorgangs ermöglicht. Allerdings wären vielfältigere Materialeigenschaften wünschenswert, und auch mangelnde Haltbarkeit der Materialien war bisher eine wesentliche Schwäche des Prozesses.

An diesem Punkt setzen die 12 Konsortiumspartner an. Das internationale Team mit Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern aus Israel, den Niederlanden, Österreich, Spanien und Deutschland hat sich zum Kernziel gesetzt, mit neuen Materialien neue Möglichkeiten zu schaffen. Sie haben Silber- und Keramiknanopartikel in den Druckprozess integriert und Designstrategien ausgearbeitet, um bessere Produkteigenschaften zu erzielen – eine äußerst anspruchsvolle und komplexe Aufgabe.

Der erste Schritt war die Analyse der Anforderungen an das Material. Dementsprechend wurden passende Rezepturen von den Partnern entwickelt. Durch Beigabe von abgestimmten Nanopartikeln konnte das Ergebnis optimiert werden. Unterstützt wurde die Entwicklung der neuen Materialien durch computerbasierte Simulationsmodelle. So entstanden vier neue Tinten, die dem 3-D-Druck z.B. in der Elektroindustrie neue Spielräume eröffnen:

- elektrisch leitfähige Tinten mit Silbernanopartikeln, zum Drucken von Leiterbahnen und elektrischen Komponenten

## DIMAP

**PROJEKTLAUFZEIT:** 01.10.2015–30.09.2018

**PROJEKTVOLUMEN:** 4 997 351,25 Euro

**EU-FÖRDERUNG:** 4 997 351,25 Euro

### WEBSITE ZUM PROJEKT:

[dimap-project.eu](http://dimap-project.eu)

### ANSPRECHPARTNER:

Thomas Lück, cirp GmbH

### KONSORTIUM:

- Koordinator: Profactor GmbH, Österreich
- Stratasy Ltd., Israel
- Karlsruher Institut für Technologie, Deutschland
- Borealis Polyolefine GmbH, Österreich
- Tiger Coatings, Österreich
- Festo AG & Co. KG, Deutschland
- Universität Linz, Österreich
- Soreq Nuclear Research Center, Israel
- cirp GmbH, Deutschland
- P.V. Nano Cell Ltd., Israel
- Tecnología Navarra de Nanoproductos S.L., Spanien
- Signify Netherlands BV, Niederlande



- thermisch leitfähige Tinten mit keramischen Nanopartikeln, etwa für die Kühlung von LEDs
- schäumbare Tinten für Leichtbauanwendungen und geringen Materialverbrauch
- Hochleistungstinten aus Polyimid für sehr hohe Temperaturbeständigkeit und exzellente chemische Beständigkeit

Unter den Ergebnissen, die das Forschungskonsortium hervorhebt, ist der erste Druck eines polyimidbasierten Materials auf einer PolyJet™-Maschine. „Die DIMAP-Polyimide zeichnen sich durch sehr hohe Temperaturbeständigkeit und sehr gute dielektrische Eigenschaften aus“, betont Thomas Lück, der bei dem Heimsheimer Unternehmen und DIMAP-Konsortialpartner cirp GmbH als Leiter für Vertrieb und Innovationen verantwortlich ist.

Des Weiteren ist es gelungen, silberbasierte Tinten im Druckprozess leitfähig zu sintern – darunter versteht man das Erhitzen eines Werkstoffes zur Veränderung der Struktur, was wiederum die Integration der vorgefertigten Komponenten erleichtert. Während die elektrisch leitfähigen und die Hochleistungs-Polyimid-Tinten im Projekt bereits einen sehr hohen Reifegrad erreichten, verblieben die keramischen und die schäumbaren Tinten in einem labormäßigen Entwicklungsstatus. Sie konnten deswegen noch nicht in die Demonstratoren verbaut werden. Die Verarbeitung der DIMAP-Materialien erfolgte auf einem prototypi-

schen DIMAP-Polyjet-Drucker, der bei drei verschiedenen Projektpartnern zum Einsatz kam. Dadurch konnten die verschiedenen Arbeitspakete parallel bearbeitet und dann gemeinsam fokussiert werden. Die Hardware und die Software zur Verarbeitung der DIMAP-Materialien wurden in vielen Teilen neu aufgebaut.

„Das Projekt führte zu einem signifikanten Know-how-Zuwachs innerhalb der cirp GmbH und mündete in einem Ausbau des Unternehmens mit neuem Personal“, sagt Thomas Lück. „Für unser Dienstleistungsspektrum ist es elementar, auf dem neuesten Stand der Technik zu sein und damit Angebote zu führen, die Alleinstellungsmerkmale besitzen. Aus der Zusammenarbeit in Forschungsprojekten entstehen immer wieder Kooperationen, die die Entwicklung nachhaltig verbessern.“

Das Unternehmen ist zuversichtlich, dass die neuen DIMAP-Materialien mit recht hohem Reifegrad schon bald das Dienstleistungsspektrum des mittelständischen Unternehmens erweitern. Zudem haben sich durch die zahlreichen Erfolge innerhalb des DIMAP-Projekts, die vor allem auf der fruchtbaren multidisziplinäre Zusammenarbeit über Grenzen hinweg erreicht wurden, bereits verschiedene mögliche Folgeprojekte ergeben. Unter anderem wird ein DIMAP-Anschlussprojekt anvisiert. Des Weiteren ist geplant, mit den DIMAP-Versuchsdruckern bei den jeweiligen Partnern weiterführende Experimente durchzuführen.



Der pneumatische Festo Roboter Aktuator wurde in einem Schritt mit maximaler Funktionsintegration gedruckt.

# Das richtige Material am richtigen Ort

**Zehn europäische Forschungspartner arbeiten im Projekt FlexHyJoin länderübergreifend daran, eine vollautomatische Fertigungszelle zum Fügen von gewichtsneutralen Hybridstrukturen aus Metallen und Polymerverbundstoffen ohne die Verwendung von Klebstoffen mit potenziell schädlichen Lösungsmitteln zu fertigen. Diese Hybridfügetechnologie senkt unter anderem Kosten und Fertigungszeit – gute Nachrichten für die Industrie.**

Übergeordnetes Ziel von FlexHyJoin (Flexible Production Cell for Hybrid Joining) ist die Entwicklung und der Aufbau einer Prototypen-Fertigungszelle zum Fügen von Hybridbauteilen, die aus thermoplastischen Faserkunststoffverbunden (TP-FKV) und Metallen bestehen. Dazu werden Induktions- und Laserfügen mit einer Laservorbehandlung der Metalloberfläche, Prozesskontrolle und -überwachung, sowie zerstörungsfreie Prüfung via Lock-In-Thermografie kombiniert. Somit soll ein speziell auf hybride Metall-TP-FKV-Verbindungen angepasster Fügeprozess bereitgestellt werden, damit das jeweilige Werkstoffpotenzial voll ausgeschöpft werden kann.

Anders als beim Kleben sind bei den eingesetzten Verfahren keine zusätzlichen Additive notwendig. Die lasttragende Faserstruktur des TP-FKV wird nicht geschädigt, wie es beim Schrauben oder Clinchen der Fall ist. Die Großserientauglichkeit konnte anhand einer vollautomatischen Fertigungszelle demonstriert werden, in der eine Dachversteifung aus kontinuierlich glasfaserverstärktem Polyamid 6 mit metallischen Verbindungselementen gefügt wird.

## Effiziente Kombination innovativer Technologien

In der Fertigungszelle werden im ersten Schritt die in einem vorgeschalteten Stanzverfahren umgeformten metallischen Befestigungselemente durch einen Hochgeschwindigkeitslaser vorstrukturiert. So werden linienförmige Kavitäten mit Hinterschnitten eingebracht, durch die beim Folgeschritt Fügen eine formschlüssige Verbindung zwischen Metall und TP-FKV erzeugt wird. Nach der Oberflächenstrukturierung werden sowohl die Verbindungselemente als auch die Dachversteifung zum Prozessschritt Fügen transportiert. Die Metallhalterungen werden auf dem vorgeformten, thermoplastischen Organoblechprofil der Dachversteifung positioniert, die Seitenteile durch Laser und das mittlere Metallelement durch elektromagnetische Induktion erwärmt. Durch die Erwärmung des Metalls wird der Matrixwerkstoff des TP-FKV an der Kontaktstelle zum Metall schmelzflüssig und fließt infolge des gleichzeitig aufgebrachten Fügedrucks in die laserinduzierten Kavitäten der laserstrukturierten Metalloberfläche.

Nach dem Abkühlen entsteht eine Hybridstruktur, die auf einer kombinierten formschlüssigen und stoffschlüssigen Verbindung basiert. Um sicherzustellen, dass die Verbindung den geforderten Qualitätsanforderungen entspricht, werden die Fügestellen in der Fertigungszelle zerstörungsfrei durch Lock-in-Thermografie auf Fehlstellen geprüft. Nach der Qualitätskontrolle ist es

## FlexHyJoin

**PROJEKTLAUFEIT:** 01.10.2015–31.12.2018

**PROJEKTVOLUMEN:** 5 868 683,75 Euro

**EU-FÖRDERUNG:** 4 141 347,64 Euro

### WEBSITE ZUM PROJEKT:

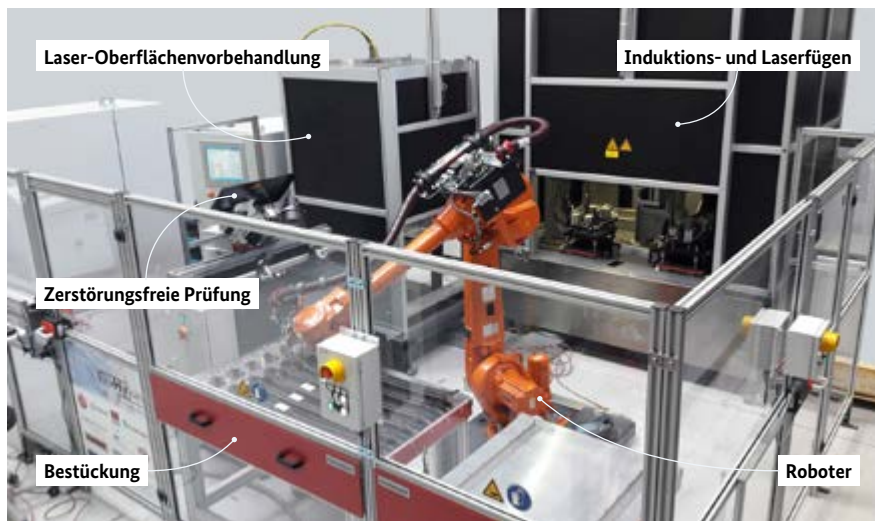
[flexhyjoin.eu](http://flexhyjoin.eu)

### ANSPRECHPARTNER:

Nora Feiden, Institut für Verbundwerkstoffe GmbH,  
Michael Begert, EDAG Engineering GmbH

### KONSORTIUM:

- Koordinator: Institut für Verbundwerkstoffe GmbH, Deutschland
- Fundación Tecnalía Research & Innovation, Spanien
- Gubesch Thermoforming GmbH, Deutschland
- EDAG Engineering GmbH, Deutschland
- Leister Technologies AG, Schweiz
- Centro Ricerche Fiat S.C.p.A., Italien
- New Infrared Technologies, S.L., Spanien
- Fraunhofer-Gesellschaft zur Förderung der angewandten Forschung e.V., Deutschland
- KGR S.p.A., Italien
- Fill Gesellschaft m.b.H., Österreich



Entwickelte Fertigungszelle im Projekt FlexHyJoin

möglich, die Hybridbauteile durch nachgeschaltete Montageschritte in eine übergeordnete Baugruppe zu integrieren. Im Rahmen des FlexHyJoin-Projektes konnten alle beschriebenen Technologien so effizient miteinander kombiniert werden, dass eine Fertigungszelle maßgeschneiderte Fügetechnologien für Hybridbauteile bereitstellt. „Es ist eine bereichernde und inspirierende Erfahrung, ein EU-Forschungsprojekt zu konzipieren und zu koordinieren, in dem Partner aus europäischen Ländern grenzüberschreitend hoch motiviert zusammenarbeiten und schließlich ein so ambitioniertes Ziel wie die FlexHyJoin-Fertigungszelle erreichen“, beschreibt Projektkoordinatorin Nora Feiden vom Institut für Verbundwerkstoffe (IVW) stellvertretend für das gesamte Team. Leichtere Bauteile in der Automobilindustrie reduzieren den Kohlendioxidausstoß und wirken sich somit positiv auf die Umwelt aus. Das FlexHyJoin-Projekt stellt mit seiner hybriden Fügetechnologie einen Wegweiser für zukünftige Mobilitätskonzepte dar.

## Grundstein für neue Konstruktionsmöglichkeiten

Die Entwicklung der Zelle repräsentiert den Grundstein für neue Konstruktionsmöglichkeiten im hybriden Leichtbau. Sie unterstützt die Etablierung in Bereichen wie beispielsweise E-Mobilität oder der lastgerechten Verstärkung von Fahrzeugstrukturen durch Faserkunststoffverbunde. Die sehr gute Verbindungsqualität und -festigkeit bei einer kurzen Taktzeit in der Herstellung eignet sich für ein breites

Spektrum von Anwendungen, die neben der Automobilindustrie auch in Industriezweigen wie Medizin, Sport und Freizeit oder der Luft- und Raumfahrt eingesetzt werden.

Im Rahmen des Projektes konnten mehrere großserientaugliche Verfahren erfolgreich kombiniert werden. Zukünftig können diese von Endanwendern genutzt bzw. von Forschungseinrichtungen weiterentwickelt werden.

Mögliche zukünftige Entwicklungsarbeiten:

- Erweiterung der möglichen Bauteilgeometrien
- Herleitung von Konstruktionsrichtlinien, die die Besonderheiten dieser Fügetechnologie berücksichtigen
- neue Werkzeugkonzepte
- neue Werkstoffkombinationen
- innovative Konzepte zur Prozessregelung und -überwachung (Digital Twin, Industrie 4.0)

Für zukünftige Entwicklungstätigkeiten, insbesondere bei Fahrzeugen und deren Komponenten in neuer Bauweise, beispielsweise in der Elektromobilität, sieht einer der Konsortiumspartner, der Engineering-Dienstleistungen für die Automobilindustrie entwirft, sehr gute Chancen, die FlexHyJoin-Technologie bei Exterieur- und Interieur-Anwendungen als innovative Leichtbaulösung zu nutzen. Auch die Rohstoff- und Halbzeugindustrie hat das Potenzial erkannt: In weiterführenden Kundenprojekten sollen die Möglichkeiten dieser Technologie mit weiteren, auf spezielle Anwendungen zugeschnittenen Materialkombinationen erprobt werden.

# Kunststoffe sind längst bio

**Biokunststoffe sind auf dem besten Wege, die Märkte zu erobern. Ob in Haushaltsgegenständen, in Kleidung oder in der Verpackungsindustrie – Polymilchsäure ist der Werkstoff der Stunde. Polylactide (PLA), umgangssprachlich Polymilchsäure, sind künstlich hergestellte chemische Stoffe, die je nach Zusammensetzung unterschiedliche Eigenschaften haben. Im Projekt Bio4Self werden eigenverstärkte Faserverbundkunststoffe (eFVK) aus PLA entwickelt und erprobt.**

15 Forschungspartner aus Belgien, Dänemark, Deutschland, den Niederlanden, Italien, Spanien, der Türkei, der Slowakei, Griechenland und Großbritannien arbeiten an

einem gemeinsamen Ziel: Im Rahmen des Forschungsvorhabens Bio4Self sollen die mechanischen Eigenschaften (Steifigkeit, Zugfestigkeit, Schlagfestigkeit) von PLA gesteigert werden. PLA werden als Granulate in verschiedenen Qualitäten für die Kunststoff verarbeitende Industrie zur Herstellung von Folien, Formteilen, Verpackungen und weiteren Gebrauchsgegenständen angeboten. Im Gegensatz zu Standardkunststoffen, die bis heute überwiegend aus Erdöl hergestellt werden, sind die Grundlage für PLA nachwachsende Rohstoffe, z. B. Mais.

Die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler verfolgen im Projekt Bio4Self verschiedene Ansätze, um vielfältige Einsatzmöglichkeiten und eine hohe Leistung der Kunststoffe zu ermöglichen. Dazu gehört z. B. die Verstärkung von PLA mit sogenannten LCPs (Liquid Crystalline Polymers). Das ist eine besondere Art von Kunststoff, dessen flüssigkristalline Polymere eine thermoplastische Verarbeitung im Schmelzmischverfahren zulassen. Darüber hinaus wird die Haltbarkeit von PLA-basierten Verbundwerkstoffen durch den Einsatz ausgewählter Antihydrolysemittel verbessert. Ebenso angestrebt ist eine Funktionalisierung des PLA durch fotokatalytische Polymere (selbstreinigende Eigenschaften), maßgeschneiderte Mikrokapseln (selbstheilend) und Deformationsdetektionsfasern (selbstwahrnehmend).

„Wir sind unter anderem dabei, das Potenzial dieser neu zu entwickelnden biobasierten Verbundwerkstoffe anhand von Prototypen aus dem Automobilbereich oder auch bei Haushaltsgeräten nachzuweisen“, sagt Thomas Köhler vom Institut für Textiltechnik (ITA) der RWTH Aachen, einem der deutschen Konsortiumspartner. Damit etwa demnächst die Innenverkleidung von Autos, ein Hartschalenkoffer oder eine Waschmaschine aus Biokunststoffen gefertigt werden, gilt es, deren bereits vorhandene Eigenschaften zu optimieren. Das heißt, das Material wird in seinen mechanischen und thermischen Eigenschaften verändert und verbessert. Thomas Köhler schätzt die positiven Auswirkungen dieser Forschung auf die Umwelt. „Prozesse nachhaltig

## Bio4Self

**PROJEKTLAUFZEIT:** 01.03.2016–30.06.2019

**PROJEKTVOLUMEN:** 8 051 688,75 Euro

**EU-FÖRDERUNG:** 6 772 639,25 Euro

**WEBSITE ZUM PROJEKT:**

[bio4self.eu](http://bio4self.eu)

**ANSPRECHPARTNER:**

Thomas Köhler, Christian Vierkötter, Institut für Textiltechnik der RWTH Aachen

**KONSORTIUM:**

- Koordinator: Centre Scientifique & Technique de l'Industrie Textile Belge, Belgien
- Danmarks Tekniske Universitet, Dänemark
- Rheinisch-Westfälische Technische Hochschule Aachen, Deutschland
- Fraunhofer-Gesellschaft zur Förderung der angewandten Forschung e. V., Deutschland
- Universiteit Maastricht, Niederlande
- Next Technology Tecnotessile Società nazionale di ricerca R. L., Italien
- Maier Scoop, Spanien
- Arçelik A.Ş., Türkei
- Comfil ApS, Dänemark
- TECNARO Gesellschaft zur industriellen Anwendung nachwachsender Rohstoffe mbH, Deutschland
- Chemosvit Fibrochem a.s., Slowakei
- Anonymi Etaireia Viomichanikis Erevnas, Technologikis Anaptyxis Kai Ergastiriakon Dokimon, Pistopiisis Kai Piotitas, Griechenland
- Ion Beam Applications SA, Belgien
- Steinbeis Advanced Risk Technologies GmbH, Deutschland
- Open Source Management Ltd., Vereinigtes Königreich

zu gestalten, ist aus meiner Sicht auch ein wichtiger Beitrag, um CO<sub>2</sub>-Emissionen zu verringern“, sagt er. „Zudem sind vollständig biobasierte Alternativen zu erdölbasierten Kunststoffen eine sinnvolle Sache.“

## Neue Prozesse in der Industrie etabliert

Das Bundesministerium für Bildung und Forschung sieht in der Umsetzung einer nachhaltigen Wirtschaft durch die Bioökonomie und dem Erreichen der Klimaschutzziele aktuell zentrale Herausforderungen für die Gesellschaft. Am Institut für Textiltechnik der RWTH Aachen stehen nachhaltige Prozesse und Materialien schon lange im Fokus der Forschungstätigkeit (Schmelzspinnen von Biopolymeren, Verarbeitung von Naturfasern für textile oder FVK-Anwendungen). Zudem wird eng mit der Industrie sowie mit mittelständischen Unternehmen zusammengearbeitet, um innovative Produkte in vielen Branchen entwickeln zu können. „Die Teilnahme am Projekt Bio4Self passt gut zu uns. Zum einen ist die grenzüberschreitende Zusammenarbeit in Europa inspirierend und zum anderen profitieren Forschungsinstitute und Unternehmen vom Austausch“, sagt Köhler. „Bio4Self hat es dem ITA ermöglicht, die Kompetenzen in den Bereichen Schmelzspinnen von Biopolymeren, Herstellung von Hybridgarnen mittels Lufttexturieren und Konsolidierung thermoplastischer FVK auszubauen.“ Die Ergebnisse sind grundlegend für den Betrieb des Hochschulinstituts und stehen gleichermaßen der Lehre und weiterführenden Forschungs- und Entwicklungsarbeiten nutzbringend zur Verfügung. Das ITA sieht vor, das Projekt als Grundlage zu nehmen, um die internationale Zusammenarbeit weiter zu stärken. Zudem ist geplant, gemeinsam mit einem Teil des Konsortiums Folgeprojekte zur Verwendung der Zwischenprodukte umzusetzen. Ausschlaggebend für die Industriebeteiligung war der Bedarf, nachhaltige Produkte zu entwickeln.

Dies ist bereits gelungen. Durch das Forschungsvorhaben konnten in der Industrie bereits neue Prozesse und Produkte etabliert werden. Dazu zählen z. B. die Unterwassergranulierung von Biopolymeren beim Projektpartner TECNARO. Das Unternehmen produziert maßgeschneiderte Compounds aus nachwachsenden

Werkstoffen für unterschiedlichste Produkte, etwa Möbel oder Musikinstrumente. Das Schmelzspinnen von Biopolymerfasern bei den Partnern COMFIL und CHEMOSVIT FIBROCHEM sowie die Verarbeitung von PLA in Spritzgießprozessen durch MAIER und ARCELIK für die Automobilbranche und Home-Appliance-Anwendungen (Wasch- oder Spülmaschinen) zählen ebenfalls zu den ersten Erfolgen.



Eigenverstärkter Faserverbundkunststoff (eFVK) aus PLA und PLA-Fasern

Das Projekt Bio4Self wurde bereits mit zwei Preisen ausgezeichnet: dem JEC Innovation Award 2019 in der Kategorie „Sustainability“ sowie dem diesjährigen Techtexil Innovation Award 2019 ebenfalls in der Kategorie „Sustainability“.



# Urban Mining der nächsten Generation

Bei dem mit dem Akronym ADIR bezeichneten Projekt arbeiten neun europäische Forschungspartner gemeinsam daran, eine neue Stufe des „Urban Mining“ zu erreichen. „Urban Mining“ (englische Übersetzung für „Bergbau im städtischen Bereich“) begreift die Stadt als riesige potentielle Rohstoffquelle, deren Ressourcen nicht verloren gehen sollen. ADIR zeigt, dass innovative Technologien große Erfolge erzielen bei der Zerlegung und Trennung von Komponenten sowie der Wiedergewinnung wertvoller Materialien aus Altelektronik.

„Next generation urban mining – Automated disassembly, separation and recovery of valuable materials from electronic equipment“ – das ist der vollständige Name des Forschungsprojektes ADIR. Entstanden ist es als Reaktion auf die immer kürzer werdenden Lebenszyklen elektronischer Geräte wie Mobiltelefone oder Computerplatinen. Der Wunsch der Verbraucherinnen und Verbraucher nach ständig neuen mobilen Endgeräten hat dazu geführt, dass allein in Europa im Jahr 2014 Hunderte Millionen dieser Geräte nicht mehr in Gebrauch waren. Meist gehen die darin enthaltenen Wertstoffe durch Gebrauchthandel und Export dem EU-Raum verloren. Um das zu ändern und Ressourcen zu schonen, arbeiten Wissenschaftlerinnen und Wissen-

schaftler aus Italien, Österreich, Polen und Deutschland im Team zusammen. Ihr Ziel: zu demonstrieren, dass mit einer selektiven Entstückung von Altelektronik neue, hoch angereicherte Werkstofffraktionen gewonnen werden können.

## Blick auf strategische Rohstoffe und deren Erhaltung

Ein anschauliches Beispiel für dieses Vorgehen ist die Rückgewinnung von Tantal. Bisher sind die Wiedergewinnungsraten für dieses Metall vernachlässigbar (ca. 1 Prozent). Die Importabhängigkeit der EU erreicht hier 100 Prozent. Durch den Einsatz von Lasern, die Tantalkondensatoren erkennen, entlöten, abtrennen und sortieren, gelingt die Steigerung der Wiedergewinnungsquote.

Tantal ist nur ein Beispiel für bestimmte Rohstoffe, denen eine wachsende Bedeutung für die Herstellung hoch technisierter Industrieprodukte zukommt. Insbesondere elektronische Geräte enthalten Edelmetalle und eine hohe Anzahl strategischer Rohstoffe. Bis heute konzentriert sich das Recycling von Elektronikplatinen auf Massenstromkonzepte wie etwa Schredderprozesse und Pyrometallurgie (energieaufwendiges Verfahren der Metallgewinnung), um hochwertige metallische Bestandteile wie Kupfer, Gold und Silber zurückzugewinnen. Allerdings gibt es auch eine Reihe von kritischen Elementen, die mit diesen Verfahren nicht effizient zurückgewonnen werden können und verloren gehen.

ADIR tritt an mit dem Ziel, die Machbarkeit einer Schlüsseltechnologie für das „Urban Mining“ der nächsten Generation zu demonstrieren. Erarbeitet wird eine automatisierte Demontage elektronischer Geräte, um wertvolle Komponenten abzutrennen und daraus Wertstoffe wiederzugewinnen. Das Konzept basiert auf

- Bildverarbeitung,
- Roboterhandhabung,
- plasmainduzierten Stoßwellen,
- 3-D-Lasermessung,

## ADIR

**PROJEKTLAUFEIT:** 01.09.2015–31.08.2019

**PROJEKTVOLUMEN:** 6 504 736,39 Euro

**EU-FÖRDERUNG:** 5 262 200,39 Euro

### WEBSITE ZUM PROJEKT:

[adir.eu](http://adir.eu)

### ANSPRECHPARTNER:

Prof. Dr. Reinhard Noll, Fraunhofer-Institut für Lasertechnik ILT

### KONSORTIUM:

- Koordinator: Fraunhofer-Gesellschaft zur Förderung der angewandten Forschung e.V., Deutschland
- Instytut Metali Nieżelaznych, Polen
- Electroclycling GmbH, Deutschland
- Pro Automation GmbH, Österreich
- OSAI Automation Systems S.p.A., Italien
- LSA – Laser Analytical Systems & Automation GmbH, Deutschland
- H. C. Starck Tantalum and Niobium GmbH, Deutschland
- Aurubis AG, Deutschland
- Tre Tau Engineering s.r.l., Italien
- I-CUBE Research, Frankreich

- Echtzeit-Identifizierung von Werkstoffen per Laser (zum Erkennen wertvoller chemischer Elemente),
- Laserbearbeitung (zum selektiven Entlöten werthaltiger Teile oder zum Ausschneiden von Teilen einer Elektronikplatine) und
- automatischer Trennung der entstückten Teile in verschiedene Sortierfraktionen.

Ein Maschinenkonzept wurde erarbeitet, das in der Lage ist, Mobiltelefone und Computerplatinen mit kurzen Zykluszeiten selektiv zu zerlegen, um Sortierfraktionen von Komponenten mit hohen Wertstoffgehalten zu erhalten. Materialien mit hoher wirtschaftlicher Bedeutung und erheblichem Versorgungsrisiko für die EU sind neben dem bereits genannten Tantal, auch Germanium, Kobalt, Palladium, Gallium und Wolfram.



Ca. 190 Mio. Mobiltelefone erreichen pro Jahr in Europa ihr Nutzungsende

Um diese kostbaren Ressourcen zurückzugewinnen, wurde ein ADIR-Demonstrator entwickelt. Er besteht aus einer Verkettung von vier Maschinen zur automatisierten Bearbeitung von Mobiltelefonen und Computerplatinen. In diesem Jahr wird dieser Demonstrator in Feldversuchen bei einem Recyclingunternehmen evaluiert. Die beteiligten Veredelungsunternehmen prüfen unter anderem die Verarbeitung dieser Sortierfraktionen mit spezifischen Materialanreicherungen – mit dem Erfolg, dass ADIR erstmals zeigt, dass moderne Methoden der Produktionstechnik für das „Urban Mining“ einsetzbar sind.

## Zerlegung von Mobiltelefonen im Sekundentakt

Das automatisierte Zusammenspiel mehrerer Maschinen ergänzt herkömmliche massenstrombasierte Verarbeitungsverfahren. „Es bietet das Potenzial, bislang verloren gehende Wertstoffe in effizienter Weise wiederzugewinnen“, so Prof. Dr. Reinhard Noll vom Fraunhofer-Institut für Lasertechnik (ILT) in Aachen. Angestrebte Taktzeiten für die Verarbeitung von Mobiltelefonen im ADIR-Demonstrator betragen 30 Sekunden pro Stück. Große Computerplatinen werden innerhalb von 60 Sekunden pro Stück verarbeitet.

Den am Projekt beteiligten Forscherinnen und Forschern liegt vor allem am Herzen, mit ihrer wissenschaftlichen Arbeit einen signifikanten Beitrag für eine nachhaltige Kreislaufwirtschaft der Zukunft zu leisten. „Auf europäischer Ebene unterschiedlichste Expertisen zusammenzubringen, um etwas Neues aus der Taufe zu heben, das ist faszinierend. Mit dem Demonstrator des ADIR-Projekts wird weltweit erstmals ein Maschinenkonzept vorgestellt, das industrielle Massenprodukte – hier Mobiltelefone und Computerplatinen – am Ende ihrer Nutzung als Stückgut prozessiert. Die verketteten ADIR Maschinen vereinzeln, handhaben, demontieren, messen, analysieren und sortieren, sodass Sortierfraktionen mit hohen Wertstoffgehalten gewonnen werden“, fasst Reinhard Noll zusammen.

## Ein digitaler Pass für ausgediente Elektroteile

Für die Zukunft ist geplant, den ADIR-Ansatz weiterzudenken. „Inverse Produktion“ lautet das Stichwort. Dabei steht die Entwicklung von Transformationsprozessen im Mittelpunkt, um am Ende der Nutzung technischer Produkte Rohstoffe, Halbzeuge, Teile oder neue Produkte wiedergewinnen zu können. Zudem soll ein umfassender Datenraum für eine nachhaltige Kreislaufwirtschaft entstehen: Für technische Produkte beinhaltet die Datensammlung produktbezogene, physikalische und chemische Informationen in einem „digitalen Pass“. Dieser dürfte die Zerlegung und Trennung von Komponenten sowie schließlich die Sekundärrohstoffgewinnung erheblich erleichtern.

# Batterien mit bester Ökobilanz

„Siliziumbasierte Materialien und neue Verarbeitungstechnologien für verbesserte Lithium-Ionen-Batterien“ (Silicon based materials and new processing technologies for improved lithium-ion batteries, kurz SINTBAT) beschäftigen neun Konsortiumspartner. Die Forscherinnen und Forscher sowie ihre Partner aus der Industrie wollen die Speichertechnologie sicherer, zuverlässiger und umweltfreundlicher gestalten.

Siliziumbasierte Batterien gelten für Batteriehersteller überall auf der Welt als Schlüsseltechnologie für die nächste Zellgeneration. Wie kann man diese elektrochemischen Speicher, die das Zeug zur Hochleistungsbatterie haben, möglichst günstig herstellen? Das ist eine der Fragen, die nicht allein für die deutsche, sondern für die europäische Wirtschaft relevant ist. Eine weitere Kernfrage neben der Kostenreduktion ist die nach der Energiedichte. Von beiden Faktoren hängt der Einsatz von Batterie(materialien) ab, sie bestimmen auch, ob die Speichertechnologie effizient, sicher und zuverlässig genutzt werden kann. Deshalb hat das Forschungskonsortium die gesamte Wertschöpfungskette in den Blick genommen und zur Stärkung der europäischen Wirtschaft viele Beteiligte an einen Tisch gebracht – Batteriemateriallieferanten, Zellhersteller sowie Endverbraucherinnen und Endverbraucher.

## Zentrale Rolle bei Elektromobilität

Dass Lithium-Ionen-Batterien heute als Schlüsseltechnologie für viele Märkte gelten, hätte in den 1970er-Jahren kaum jemand gedacht. Als diese Speicherlösung erstmals an der Technischen Universität München erforscht wurde, gab es kaum eine Vorstellung von der praktischen Anwendbarkeit. Einige Jahre später wurden die wiederaufladbaren Speicher für elektrische Energie in ersten Computern, Digitalkameras und in Mobiltelefonen eingesetzt. Heute spielen die Lithium-Ionen-Batterien eine zentrale Rolle etwa in der Elektromobilität, deren Weiterentwicklung ein Ziel der Bundesregierung ist. Sie will mit dem „Förderprogramm Elektromobilität“ (Umweltbonus) den Absatz neuer Elektrofahrzeuge fördern und damit die Schadstoffbelastung der Luft reduzieren. Für die Akzeptanz elektrisch betriebener Fahrzeuge ist es wichtig, dass die Batterien lange Fahrstrecken erlauben und in kurzer Zeit wieder aufgeladen werden können.

## Zusammenspiel von Grundlagen- und angewandter Forschung

Bei der Erarbeitung von neuen Materialien sowie der Entwicklung von innovativen Elektrodenstrukturen sind die Grundlagen- und die angewandte Forschung notwendig. Dazu sind unterschiedlichste experimentelle Untersuchungsmethoden nötig. Das gilt sowohl in stationärem Zustand, also wenn die Batterien nicht in Betrieb sind, als auch bei Probemessungen unter Betriebsbedingungen, etwa beim Aufladen der Batterie. Diese In-situ- wie auch In-operando-Analysemethoden liefern Ergebnisse für die sogenannte Mehrskalmodellierung. Diese Modellierung zielt auf die Simulation von Alterungsmechanismen für eine zuverlässige Lebensdauervorhersage und -verbesserung ab. Das Forschungskonsortium aus Frankreich, Großbritannien, Österreich, Polen, Schweden und Deutschland hat Erkenntnisse aus verschiedenen Analysemethoden gewonnen. So konnte etwa durch den Einsatz von Silizium als negatives Elektrodenmaterial die

### SINTBAT

**PROJEKTLAUFEIT:** 01.03.2016–29.02.2020

**PROJEKTVOLUMEN:** 9 755 886,25 Euro

**EU-FÖRDERUNG:** 8 334 786,25 Euro

#### WEBSITE ZUM PROJEKT:

[sintbat.eu](http://sintbat.eu)

#### ANSPRECHPARTNER:

Dr. Martin Krebs, VARTA Microbattery GmbH

#### KONSORTIUM:

- Koordinator: VARTA Microbattery GmbH, Deutschland
- Commissariat à l'énergie atomique et aux énergies alternatives, Frankreich
- University of Warwick, Vereinigtes Königreich
- VARTA Micro Innovation GmbH, Österreich
- EurA AG, Deutschland
- Uppsala universitet, Schweden
- Materials Center Leoben Forschung GmbH, Österreich
- VARTA Storage GmbH, Deutschland
- Uniwersytet Warszawski, Polen





Beschichtungsmaschine des Projekts SINTBAT

Energiedichte in Abhängigkeit von der gewünschten Anwendung bis zu 660 Wattstunden/Liter angepasst werden.

## Schneller Know-how-Transfer möglich

SINTBAT erlaubt einen schnellen Know-how-Transfer zwischen den Partnern, um die Nutzung neuartiger Materialien zu erreichen und Alterungsmechanismen zu untersuchen. Die durch siliziumbasierte Materialien verbesserte Lithium-Ionen-Batterie liefert also volle Power, hält lange und schont das Budget: Modellierungs- und Simulationsverfahren etwa sehen eine hohe Betriebszeit (Lebenszyklus) von mehr als 20–25 Jahren (> 10.000 Zyklen) bei höherer Energiedichte (660 Wattstunden/Liter) und niedrigeren Kosten vor.

Dr. Martin Krebs, der beim projektkoordinierenden Unternehmen VARTA tätig ist, ist zuversichtlich, dass der Transfer in den industriellen Maßstab bald gelingt: „Es zeigen sich vielversprechende Pfade und Strategien zur Steigerung der Leistungsfähigkeit, Kostensenkung und Lebensdauer von Batterien, so etwa bei der Prelithiation, der Herstellung der Kathode über spezielle Extrusionsverfahren, dem Einsatz von Polymeren und maßgeschneiderten Elektrolyten, dem Wärmemanagement und dem Recycling.“

Auf dem Weg in die industrielle Umsetzung wird die Entwicklung fortschrittlicher, funktioneller Elektroden in

drei Generationen aufgeteilt. So wird sichergestellt, dass ein schrittweises Verständnis der Alterungsmechanismen gewährleistet ist. Anoden- und Kathodenarbeiten werden getrennt und gegen Referenz-Gegenelektroden geprüft, um das elektrochemische Verhalten optimal abzustimmen. Auf der Anodenseite integriert die erste Generation ein handelsübliches Siliziummaterial zur Verbesserung der Zellenenergiedichte und auf der Kathodenseite ein wasserlösliches Bindemittel, um einen nachhaltigeren Herstellungsprozess mit Kosteneinsparungen zu erreichen. In der Folgegeneration wird der Siliziumgehalt an der Anode durch die Integration eines 3-D-Stromabnehmers verbessert. Die dritte Generation integriert einen Lithiumpuffer an die Anode, und die Kathode wird unter Verwendung eines wasserbasierten Prozesses auf Produktionsniveau hergestellt. Nach dem Technologietransfer im letzten Projektjahr und der Herstellung optimierter Lithium-Ionen-Batterien wird der angestrebte Technologiereifegrad 6 schließlich im Rahmen von Tests und Validierungen demonstriert.

Das Konsortium strebt gemeinsam ein Folgeprojekt an und rechnet sich gute Chancen aus, denn der Fahrplan für die Entwicklung der europäischen Energiespeichertechnologie bis 2030 (EASE/EERA) misst der Energiespeicherung für die europäischen Klimaziele größte Bedeutung zu. Sie hat das Potenzial, die gesamte Energiewertschöpfungskette abzudecken, einschließlich Energiebedarf und -versorgung, Netzleistung und Marktflexibilität.

# Innovation in der Behandlung von Multipler Sklerose

Eine neue Technologie zur besseren Behandlung von Multipler Sklerose entwickelt zurzeit ein europäisches Konsortium, koordiniert durch das Fraunhofer-Institut für Grenzflächen- und Bioverfahrenstechnik IGB in Stuttgart. Der innovative „N2B-patch“-Ansatz sieht vor, einen speziellen Wirkstoff über die Nase direkt in das zentrale Nervensystem zu transportieren.

Im Rahmen des EU-geförderten Verbundprojektes N2B-patch (Nose to Brain Delivery of an API via the Olfactory Region for the Regenerative Treatment of Multiple Sclerosis Using Novel Multi-functional Biomaterials Combined with a Medical Device) wird an der Ausgestaltung einer medizinischen Therapieform zur Wirkstoffverabreichung über die Regio olfactoria (Riechregion) geforscht. Das Gehirn und seine umgebende Flüssigkeit sind an der Riechschleimhaut der Nasenhöhle nur durch einige Zellschichten und das Siebbein von der Außenwelt getrennt.

Medizinische Wirkstoffe werden üblicherweise über das Blut im Körper verteilt – entweder direkt durch Injektion in die Blutbahn oder indirekt, beispielsweise über den Verdauungstrakt nach oraler Einnahme. Bei vielen Erkrankungen – etwa des zentralen Nervensystems – ist es jedoch entscheidend, den Wirkstoff möglichst effizient an den gewünschten Wirkort zu transportieren. Ein Beispiel hierfür ist die Behandlung von Multipler Sklerose, bei der die Pharmazeutika ihre Wirkung vor allem im Zentralnervensystem entfalten müssen. Dieses ist jedoch aufgrund spezieller Schutzmechanismen, wie der Blut-Hirn-Schranke, auf dem üblichen Weg über das Blut besonders schwer zu erreichen.

## N2B-patch

**PROJEKTLAUFZEIT:** 01.01.2017–31.12.2020

**PROJEKTVOLUMEN:** 6 472 998,75 Euro

**EU-FÖRDERUNG:** 5 325 498,75 Euro

**WEBSITE ZUM PROJEKT:**

[n2b-patch.eu](http://n2b-patch.eu)

**ANSPRECHPARTNER:**

Dr. Carmen Gruber-Traub, Jenny Ullrich,  
Dr. Kirsten Borchers, Fraunhofer-Institut für  
Grenzflächen- und Bioverfahrenstechnik IGB

**KONSORTIUM:**

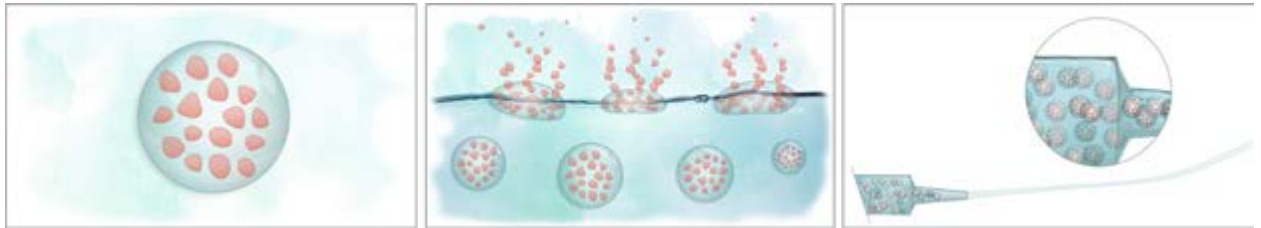
- Koordinator: Fraunhofer-Gesellschaft zur Förderung der angewandten Forschung e. V., Deutschland
- Contipro a.s., Tschechien
- MJR PharmJet GmbH, Deutschland
- Hochschule Biberach, Deutschland
- Centre for Research and Technology Hellas (CERTH), Griechenland
- Beiter GmbH & Co. KG, Deutschland
- European Laboratory for Non-linear Spectroscopy (LENS), Italien
- JensonR+ Ltd, Vereinigtes Königreich
- LGI Consulting Sàrl, Frankreich
- The European Multiple Sclerosis Platform aisbl, Belgien
- N.N., Schweiz

## Durch die Nase direkt ins Gehirn

Das Fraunhofer IGB beteiligt sich in N2B-patch an der Entwicklung der neuen Therapieform, bei der medizinische Wirkstoffe direkt durch die Nase ins Gehirn gebracht werden. Um das zu ermöglichen, soll das therapeutische System, an dem die Forscherinnen und Forscher arbeiten, aus vier Teilen bestehen:

- aus dem Wirkstoff selbst,
- aus einer den Wirkstoff enthaltenden Formulierung,
- aus einem Hydrogel als Trägermaterial und Transportmittel für die Formulierung, dem Patch,
- aus dem passenden Applikator zum Einsetzen des Gel-Patches in die Nase.

Die Freisetzung des im Gel-Patch enthaltenen Wirkstoffes wird über einen längeren Zeitraum hinweg erfolgen; es löst sich schließlich auf und muss nicht wieder entfernt werden. Für eine langfristige Behandlung wird ein neues Patch eingeführt. „Innerhalb des Projektes konzentrieren sich die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler des Fraunhofer IGB auf die Formulierung der Partikel, die den Wirkstoff enthalten, und das Einbringen dieser in das Gel“, erläutert die Projektkoordinatorin und Wissenschaftlerin der Stuttgarter Arbeitsgruppe Dr. Carmen Gruber-Traub.



Ein Ensemble bestehend aus biomaterialbasierten Wirkstoffpartikeln und einem innovativen pharmazeutischen Wirkstoff zur Behandlung der Multiplen Sklerose (links), der Hydrogel-Formulierung als Träger (Mitte) und der Applikatorvorrichtung als integralem Bestandteil des funktionellen und minimalinvasiven Systems (rechts)

Die innovative galenische Formulierung hat zum Ziel, empfindliche Arzneimittel zu schützen und deren Bioaktivität aufrechtzuerhalten. „Zur Einführung des Gels in die Nase wird vom Projektkonsortium ein spezieller Applikator entwickelt. Das Gerät ist eine Kombination aus einem handelsüblichen Endoskop und einem speziellen Mischsystem. Letzteres ist notwendig, da der Wirkort schlecht zu erreichen ist und ein bereits verfestigtes Gel nicht an der vorgesehenen Stelle platziert werden könnte.“

Die Entwicklung eines neuen Arzneimittels in Verbindung mit einer neuen Therapieform erfordert im Allgemeinen mehrere Jahre intensiver Forschung und Validierung. Das N2B-Patch-Team ist mit ersten Arbeiten im Labor gestartet und wird voraussichtlich den Konzeptnachweis sowie die vorklinische Validierung am Ende der Projektlaufzeit zeigen können. Bis zu einer möglichen Zulassung sind dann jedoch noch viele Jahre an Forschung und Prüfung notwendig.

## EU fördert N2B-patch-Projekt über vier Jahre

Das auf vier Jahre ausgelegte Projekt wird bis Ende 2020 von der EU finanziell gefördert – für Carmen Gruber-Traub auch eine gute Gelegenheit, neue Netzwerke zu knüpfen: „Die Koordination eines Konsortiums im Rahmen eines EU-Projektes sowie die Zusammenarbeit mit Partnern aus verschiedenen Bereichen und Ländern stellt einen immer wieder vor neue Herausforderungen, nicht nur wissenschaftlich. Es bietet sich aber hierdurch die einmalige Chance länderübergreifend ein Forschungsthema voranzubringen und ein neues Netzwerk aufzubauen“, beschreibt sie die Vorteile der grenzüberschreitenden Zusammenarbeit.

Insgesamt elf internationale Konsortiumspartner aus Wissenschaft, Industrie und Patientenorganisationen arbeiten gemeinsam an der Erreichung der Projektziele. Die Beteiligten forschen vor allem mit Blick auf die Behandlung von Multipler Sklerose, doch sie hoffen auch darauf, weitere Anwendungsfelder für die N2B-Plattform erschließen zu können. So könnten möglicherweise auch andere Erkrankungen des zentralen Nervensystems behandelt werden, beispielsweise Alzheimer. „Hierzu müssen wir allerdings einen anderen Wirkstoff einsetzen und die Formulierung anpassen“, so Gruber-Traub.

# Hinweise zur Antragsstellung

**Zündet die Idee, stimmt die fachliche Verständlichkeit und werden alle formalen Aspekte eingehalten? Die NKS Werkstoffe unterstützt und begleitet Sie bei der Ausarbeitung von Förderanträgen für Horizont 2020. Diese Unterstützung können deutsche Antragsteller bereits in der Frühphase der Antragskonzeption in Anspruch nehmen.**

## Antragsverfahren und Fördermodalitäten

---

Das Antragsverfahren in Horizont 2020 kann ein- oder zweistufig (zunächst Projektskizze, im Erfolgsfall Vollantrag) verlaufen, wobei zu jedem Ausschreibungsthema das entsprechende Verfahren festgelegt ist. Die genauen Rahmenbedingungen sind in dem jeweiligen Teil des Arbeitsprogramms festgelegt. Die Förderquote bei forschungsintensiveren Themen (sogenannten „Research and Innovation Actions“, RIA) beträgt in der Regel 100 Prozent und bei anwendungsnahen Themen (sogenannten „Innovation Actions“, IA) 70 Prozent der direkten Projektkosten. Zur Deckung der Overheadkosten wird eine Pauschale von 25 Prozent der direkten Projektkosten gewährt.

## Ausschreibungen mit Werkstoffrelevanz in Horizont 2020

---

Forschungsaktivitäten zu Werkstoffen sind in allen drei Bereichen von Horizont 2020 enthalten. Der Schwerpunkt der Aktivitäten liegt im Bereich „Führende Rolle der Industrie“. Hier sind unter dem Überbegriff „Key Enabling Technologies – KET“ sechs Forschungsfelder zusammengefasst:

- Informations- und Kommunikationstechnologien
- Nanotechnologien
- fortschrittliche Werkstoffe
- Biotechnologie
- fortschrittliche Fertigung und Verarbeitung
- Raumfahrt

## Förderquoten

---

Universitäten, Hochschulen sowie nicht kommerzielle Forschungsinstitute erhalten für ihre Beteiligung an Kooperationsforschungsprojekten ihren Eigenanteil an den direkten Projektkosten zu 100 Prozent erstattet. Für Industrieunternehmen einschließlich KMU beträgt der Fördermittelzuschuss für forschungsintensivere

Projekte (Research and Innovation Actions) sowie Begleitmaßnahmen (CSAs) ebenfalls 100 Prozent der direkten Projektkosten, während sie bei anwendungsnahen Ausschreibungsthemen (Innovation Actions) nur 70 Prozent als Zuwendung erhalten. Bei Innovation Actions, die sehr industrienah ausgelegt sind (z. B. Entwicklung von Pilotlinien), wurde neu eine Ausnahmeförderquote für die Industrie von 50 Prozent (gekennzeichnet als IA 50 Prozent) eingeführt. Für nicht gewerbsmäßige Projektpartner ändern sich die Förderquoten dabei nicht.

Zur Deckung der Overheadkosten wird grundsätzlich bei allen Projekttypen eine Pauschale von 25 Prozent der direkten Projektkosten gewährt.

## Beratung und Unterstützung

---

Die NKS Werkstoffe (Nationale Kontaktstelle zum EU-Programm Horizont) bietet an, Ideenpapiere sowie Skizzen und Vollanträge vor der Einreichung im Teilnehmerportal (Funding & Tenders Portal) der EU-Kommission zu prüfen und Verbesserungspotenzial aufzuzeigen. Interessenten werden auf dem ganzen Weg der Antragstellung begleitet – von der Idee bis zur Einreichung des Antrags. Der Service ist kostenfrei und alle Informationen werden selbstverständlich vertraulich behandelt. Die NKS Werkstoffe äußert sich zur Eignung einer Projektidee in Bezug auf das adressierte Ausschreibungsthema, die fachliche Verständlichkeit des Konzeptes und die Einhaltung der formalen Aspekte. Eine umfangreiche Kommentierung mit Korrektur- und Optimierungshinweisen wird Interessenten im Anschluss zur Verfügung gestellt. Dazu wird unter anderem die Expertise aus der Analyse der Gutachterkommentare in den Evaluation Summary Reports (ESRs) vorangegangener Calls genutzt. Bei Ausschreibungsthemen, in denen verschiedene NMBP-Bereiche adressiert werden (Cross-KET), kooperiert die NKS Werkstoffe eng mit den Kolleginnen und Kollegen der weiteren zuständigen nationalen Kontaktstellen. Die gute Vernetzung mit den zuständigen wissenschaftlichen Mitarbeitern

der EU-Kommission ermöglicht es auch, Fragen der Genese von Ausschreibungsthemen und die Verankerung in die übergeordneten politischen Zielsetzungen bei der Beratung zu berücksichtigen. Mehr Informationen unter der Adresse [nks-werkstoffe.de](http://nks-werkstoffe.de).

## NMP TeAm

---

Die englischsprachige Website des EU-geförderten Netzwerkprojektes der National Contact Points zu Nanotechnologien, Werkstoffen und Produktion bietet ein umfangreiches Serviceangebot. Neben aktuellen Informationen zu den laufenden Ausschreibungen und zu transnationalen Veranstaltungen im Themenfokus sind dort Webstreams zu verschiedenen Aspekten der Antragstellung zu finden: [nmpteam.com](http://nmpteam.com).

Für die Unterstützung bei der Bildung erfolgversprechender Konsortien zu den aktuellen Ausschreibungsthemen steht die Partnersuchplattform des Netzwerkprojektes NMP TeAm bereit. Dort ist bereits eine Vielzahl von themenspezifischen Profilen und Projektideen zu finden. Außerdem besteht die Möglichkeit, eigene Kooperationsangebote einzugeben: [nmp-partnersearch.eu](http://nmp-partnersearch.eu).

## Veranstaltungsangebot

---

Die NKS Werkstoffe organisiert bzw. beteiligt sich an Veranstaltungen, auf denen weiterführende Informationen vermittelt und Beratungen zu den Ausschreibungsthemen des NMBP-Arbeitsprogrammes durchgeführt werden. News zu aktuell anstehenden Veranstaltungen finden sich auf unserer Homepage [nks-werkstoffe.de](http://nks-werkstoffe.de).

## Ansprechpartner NKS Werkstoffe

---

Dr. Gerd Schumacher (Leitung)  
+49 2461 61-3545  
[g.schumacher@fz-juelich.de](mailto:g.schumacher@fz-juelich.de)

Dr. Lena Blank  
+49 2461 61-85491  
[l.blank@fz-juelich.de](mailto:l.blank@fz-juelich.de)

Dr. Tobias Caumanns  
+49 2461 61-85086  
[t.caumanns@fz-juelich.de](mailto:t.caumanns@fz-juelich.de)

Dr. Christina Möckel  
+49 2461 61-85086  
[c.moeckel@fz-juelich.de](mailto:c.moeckel@fz-juelich.de)

Ingo Rey  
+49 2461 61-2623  
[i.rey@fz-juelich.de](mailto:i.rey@fz-juelich.de)

Dr. Moritz Warnecke  
+49 2461 61-2458  
[m.warnecke@fz-juelich.de](mailto:m.warnecke@fz-juelich.de)

Dr. Michael Wessel  
+49 2461 61-85088  
[m.wessel@fz-juelich.de](mailto:m.wessel@fz-juelich.de)



# Impressum

## **Herausgeber**

Bundesministerium  
für Bildung und Forschung (BMBF)  
Referat Werkstoffinnovationen, Batterie; HZG, KIT  
53170 Bonn

## **Bestellungen**

schriftlich an  
Publikationsversand der Bundesregierung  
Postfach 48 10 09  
18132 Rostock  
E-Mail: publikationen@bundesregierung.de  
Internet: bmbf.de  
oder per  
Tel.: 030 18 272 272 1  
Fax: 030 18 10 272 272 1

## **Stand**

September 2019

## **Text**

familie redlich AG  
Agentur für Marken und Kommunikation  
Kompaktmedien  
Agentur für Kommunikation GmbH, Berlin  
Fraunhofer-Institut für Grenzflächen- und Bioverfahrenstechnik IGB  
Projekträger Jülich

## **Gestaltung und Redaktion**

familie redlich AG  
Agentur für Marken und Kommunikation,  
KOMPAKTMEDIEN  
Agentur für Kommunikation GmbH, Berlin

## **Druck**

BMBF

## **Bildnachweise**

Titel: Rawpixel.com – stock.adobe.com  
S. 7: SENSIndoor-Projektconsortium, sensindoor.com  
S. 9: EU-Projekt WALiD (309985)  
S. 11: Friedrich-Schiller-Universität Jena,  
Otto-Schott-Institut für Materialforschung  
S. 13: K. Dobberke für Fraunhofer ISC  
S. 15: cirp GmbH  
S. 17: Institut für Verbundwerkstoffe GmbH  
S. 19: Institut für Textiltechnik der RWTH Aachen (ITA)  
S. 21: Fraunhofer ILT, Aachen  
S. 23: AVAVIAN & CEA  
S. 25: Fraunhofer IGB

Diese Publikation wird als Fachinformation des Bundesministeriums für Bildung und Forschung kostenlos herausgegeben. Sie ist nicht zum Verkauf bestimmt und darf nicht zur Wahlwerbung politischer Parteien oder Gruppen eingesetzt werden.

