

## Die Forschungspreise im Überblick

Auf der Jahrestagung der Fraunhofer-Gesellschaft in Freiburg werden vier Wissenschaftspreise verliehen. Der Preis des Stifterverbands zeichnet exzellente Verbundprojekte der angewandten Forschung aus. Mit den Joseph-von-Fraunhofer-Preisen ehrt Fraunhofer drei Forscher-Teams für ihre herausragenden wissenschaftlichen Leistungen bei der Lösung anwendungsnaher Probleme.

### 1 Flüssigkristalle als Schmierstoffe

Kleine Antriebe können Dank einer neuen Schmierstoffklasse nun nahezu ohne Reibung laufen. Möglich machen das Flüssigkristalle, die die Reibung und den Verschleiß stark verringern.

### 2 Briefkontrolle mit Terahertz-Wellen

Harmloser Umschlag oder Bombe? Einfacher Brief oder Drogensendung? Ein neuer Terahertz-Scanner erkennt verborgene Sprengstoffe und Rauschgifte, ohne dass die Post geöffnet werden muss.

### 3 Die digitale Filmrolle

Statt schwerer Filmrollen werden heute digitale Filmkopien an die Kinobetreiber verschickt. Mit der Software easyDCP lassen sich diese Datenpakete einfach im geforderten Standard erstellen, so dass die digitalen Streifen auch in jedem Kino laufen.

### 4 Kleben mit vorappliziertem Klebstoff

In der industriellen Produktion spielt Kleben eine immer bedeutendere Rolle. Forschern ist es gelungen, das Auftragen des Klebstoffs und das eigentliche Fügen zu entkoppeln. Das eröffnet neue Anwendungen.

Die Fraunhofer-Gesellschaft ist die führende Organisation für angewandte Forschung in Europa. Unter ihrem Dach arbeiten 67 Institute und Forschungseinrichtungen an Standorten in ganz Deutschland. Mehr als 23 000 Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter erzielen das jährliche Forschungsvolumen von 2 Milliarden Euro. Davon fallen rund 1,7 Milliarden Euro auf den Leistungsbereich Vertragsforschung. Über 70 Prozent dieses Leistungsbereichs erwirtschaftet die Fraunhofer-Gesellschaft mit Aufträgen aus der Industrie und mit öffentlich finanzierten Forschungsprojekten. Internationale Kooperationen mit exzellenten Forschungspartnern und innovativen Unternehmen weltweit sorgen für einen direkten Zugang zu den wichtigsten gegenwärtigen und zukünftigen Wissenschafts- und Wirtschaftsräumen.

---

#### **Impressum**

FORSCHUNG KOMPAKT der Fraunhofer-Gesellschaft | Erscheinungsweise: monatlich | ISSN 0948-8375 | Herausgeber und Redaktionsanschrift: Fraunhofer-Gesellschaft | Presse und Öffentlichkeitsarbeit | Hansastraße 27c | 80686 München | Telefon +49 89 1205-1303 | [presse@zv.fraunhofer.de](mailto:presse@zv.fraunhofer.de) | Redaktion: Beate Koch, Birgit Niesing | Abdruck honorarfrei, Belegexemplar erbeten. Alle Pressepublikationen und Newsletter im Internet auf: [www.fraunhofer.de/presse](http://www.fraunhofer.de/presse). FORSCHUNG KOMPAKT erscheint in einer englischen Ausgabe als RESEARCH NEWS.

## Die Forschungspreise im Überblick

### **Wissenschaftspreis des Stifterverbands**

Im Stifterverband haben sich 3000 Unternehmen und Stiftungen zusammengeschlossen, um Wissenschaft und Bildung gemeinsam voranzubringen. Der Stifterverband sichert die Infrastruktur der Innovation: ein leistungsfähiges Bildungssystem, exzellente Forschungseinrichtungen und eine starke Zivilgesellschaft. Der Stifterverband ist Vordenker und Initiator für Reformen – die von ihm geförderten Modellprojekte werden regelmäßig zur Blaupause tiefgreifender Veränderungen des Innovationssystems. Der Stifterverband ist die wichtigste Stimme der Wirtschaft in der Wissenschaft und erster Partner der Politik, wenn es um Wissenschaft und Bildung geht.

Seit mehr als zehn Jahren verleiht der Stifterverband der Fraunhofer-Gesellschaft einen mit 50 000 Euro dotierten Preis. Dieser zeichnet wissenschaftlich exzellente Verbundprojekte der angewandten Forschung aus, die Fraunhofer-Institute gemeinsam mit der Wirtschaft und/oder anderen Forschungsorganisationen bearbeiten (Beitrag 1).

### **Joseph-von-Fraunhofer-Preis – Forschen für die Praxis**

Seit 1978 verleiht die Fraunhofer-Gesellschaft jährlich Preise für herausragende wissenschaftliche Leistungen ihrer Mitarbeiter, die anwendungsnahe Probleme lösen. Mehr als 200 Forscherinnen und Forscher haben diesen Preis inzwischen gewonnen. In diesem Jahr werden drei Preise mit jeweils 50 000 Euro vergeben. Die Preisträger erhalten auch eine silberne Anstecknadel mit dem Gesichtsprofil des Namenspatrons, wie es im Logo der Beiträge 2 bis 4 erscheint.



## Flüssigkristalle als Schmierstoffe

Schmierstoffe sind fast überall im Einsatz – in Motoren, Produktionsmaschinen, Getrieben, Ventilen. Obwohl sie in nahezu allen Maschinen für einen ruhigen Lauf sorgen, gab es auf diesem Gebiet in den vergangenen beiden Jahrzehnten keine grundlegenden Innovationen. Das Fraunhofer-Institut für Werkstoffmechanik IWM in Freiburg hat mit einem Konsortium jetzt eine völlig neue Substanzklasse entwickelt, die für einen Durchbruch sorgen könnte: Flüssigkristallbasierte Schmierstoffe. Ihre Besonderheit: Sie sind zwar flüssig, zeigen aber auch richtungsabhängige physikalische Eigenschaften wie ein Kristall. Werden zwei Oberflächen gegeneinander bewegt, richten sich die dazwischen befindlichen Flüssigkristall-Moleküle so aus, dass der Reibungswiderstand extrem gering ist. So ermöglichen Flüssigkristalle ein nahezu reibungsloses Gleiten.

Flüssigkristalle sind eher durch ihren Einsatz in LCD-Bildschirmen von Fernsehern, Handys oder Touchscreens bekannt. Die ungewöhnliche Idee, sie als Schmierstoff zu verwenden, hatte die Nematel GmbH. Das Unternehmen wandte sich damit an das Fraunhofer IWM. Dort setzte Dr. Tobias Amann die Flüssigkristalle als Schmierstoff zwischen zwei Werkstücken aus Metall ein. »Schon bei den ersten Proben haben wir überraschenderweise extrem niedrige Reibungskoeffizienten gemessen«, erinnert sich Amann.

### Stäbchenförmige Moleküle bilden flüssige Kristallstruktur

Als Schmierstoff eignen sich diejenigen Flüssigkristalle, die aus stäbchenförmigen Molekülen bestehen, fanden die Wissenschaftler am IWM heraus. »Gibt man den Flüssigkristall als Schmierstoff zwischen zwei Oberflächen, die sich gegenläufig bewegen, richten sich die Stäbchen parallel zueinander in Schichten auf«, erklärt Dr. Andreas Kailer, stellvertretender Leiter des Geschäftsfelds Tribologie am IWM. Diese Schichten sind in sich sehr stabil, lassen sich aber leicht gegeneinander verschieben. Das reduziert die Reibung und den Verschleiß auf ein Minimum.

Um aus den Flüssigkristallen einen praxistauglichen Schmierstoff zu entwickeln, fehlte allerdings noch viel. Daher startete das IWM 2010 gemeinsam mit der Nematel GmbH und den Schmierstoffexperten der Dr. Tillwisch GmbH ein Projekt, das vom Bundesministerium für Bildung und Forschung gefördert wurde. Susanne Beyer-Faiß, Schmierstoffentwicklerin bei Tillwisch, verbesserte mit Hilfe von Additiven die Stabilität der Flüssigkristalle-Schmierstoffe. Gleichzeitig baute ihr Kollege Werner Stehr einen speziellen Prüfstand, auf dem er die extrem geringen Reibungswerte mit Lasertechnik berührungslos messen konnte. Tobias Amann entschlüsselte die Mechanismen, die zu den ultraniedrigen Reibwerten führen und fand heraus, wie die neuen Schmierstoffe gezielt weiter optimiert werden konnten. Außerdem untersuchte er die chemischen Mechanismen im Reibkontakt und die Auswirkung von Mischungen unterschiedlicher Flüssigkristallmoleküle.

Am Ende des Projekts hatten die Partner den Prototyp eines flüssigkristallinen Schmierstoffs in der Hand, der seine beste Wirkung in Gleitlagern aus Eisen zeigt. Für diese Pionierleistung erhalten Dr. Tobias Amann, Dr. Andreas Kailer, Susanne Beyer-Faiß, Werner Stehr und Dr. Holger Kretzschmann den Wissenschaftspreis des Stifterverbands, der alle zwei Jahre für exzellente Verbundprojekte der angewandten Forschung vergeben wird.

Zurzeit entwickelt das Team gemeinsam mit weiteren Industriepartnern innovative, mit Flüssigkristallen geschmierte Gleitlager für Elektrokleinmotoren in Autos, wie sie zum Beispiel in Lichtmaschinen oder zum Antrieb von Scheibenwischern zum Einsatz kommen.



Den Wissenschaftspreis des Stifterverbands für die Deutsche Wissenschaft erhalten Dr. Holger Kretzschmann (Nematel), Werner Stehr und Susanne Beyer-Faiß (Dr. Tillwisch GmbH), Dr. Andreas Kailer und Dr. Tobias Amann (Fraunhofer IWM) (v.l.n.r.).

(© Dirk Mahler/Fraunhofer) | Bild in Farbe und Druckqualität: [www.fraunhofer.de/presse](http://www.fraunhofer.de/presse)

---

**Fraunhofer-Institut für Werkstoffmechanik IWM** | Wöhlerstr. 11 | 79108 Freiburg | [www.iwm.fraunhofer.de](http://www.iwm.fraunhofer.de)

**Kontakt:** Dr. Andreas Kailer | Telefon +49 761 5142-247 | [andreas.kailer@iwm.fraunhofer.de](mailto:andreas.kailer@iwm.fraunhofer.de)

Dr. Tobias Amann | Telefon +49 761 5142-208 | [tobias.amann@iwm.fraunhofer.de](mailto:tobias.amann@iwm.fraunhofer.de)

**Presse:** Thomas Götz | Telefon +49 761 5142-153 | [thomas.goetz@iwm.fraunhofer.de](mailto:thomas.goetz@iwm.fraunhofer.de)

**Nematel GmbH & Co. KG** | Galileo-Galilei-Straße 28 | 55129 Mainz

**Kontakt:** Dr. Holger Kretzschmann | Telefon +49 6131 507992 | [info@nematel.de](mailto:info@nematel.de)

**Dr. Tillwisch GmbH Werner Stehr** | Murber Steige 26 | 72160 Horb-Ahldorf

**Kontakt:** Susanne Beyer-Faiß | Telefon +49 7451 5386-30 | [susanne.beyer.faiss@tillwisch-stehr.com](mailto:susanne.beyer.faiss@tillwisch-stehr.com)

Werner Stehr | Telefon +49 7451 5386-20 | [werner.stehr@tillwisch-stehr.com](mailto:werner.stehr@tillwisch-stehr.com)

## Briefkontrolle mit Terahertz-Wellen

Alarm im Schloss Bellevue: Beim Röntgencheck ist ein verdächtiger Brief an Bundespräsident Joachim Gauck aufgefallen, der eine Bombe enthalten könnte. Vorsichtshalber sprengen Experten die Post. Erst genauere Untersuchungen ergeben, dass im Umschlag wohl doch keine explosiven Stoffe waren. Vor einem Jahr sorgte die auffällige Postsendung für große Aufregung in Berlin. Denn bislang ist es recht aufwändig, Briefe sicher und zuverlässig auf gefährliche Inhaltsstoffe wie Sprengstoffe oder Drogen hin zu untersuchen. Abhilfe könnte ein neuer Terahertz-Scanner schaffen. Forscher des Fraunhofer-Instituts für Physikalische Messtechnik IPM in Kaiserslautern und der Hübner GmbH & Co. KG in Kassel haben das System »T-COGNITION« entwickelt, das verborgene Inhalte entdeckt, ohne dass die Post geöffnet werden muss. Für ihre Arbeiten zur »Sicheren Identifizierung von Gefahrenstoffen wie Sprengstoffe und Drogen: der Terahertz-Postscanner« werden Prof. Dr. René Beigang vom Fraunhofer IPM und der Leiter der Bereiche Public Security und Photonics der Firma Hübner, Dipl.-Ing. Thorsten Sprenger, mit einem der Joseph-von-Fraunhofer-Preise 2014 geehrt.

Aber warum verwenden die Experten Terahertz-Wellen? »Im elektromagnetischen Spektrum liegt der Terahertz-Bereich zwischen Mikrowellen und Infrarot. Es vereint die Vorteile von beiden«, erläutert René Beigang. Die energiearme Strahlung kann ähnlich wie Mikrowellen Papier, Holz, leichte Bekleidung, Kunststoff und Keramik problemlos durchdringen. Zudem erzeugen Terahertz-Wellen, je nachdem, auf welche Stoffe sie treffen, charakteristische Spektren, die sich mithilfe intelligenter Software schnell analysieren lassen. Ein weiterer wichtiger Vorteil: Terahertz-Wellen sind nicht ionisierend und für den Menschen ungefährlich – im Gegensatz zur Röntgenstrahlung. Das macht die Wellen für den Einsatz in Postscannern interessant.

### Terahertz-Technologie industriereif machen

Die Terahertz-Technologie ist allerdings noch recht jung. Bislang gibt es nur wenige Anwendungen. Das will die vom Land Rheinland-Pfalz und dem Fraunhofer IPM zunächst als Projektgruppe gegründete Abteilung »Materialcharakterisierung und -prüfung MC« in Kaiserslautern ändern. »Unser Ziel ist es, die Terahertz-Technologie auch für den Sicherheitsbereich industriereif zu machen«, betont Beigang. Schnell wurde die Firma Hübner auf die Arbeiten der Projektgruppe aufmerksam. Das Unternehmen, das traditionell Fahrzeugkomponenten für Busse, Straßenbahnen sowie Nah- und Fernverkehrszüge herstellt, plante, das Geschäftsfeld Public Security neu aufzubauen. 2006 startete die erste Kooperation. Vier Jahre später begannen – auf Grundlage gemeinsamer Projekte – die Arbeiten am Postscanner. Mittlerweile hat das Unternehmen den Postscanner »T-COGNITION« auf den Markt gebracht.

Und so arbeitet der Postscanner. Über eine Klappe lässt sich ein Brief in das Messgerät einführen. Terahertz-Wellen durchleuchten diesen. Je nachdem auf welche Stoffe die

SONDERAUSGABE  
FORSCHUNG KOMPAKT  
05 | 2014 || Thema 2



Wellen treffen, werden bestimmte Bereiche mehr oder weniger absorbiert. Detektoren fangen die transmittierten Wellen auf. »Innerhalb weniger Sekunden erfasst das Gerät den spektroskopischen Fingerabdruck des Gefahrenstoffs und kann ihn durch den Abgleich mit einer Datenbank sicher identifizieren«, erläutert Thorsten Sprenger. Enthält ein Brief Sprengstoffe oder Drogen, schlägt das System Alarm.

Das Gerät ist in der Lage, den Inhalt von Postsendungen bis zum Format C4 und mit maximal 2 Zentimetern Dicke zu prüfen. »Es ist für Poststellen von Justizvollzugsanstalten, Zoll, Behörden, Firmen und Botschaften sehr interessant. Es hilft die Sicherheit zu erhöhen sowie Menschenleben zu schützen«, sagt Sprenger.

Auf dem internationalen Kongress »Photonics West 2014« in San Francisco wurde »T-COGNITION« bereits mit dem PrismAward, dem Photonics-OSCAR, ausgezeichnet.



**Professor René Beigang und Thorsten Sprenger (v.l.n.r.) entwickelten den Postscanner.**  
(© Dirk Mahler/Fraunhofer) | Bild in Farbe und Druckqualität: [www.fraunhofer.de/presse](http://www.fraunhofer.de/presse)



## Die digitale Filmrolle

Mehr als ein Jahrhundert lang dominierte analoge Technik das Kino. Die bewegten Bilder wurden auf Filme aus Zelluloid beziehungsweise Polyester gebannt. Dabei galten weltweit einheitliche Standards: Der Filmstreifen ist 35 Millimeter breit und am Rand mit einer Perforation versehen. Deshalb konnten Kinohits – egal, wo sie gedreht wurden – in jedem Lichtspielhaus der Welt gezeigt werden. Das hat sich mit der Digitalisierung des Kinos geändert: Heute verschicken die Verleiher meist keine Filmrollen mehr, sondern digitale Kinopakete (Digital Cinema Package; DCP) via Festplatte oder auch via Satellit. Darin sind die verschlüsselten digitalen Film- und Audiodaten sowie die Untertitel verschiedener Sprachversionen enthalten.

Auch das D-Cinema braucht einheitliche Standards. Nur dann laufen digitale Filme in jedem Kino – egal, mit welcher Kamera sie aufgenommen wurden, mit welchen Programmen die Postproduktion erfolgte oder welche Projektoren installiert sind. Die technischen Vorgaben fürs digitale Kino haben 2005 die sechs größten Hollywood-Studios in der »DCI-Norm« definiert. Im Auftrag der Studios haben Wissenschaftler des Fraunhofer-Instituts für Integrierte Schaltungen IIS in Erlangen weltweit gültige Testverfahren zur Einhaltung der Spezifikationen des DCI-Standards erarbeitet. Damit die digitalen Filmkopien ebenfalls dieser Norm entsprechen, haben die Experten des Fraunhofer IIS eine Software entwickelt, mit der sich DCPs zuverlässig für alle Abspiel-systeme passend herstellen lassen.

### Einfache und übersichtliche Bedienung

»Bei der Entwicklung von »easyDCP« konzentrierten wir uns darauf, die Bedienung möglichst einfach und übersichtlich zu gestalten«, sagt Dr. Siegfried Föbel, der die Abteilung Bewegtbildtechnologien am IIS leitet. Ein Konzept, das die Nutzer überzeugte. In kurzer Zeit wurde die Software zum Marktführer. Mehr als 1000 Kunden nutzen schon das Programm. Mittlerweile integrieren große Firmen die Software in ihre Produkte – darunter Quantel, Drastic und Blackmagic Design.

»Wir haben mit »easyDCP« erstellte digitale Filmpakete auf den unterschiedlichsten Abspielgeräten getestet und die Software kontinuierlich verbessert. Dabei ist auch das Feedback der Nutzer eingeflossen«, erläutert Heiko Sparenberg, Leiter der Gruppe Digitales Kino am Fraunhofer IIS. »Darum hat sich das Programm am Markt durchgesetzt.« Die Software ermöglicht es nicht nur großen Studios, sondern auch kleineren, unabhängigen Produzenten und Filmemachern eigene digitale Kinopakete zu erstellen. Von den umfangreichen Funktionen des Programms, wie der Herstellung von Untertiteln und Tonspuren in verschiedenen Sprachen, Unterstützung des 3D-Formats oder der 4K-Auflösung, profitieren Postproduktionsfirmen, Filmproduktionen, Verleiher und Filmfestivals. Die Software ist unter anderem bei der Berlinale im Einsatz. Dort wird die

SONDERAUSGABE  
FORSCHUNG KOMPAKT  
05 | 2014 || Thema 3



Qualität der aus aller Welt gelieferten digitalen Filmkopien geprüft. Fehlerhafte Filmpakete lassen sich so rechtzeitig erkennen und für die Vorführung vorbereiten.

Für ihre Arbeiten zum Thema »Das digitale Kino erobert die Welt – Software zur Erstellung von digitalen Kinopaketen ermöglicht den Durchbruch des digitalen Kinos« erhalten Dipl.-Inf. Heiko Sparenberg und Dr.-Ing. Siegfried Föbel einen der Joseph-von-Fraunhofer-Preise 2014.



Mit der von Dr. Siegfried Föbel und Heiko Sparenberg (v.l.n.r.) entwickelten Software easyDCP lassen sich digitale Kinopakete einfach im geforderten Standard erstellen. Das Programm hat ein wichtigen Beitrag zum Durchbruch des Digitalen Kinos geleistet.

(© Dirk Mahler/Fraunhofer) | Bild in Farbe und Druckqualität: [www.fraunhofer.de/presse](http://www.fraunhofer.de/presse)

## Kleben mit vorappliziertem Klebstoff

Kleben ist eine effektive und preisgünstige Fügemethode: Damit können auch unterschiedliche Werkstoffe lückenlos miteinander verbunden werden. Vor allem im Leichtbau ist es die Fügetechnik der Wahl, denn viele der eingesetzten Materialien lassen sich nur schwerlich anders verbinden. Doch nicht in jedem Produktionsschritt kann man flüssigen Klebstoff auftragen und warten, bis er aushärtet. Der Automobilzulieferer STANLEY Engineered Fastening – Tucker GmbH aus Gießen suchte deshalb nach einer Möglichkeit, Bolzen zu kleben, ohne dass man in der Fertigung mit flüssigem Klebstoff hantieren muss. Die Lösung fanden Forscher des Fraunhofer-Instituts für Fertigungstechnik und Angewandte Materialforschung IFAM in Bremen. Ihre Idee: Zunächst wird der Klebstoff auf eines der Bauteile aufgetragen und bildet eine klebfreie trockene Schicht. Die eigentliche Klebstoffhärtung und das Fügen der Bauteile erfolgen in einem späteren Produktionsschritt.

Das Prinzip ist nicht neu. Schon die erste Briefmarke war mit einem Klebstoff versehen, der nur im angefeuchteten Zustand auf dem Umschlag haftete. Den IFAM-Wissenschaftlern ist es gelungen, diesen Ansatz für industriell zu fertigende hochfeste Klebverbindungen weiterzuentwickeln. Keine einfache Aufgabe, denn die Klebstoffe müssen unterschiedliche und zum Teil sich widersprechende Anforderungen erfüllen. »Nachdem der Klebstoff aufgetragen ist, darf er nicht mehr kleben und muss sich lange lagern lassen. Andererseits soll er beim Fügen sehr reaktiv sein und schnell aushärten«, beschreibt Chemietechnik-Ingenieur Andreas Lühring vom IFAM die Herausforderung, vor der die Wissenschaftler standen. Ihr Konzept: Sie kombinieren Harze und Härter mit unterschiedlichen Schmelzpunkten.

### Klebstoff härtet erst durch eine thermische Aktivierung

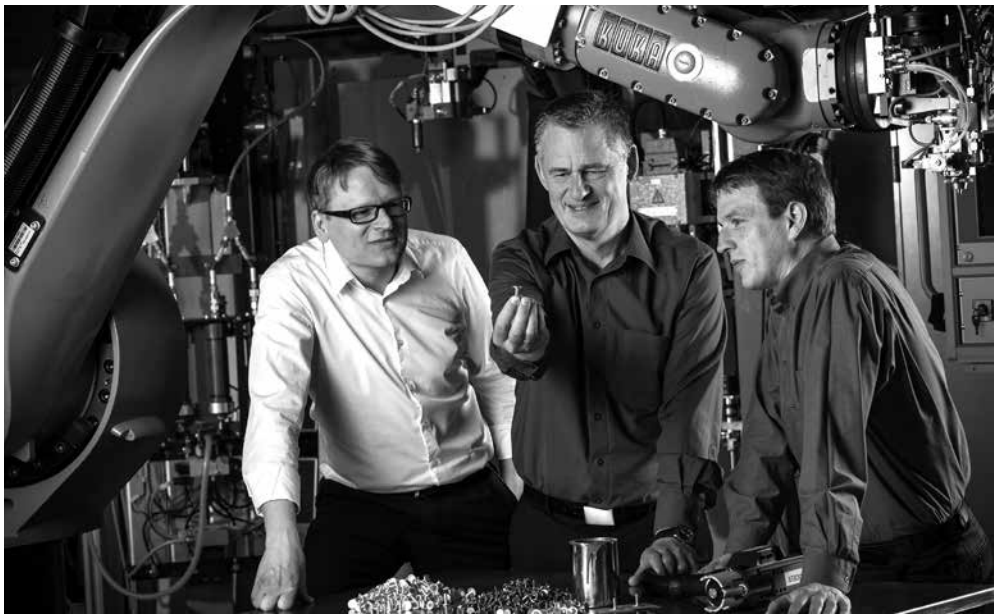
»Der Härter, der bei deutlich höheren Temperaturen schmilzt, wird ganz fein im Harz verteilt – mikrodispers«, führt Professor Andreas Hartwig aus und ergänzt: »Der reaktive Schmelzklebstoff wird zum Beispiel in der Fertigung von Befestigungsbolzen genutzt. Zunächst wird das Material aufgeschmolzen und aufgetragen. Nach dem Abkühlen ist es wieder fest. Die so beschichteten Bolzen lassen sich problemlos transportieren und lagern. Um den Klebstoff auszuhärten, erhitzt man ihn kontrolliert auf mehr als 150 Grad Celsius. »Dabei schmilzt auch der Härter und die eigentliche Klebstoffhärtung wird aktiviert«, erläutert Andreas Lühring. So lassen sich zwei Bauteile innerhalb weniger Sekunden fest mit einander verbinden.

»Die reaktiven Klebstoffe haben jedoch einen Nachteil. Sie sind zwar lange aber dennoch nur begrenzt haltbar«, sagt Dr. Matthias Popp vom IFAM. Deshalb haben die Wissenschaftler zusätzlich eine visuelle Zustandskontrolle integriert. Ist der Werkstoff nicht mehr funktionsfähig, verändert er seine Farbe.

SONDERAUSGABE  
FORSCHUNG KOMPAKT  
05 | 2014 || Thema 4



»Pre-Applicable Structural Adhesives« (PASA®) lassen sich aber auch für andere Anwendungen nutzen. Inzwischen gibt es einen variablen Baukasten mit Klebstoffen, die auf verschiedenen Rohstoffen und Härtingsprinzipien basieren. Die IFAM-Experten haben die Zusammensetzung der Klebstoffe jeweils so verändert, dass sie für die verschiedensten Anwendungen zu einer bestmöglichen Produktivität und zu einem optimalem Eigenschaftsprofil führen. Für ihre Entwicklung erhalten Andreas Lühring, Andreas Hartwig und Matthias Popp einen der diesjährigen Joseph-von-Fraunhofer-Preise.



**Kleben ohne Klebstoffauftrag – Eine Revolution in der industriellen Verbindungstechnik:  
Dr. Matthias Popp, Professor Andreas Hartwig und Andreas Lühring (v.l.n.r.).  
(© Dirk Mahler/Fraunhofer) | Bild in Farbe und Druckqualität: [www.fraunhofer.de/presse](http://www.fraunhofer.de/presse)**