



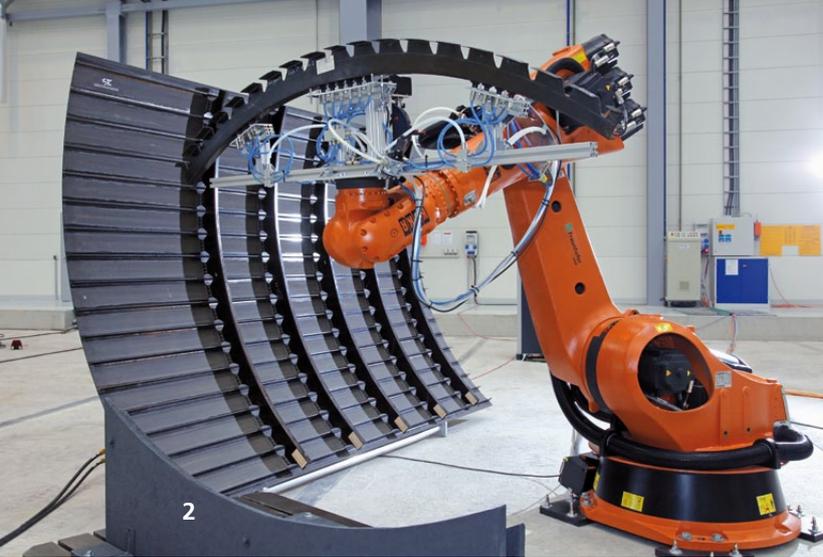
# SCHNELLER UND KOSTENGÜNSTIGER MIT QUALITÄTSGEWINN: FRAUNHOFER IFAM BESCHLEUNIGT INDUSTRIELLE PROZESSE

Die Luftfahrtmesse in Dubai im November 2011 war ein echter Erfolg für den europäischen Flugzeugbauer Airbus. Mit vollen Auftragsbüchern kehrten die Firmenvertreter zurück – allein für das umweltfreundliche Modell A320neo gab es 175 neue Bestellungen. Was das Unternehmen auf der einen Seite freut, stellt es auf der anderen vor Probleme: Die Kunden erwarten eine möglichst schnelle Lieferung, doch bei hoher Nachfrage stößt die Produktion an ihre Grenzen. Bisher hatte sich Airbus das Ziel gesetzt, bis Ende 2012 pro Monat 42 Maschinen der A320-Familie zu bauen. Nach der Messe in Dubai hieß es umdenken: Airbus-Verkaufschef John Leahy sprach von 50 Flugzeugen pro Monat, die man nun produzieren wolle – und müsse.

Beispiele wie dieses aus der Luftfahrtindustrie finden sich auch in vielen anderen Industriezweigen. Ist die gesamtwirtschaftliche Lage gut, wird bestellt. Erfolgreiche Unternehmen stoßen dann an Produktionsgrenzen, doch zusätzliche Kapazitäten lassen sich nicht kurzfristig bereitstellen. Anspruchsvolle Hochtechnologie kommt nach wie vor noch oft aus Deutschland, hingegen wird Massenware längst in Billiglohnländern gefertigt. Zusätzliche Investitionen in neue Produktionsstätten werden dennoch mit Augenmaß getätigt: Was heute noch voll ausgelastet ist, kann bei einer Rezession schon bald wieder stillstehen und ein Unternehmen finanziell stark belasten. Die Lösung heißt für viele Industriefirmen deshalb schon länger »Prozessbeschleunigung«: Optimal aufeinander abgestimmte Werkstoffe und Arbeitsschritte, ein steigender Automatisierungsgrad, steigende Reproduzierbarkeit, die verbesserte Qualitätsüberwachung schon während der Produktion – solche Ansätze ermöglichen Herstellern oft schon kurzfristig deutliche Gewinne in Effizienz und Wirtschaftlichkeit.

Mit beschleunigten Prozessen lassen sich auch Anforderungen wie im eingangs beschriebenen Beispiel meistern. Der Bereich Klebtechnik und Oberflächen im Fraunhofer-Institut für Fertigungstechnik und Angewandte Materialforschung IFAM ist hierbei der ideale Partner: Sämtliche wissenschaftlichen Einheiten dieses Institutsteils erzielen schon seit Jahren in Zusammenarbeit mit ihren industriellen Auftraggebern exzellente Resultate, wenn die Optimierung und Beschleunigung von Herstellungsprozessen zum Thema wird. Ob es um den bestmöglichen Einsatz der Klebtechnik, neue Lacke und neue Verfahren des Lackierens, die Oberflächenvorbehandlung und -beschichtung oder die Automatisierung von Bearbeitung sowie Montage geht, um nur einige Beispiele zu nennen: Die europaweit größte unabhängige Forschungseinrichtung auf

1 Airbus A350 XWB (Xtra Wide Body; Quelle: AIRBUS S.A.S. 2010 – Computer Rendering by FIXON – GWLNSD).



dem Gebiet der Klebtechnik bietet der Industrie seit langer Zeit Lösungen an, die Produktionsprozesse schneller, effizienter und günstiger machen – und das typischerweise mit besserer Qualität und höherer Fertigungssicherheit.

### Fügen und Montieren: Früher manuell, heute automatisiert

Beim Bearbeiten, Fügen und Montieren war das Fraunhofer IFAM bisher mit vielen Projekten erfolgreich, bei denen es um den Ersatz manueller Fertigungsschritte durch automatisierte Prozesse ging. Wo früher Menschen aufwendig Oberflächen vorbehandelt, Qualität überwacht, Klebstoff aufgetragen oder gebohrt, gefräst und gefügt haben, kommen heute meistens Roboter und Maschinen zum Einsatz. Sie erledigen die Aufgaben rund um die Uhr und sind in Zuverlässigkeit sowie Präzision dem Menschen weit überlegen. Ein Beispiel aus der Luftfahrtindustrie zeigt, welches Beschleunigungspotenzial die Automatisierung künftig beim Flugzeugbau haben kann. Dort wird – etwa beim in der Produktionseinführung befindlichen A350 XWB (Xtra Wide Body; Abb. 1) – immer stärker auf carbonfaserverstärkten Kunststoff (CFK) gesetzt.

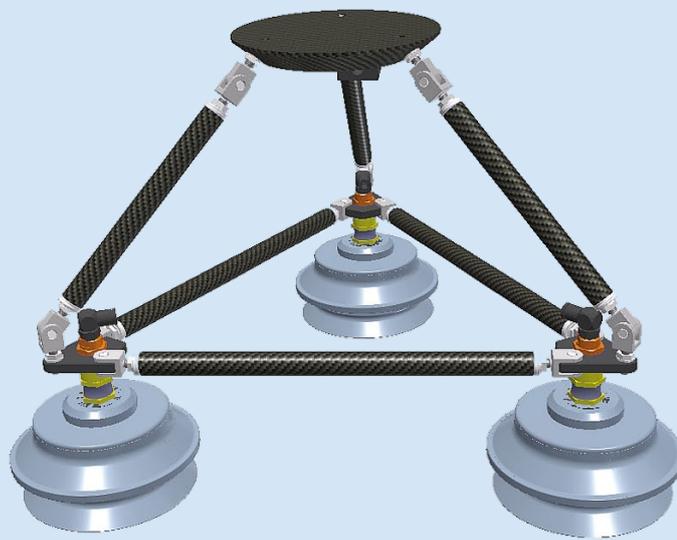
Bei der Verbindung von zwei lastübertragenden CFK-Bauteilen wird bislang noch das traditionelle Nieten bevorzugt. Ein Klebstoff fungiert dabei nur als Spaltausgleichsmasse – der Fachausdruck dafür ist »shimmen«. Das Shim-Material dichtet die Zwischenräume der Bauteile ab. Weil diese unregelmäßig sind und aus Gewichtsgründen nicht mehr Shim als unbedingt erforderlich verwendet werden soll, ist der derzeitige Shim-Prozess aufgrund z. T. mehrfacher manueller Mess- und Anpassvorgänge äußerst zeit- und ressourcenaufwendig. In Bremen und im Forschungszentrum CFK Nord in Stade haben Experten des Fraunhofer IFAM nun zusammen mit Flugzeugbauern ein Verfahren entwickelt, welches auch großdimensionale Bauteile mithilfe hochspezialisierter Lasertechnik so exakt

vermisst, dass die dreidimensionalen Spaltgeometrien schon vor dem Zusammenfügen auf Millimeterbruchteile genau bekannt sind und zudem Verformungen durch den Fügedruck berücksichtigt werden. Der Vorteil: Dank der hochpräzisen Messergebnisse kann die Shim-Masse in einem automatisierten Arbeitsgang absolut passgenau aufgetragen werden. Der Geschwindigkeitszuwachs ist immens (Abb. 2).

Der Einsatz laseroptischer Messverfahren ermöglicht auch bei anderen Prozessschritten die Ablösung manueller, taktile Verfahren. Beim Bohren, Fräsen und Fügen an Großstrukturen erreichen sich selbst orientierende, robotische Systeme mittlerweile eine Genauigkeit, die der eines herkömmlichen, manuell ausgeführten Prozesses ebenbürtig oder sogar überlegen ist (Abb. 3). Die besondere Herausforderung stellen hierbei die unvermeidbaren Formabweichungen der Großbauteile dar, die es verbieten, dem Roboter – wie z. B. in der Automobilindustrie – feste Bearbeitungsbahnen einzuprogrammieren. Mit berührungslosen Messverfahren und der Überwachung durch optische bzw. Kraft- und Momentensensoren lassen sich heute sowohl kleine Komponenten als auch biegeschleife Großbauteile sekundenschnell in die richtige Position und Form bringen, wo früher eine aufwendige manuelle Schritt-für-Schritt-Annäherung stattfinden musste. Bisher hintereinanderliegende Prozessschritte können heute parallel durchgeführt werden, indem beispielsweise mehrere Roboter verschiedene Bearbeitungsschritte, wie das Oberflächenvorbehandeln der einen und Fügen der anderen Komponenten, gleichzeitig an einem Arbeitsplatz bewerkstelligen.

Nicht nur bei der Realisierung solcher automatisierten Prozessschritte greift das Fraunhofer IFAM auf einen breiten Erfahrungsschatz zurück – wobei im Bereich Zerspanung und

- 2 *Automatisierte klebtechnische Montage eines Spants in eine CFK-Flugzeugrumpfschale.*
- 3 *Automatisiertes hochgenaues Fräsen der Fensteröffnung an einer Flugzeugrumpfschale aus CFK.*



Robotik darüber hinaus eine enge Kooperation mit dem Institut für Produktionsmanagement und -technik IPMT der Technischen Universität Hamburg-Harburg besteht. Die Experten des Fraunhofer IFAM arbeiten auch permanent an Verfahren zur schnelleren Aushärtung von Klebstoffen und Shims. Durch den schnelleren Härteprozess kann auch die Montage von Fixierhilfen vermieden werden, die bislang beim langsamen Aushärten notwendig waren. Damit entfällt an dieser Stelle ein kompletter manuell durchgeführter Arbeitsgang, was wiederum der Prozessgeschwindigkeit zugutekommt.

Auf einer anderen Ebene ist es die flexiblere Gestaltung von Produktionsanlagen, mit der eine Beschleunigung erreicht werden kann. Hier erarbeitet das Fraunhofer IFAM zum Beispiel Lösungen, die Produktionsanlagen für vielfältige Bauteil-Geometrien verwendbar machen. Damit sollen – wie in der Vergangenheit oft geschehen – zeit- und kostenaufwendige Umrüstungen oder gar Neuinstallationen von Produktionslinien vermieden werden, wenn ein Modellwechsel ansteht. Moderne Sensoren und Aktuatoren machen es möglich, dass sich maschinengestützte Greifarme oder Roboter mit ihren Bearbeitungswerkzeugen auf andere Aufgaben umprogrammieren lassen und dann mit veränderten Geometrien, Werkstoffen oder Arbeitsschritten funktionieren. Speziell für den Flugzeugbau hat die Fraunhofer-Projektgruppe Fügen und Montieren FFM des Fraunhofer IFAM im CFK Nord Stade beispielsweise einen carbonfaserverstärkten Greifer entwickelt, der flexibel Flugzeugbauteile mit verschiedenen Geometrien aufnehmen kann (Abb. 4). Er passt sich den vielen Schalen mit unterschiedlichen Krümmungen an, die in einem Flugzeug verbaut werden. Erreicht wird dies durch beweglich angeordnete Saugnäpfe, die auf einer leichten Fachwerkträgerstruktur platziert sind.

### Oberflächenvorbehandlung: Produktionsintegrierte Verfahren mit Mehrfachnutzen

Auch im Bereich der Oberflächenvorbehandlung hat das Fraunhofer IFAM Entwicklungen initiiert, durch die Prozesse schneller und schlanker werden. Das geschieht vor allem dadurch, dass aufeinander aufbauende Prozesse nicht mehr wie früher separat durchgeführt, sondern direkt zueinander gebracht werden. In vielen Industriezweigen, wie zum Beispiel der Luftfahrtindustrie, müssen Werkstoffe und Bauteile oft noch mit aufwendiger manueller Arbeit gereinigt und für die Klebung oder Lackierung vorbereitet werden, bevor sie in den eigentlichen Produktionsprozess gelangen. Für langfristig konkurrenzfähige und wirtschaftliche Prozesse muss das Ziel jedoch darin liegen, die Vorbehandlung mit adaptierten, bedarfsgerechten Verfahren automatisch gesteuert direkt in die Prozesslinien zu integrieren. Wenn das Material beispielsweise vor dem Kleben erst noch gestrahlt werden muss, kann dies auch in einer Massenproduktion durch verschiedene Techniken direkt vor dem Kleben geschehen – sicher und effizient (siehe Seite 84; »Reinigen und Aktivieren vor Lackieren und Kleben: Bei Faserverbund-Werkstoffen kommt es auf die richtige Oberfläche an«).

Ein anderes Beispiel der FuE-Aktivitäten des Bereichs Plasmatechnik und Oberflächen – PLATO – am Fraunhofer IFAM sind sogenannte Transferfolien für die Herstellung von Bauteilen. Dabei handelt es sich um Bahnware, die in Bauteilformen eingelegt wird und sich an die Geometrie der Form anpassen kann. Die Bahnware hat nicht nur eine »trennende« Wirkung, durch die sich das Bauteil nach dem Formen wieder aus der Form herauslösen lässt; sie ist zudem in der Lage, der Bauteil-

**4** *Modularer carbonfaserverstärkter Leichtbaugreifer, der Flugzeugbauteile flexibel aufnehmen und handhaben kann – eine Entwicklung der Fraunhofer-Projektgruppe Fügen und Montieren FFM.*



oberfläche durch eine plasmapolymere Transferbeschichtung gleichzeitig noch weitere Funktionen hinzuzufügen, etwa einen effizienten Kratzschutz. Während im herkömmlichen Herstellungsprozess eines Spritzgussbauteils noch drei Schritte notwendig sind – zunächst die Bauteilformung, anschließend die Säuberung von den Trennmittelresten, dann das Aufbringen des Kratzschutzes – ist es mit dem von den Fraunhofer IFAM-Experten entwickelten Verfahren möglich, das Bauteil in nur einem Schritt fertigzustellen. Hierbei verbleibt die Folie bis zum Prozessende oder sogar bis zur Auslieferung an den Endkunden als Schutzfolie auf der hergestellten Komponente, wodurch sich weiter Prozesskosten und Arbeitsschritte einsparen lassen.

Diese »In-mould-Verfahren« können auch andere Funktionen integrieren – beispielsweise eine Lackierung von CFK-Bauteilen. Das geformte Teil ist dann bereits komplett fertig, wenn es aus der Formpresse kommt, weil der gewünschte Lack bereits vorher auf die Trennschicht aufgebracht war. Auch als sofort funktionierender Verschmutzungsschutz für die hergestellten Bauteile, die der Kunde nur noch vor Gebrauch abziehen muss, lässt sich die vom Fraunhofer IFAM entwickelte Transferfolie nutzen. Sie dient gleichzeitig als Schutz vor Beschädigungen bei weiteren Verarbeitungsschritten und beinhaltet damit auch eine qualitätssichernde Wirkung (Abb. 5).

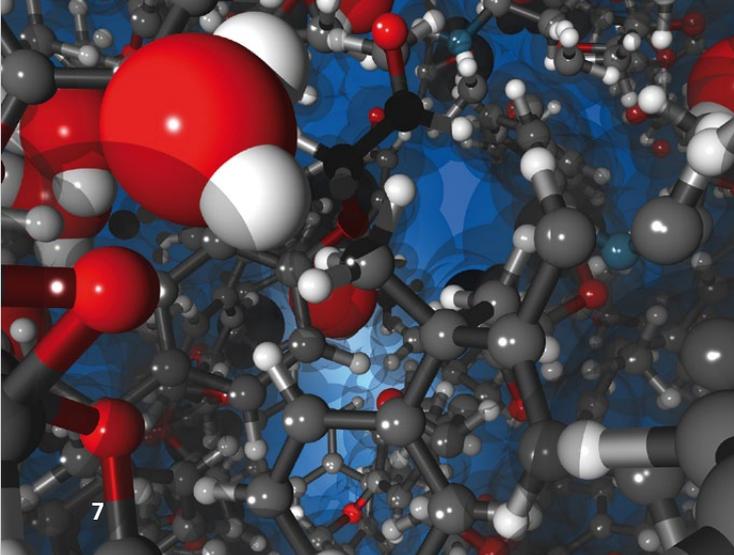
Im Bereich der Plasmabeschichtung arbeitet PLATO an produktionsintegrierten Verfahren, die gezielte lokale Beschichtungen mit Plasmadüsen ermöglichen (Abb. 6). Diese werden optimal auf die Bedürfnisse des Kunden angepasst. Für einen Betrieb aus der Automobilzulieferbranche wurde zum Beispiel ein Verfahren entwickelt, mit dem eine Korrosionsschutzbeschichtung exakt auf die beanspruchten Bereiche einer Servogetriebebesteuerung aufgebracht wird. Im Abstand weniger Sekunden reinigt dabei zunächst eine Plasmadüse das Material, bevor eine weitere Düse die Schutzschicht aufbringt. Noch vor wenigen Jahren wäre für derartige Schritte ein zeitaufwendiges nasschemisches Verfahren samt anschließender Trocknung und teurer Entsorgung der umweltschädlichen Chemikalien notwendig gewesen. Heute geschieht die Bearbeitung in

einem Bruchteil der Zeit und zwar qualitätsgesichert direkt vor der Klebung, sodass nicht nur die Prozesskosten deutlich gesenkt werden konnten, sondern auch noch die Fertigung am Standort Deutschland wieder attraktiver wurde.

Eine ähnliche Weiterentwicklung gelang PLATO in der Solarbranche. Für diese wurden funktionelle Atmosphärendruck-(AD-)Plasma-Beschichtungen entwickelt. Sie verleihen den Materialien und Bauteilen widerstandsfähige und alterungsbeständigere Oberflächen, die zum einen den Wartungsaufwand reduzieren und zum anderen darüber hinaus ihre Funktionssicherheit und Lebensdauer verlängern. Die hocheffiziente Beschichtung verhindert beispielsweise bei Solarmodulen die Korrosion und erhöht ihre Lebensdauer um bis zu 20 Prozent. Gegenüber früheren Verfahren, die mit Niederdruck-Plasma (ND) arbeiteten, sorgt nicht nur die Beschichtung bei Atmosphärendruck schon für eine erhebliche Produktionsbeschleunigung. Auch hier lässt sich die Beschichtung vollständig automatisiert – auch gezielt selektiv – aufbringen. Sie ist problemlos in eine bestehende Produktion integrierbar. Die Entwicklung der PLATO ist nicht auf Solarmodule beschränkt: Alle Materialien, egal ob Metalle, Keramiken, Gläser oder Polymere, lassen sich mit AD-Plasma-Schutzbeschichtungen versehen. Für diese Anwendung mit ihrem hohen Innovationspotenzial erhielten die Forscher des Fraunhofer IFAM Dr. Uwe Lommatzsch und Dr. Jörg Ihde den »German High Tech Champions Award 2011« auf dem Gebiet Solar/Photovoltaik in Boston (siehe Seite 108 – Menschen und Momente; »Plasma-Schutzschicht für Solarmodule in Boston ausgezeichnet: GHTC Award für Dr. Uwe Lommatzsch und Dr. Jörg Ihde«).

Für die Vorbehandlung von Kohlenstoff-Nanoröhrchen (Carbon-Nano-Tubes; CNT), die in der Industrie in den vergange-

- 5 Entformen, transferieren und schützen durch Flex<sup>Plas</sup>-Technologie aus dem Fraunhofer IFAM.
- 6 Lokal, inline-tauglich und umweltfreundlich: Atmosphärendruck-Plasma-Beschichtung für Haftvermittlung und Korrosionsschutz.



nen Jahren einen Boom erlebt haben, hat PLATO ebenfalls ein hocheffizientes neues Verfahren entwickelt. Wo früher eine nasschemische Vorbehandlung in Säuren über 24 Stunden notwendig war, steht nun eine nur noch wenige Sekunden dauernde effiziente Plasma-Vorbehandlung bei Atmosphärendruck zur Verfügung. So konnte durch einen umweltfreundlichen Prozess das Marktpotenzial von CNTs signifikant gesteigert werden.

Im Bereich von Niederdruck-Plasma-Schichtabscheidungen gelang es den Experten von Plasmatechnik und Oberflächen wiederum, die Geschwindigkeit des Aufbringens von Funktionsbeschichtungen deutlich zu erhöhen. Weniger Zeitaufwand bedeutet auch in diesem Fall eine höhere Produktionsgeschwindigkeit und geringere Fertigungskosten. So können Abrasionsschutzschichten, die ihre Wirkung erst bei Schichtdicken größer als ein Mikrometer entfalten, kostengünstig und konkurrenzfähig angeboten werden.

**Adhäsions- und Grenzflächenforschung:  
Kleine Dimensionen, große Wirkung**

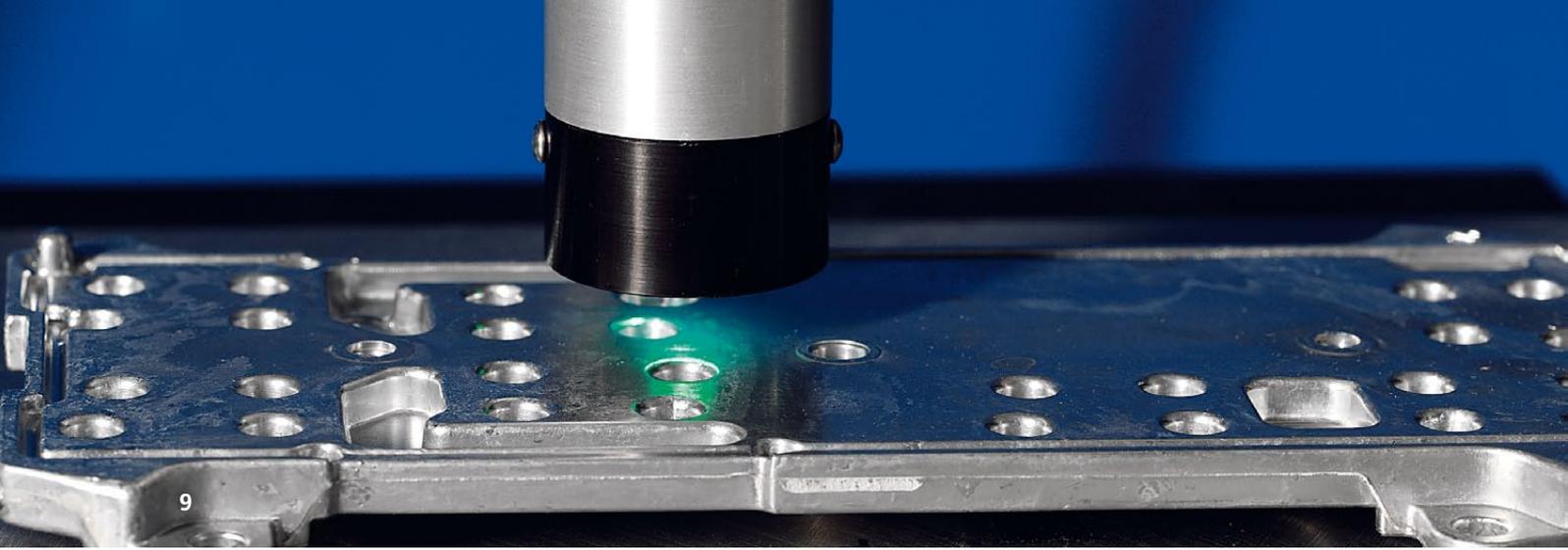
Die Wissenschaftler im Fraunhofer IFAM beschäftigen sich aber nicht nur mit Projekten, die den eigentlichen Produktionsprozess beschleunigen – sie sorgen mit ihrer Arbeit auch dafür, dass die Entwicklung neuer Materialien und Bauteile oder auch das »Design« immer weniger Zeit beanspruchen. Der Bereich der Adhäsions- und Grenzflächenforschung beispielsweise hat in den vergangenen Jahren ein umfassendes Know-how bei der Simulation aufgebaut. Die rechnerische Simulation der chemischen Eigenschaften oder der Alterungsprozesse von Materialien hilft, die herkömmlichen empirischen Test- und Prüfprozeduren erheblich abzukürzen. Durch die Simulation lassen sich heute in kürzerer Zeit viele Informationen gewinnen, für die es noch vor wenigen Jahren Testverfahren mit längeren Prüfprozeduren bedurfte (Abb. 7). Dabei löst die Simulation die Untersuchungen nicht vollständig ab; sie hat aber dazu geführt, viele Entwick-

lungsprozesse zu »verschlinken« und damit zu beschleunigen. Ein Beispiel für die experimentelle Simulation ist die wesentlich schnellere Korrosionsprüfung vieler Materialien. Im Fraunhofer IFAM wurden Testverfahren erarbeitet, die innerhalb weniger Stunden oder Tage belastbare Aussagen über das Korrosionsverhalten liefern (Abb. 8). Herkömmliche Standardtestverfahren brauchen hierfür bis zu einige Monate. Bei der Entwicklung von neuen Korrosionsschutzlacken etwa bedeutet dies einen enormen Zeitgewinn für Unternehmen.

Weil Firmen bei Produkt- oder Modellwechslern immer bestrebt sind, die Entwicklungszeiten möglichst kurz zu halten, wird auf eine leistungsfähige Simulation zunehmend Wert gelegt. In der Automobilindustrie müssen die Strukturen heute grundsätzlich simulationsfähig sein, um beispielsweise das Crashverhalten überwiegend im Computer nachvollziehen zu können und die Anzahl teurer »realer« Crashtests zu minimieren. Für diesen Bereich der Simulation sind im Institut vor allem die Wissenschaftler von Werkstoffe und Bauweisen verantwortlich, während sich die Adhäsions- und Grenzflächenforschung primär mit den technischen Auswirkungen der auf mikroskopischer und molekularer Ebene geprägten Materialeigenschaften beschäftigt.

Die Adhäsions- und Grenzflächenforschung ist zudem an Entwicklungen beteiligt, mit denen die Fertigungsprozesse selbst beschleunigt werden können. So wurde in den vergangenen Jahren an der Entwicklung von chromatfreien nasschemischen Vorbehandlungsverfahren für Leichtmetalle gearbeitet. Bei diesem Arbeitsschritt werden Metallstrukturen vorbehandelt, um einen Korrosionsschutz zu erzielen und gleichzeitig die Haftung für den später folgenden Primer- oder Klebstoffauftrag zu verbessern. Die Experten der Adhäsions- und

- 7 *Simulation der Aufnahme eines Wassermoleküls (rot-weiß; oben links) in ein polymeres Netzwerk.*
- 8 *Elektrochemische Untersuchungen zur Bewertung von Korrosionsschutzschichten.*



9

Grenzflächenforschung stellten hierbei sicher, dass trotz der Umstellung auf neue Verfahren oder der Verkürzung der Vorbehandlungszeiten das Material eine gleichbleibende oder sogar bessere Qualität aufwies. Bei derartigen Entwicklungen kommt es immer darauf an, die Ergebnisse aus dem Labormaßstab rasch in die industrielle Fertigungstechnik zu transferieren. Das Fraunhofer IFAM passt seine Labor- und Technikumsausrüstung ständig diesen schnellen Entwicklungsprozessen an.

Einen Beitrag zu schnelleren Härtungsprozessen von Klebstoffen und Lacksystemen hat die Adhäsions- und Grenzflächenforschung mit der Entwicklung von mikroskopisch kleinen Kapseln bis hinunter in den Nanometerbereich geleistet. Sie enthalten Wirkstoffe, die auf Kommando – zum Beispiel durch einen Temperaturimpuls – freigesetzt werden können, wodurch es zu einer schlagartigen Härtung des Klebstoffs kommt. Dafür werden auf molekularer Ebene in die Struktur von Nano-Zeolithen gezielt Härtungsreagenzien eingebaut. Nachdem die Wissenschaftler bereits mit Simulationen sehr gute Ergebnisse erzielt hatten, war es beispielsweise einem Projektpartner möglich, auf Basis dieser Berechnungen geeignete Käfigstrukturen aus Zeolithen zu designen. Weitere Anwendungsmöglichkeiten der Kapselmaterialien neben der beschleunigten Härtung sind die Selbstheilung von Lacken oder der Korrosionsschutz. Hier öffnen sich die Kapseln mit den Wirkstoffen erst, wenn eine Oberflächenverletzung auftritt. Ein Anwendungsbeispiel: Bei Offshore-Windenergieanlagen auf hoher See können derartige Selbstheilungslacke oder -beschichtungen eine wichtige Grundlage für eine verlängerte Lebensdauer der Komponenten sein.

Eine erhebliche Beschleunigung von Fertigungsprozessen garantieren auch verschiedene Ansätze der Inline-Qualitätssicherung, an denen die Adhäsions- und Grenzflächenforschung beteiligt ist. Ziel ist dabei die Kontrolle der verschiedenen Stufen in der Fertigung beim klebtechnischen Fügen und beim Lackieren. Die Qualität der Fügeoberfläche oder des lackierten Materials wird hierbei direkt nach dem Bearbeitungsschritt kontrolliert (Abb. 9). Der Vorteil: Durch die produktions-

integrierte Absicherung jedes Prozessschritts kann eine Endkontrolle des fertigen Bauteils entfallen, die in den meisten Fällen bislang zerstörungsfrei nicht möglich war und deshalb nur stichprobenartig vorgenommen wurde. Die Wissenschaftler der Adhäsions- und Grenzflächenforschung untersuchen hier vor allem den chemischen Zustand oder die Rauigkeit und Struktur einer Bauteiloberfläche. Bei der Kontrolle des chemischen Zustands geht es nicht nur um das Auffinden von Verunreinigungen, sondern auch um eine Überprüfung, ob die Vorbehandlung erfolgreich gewesen ist. Dafür verwenden die Forscher verschiedene, für den jeweiligen Anwendungsfall angepasste Techniken, beispielsweise spektroskopische oder optische Verfahren.

Optische Verfahren sind insbesondere geeignet, den Benetzungszustand von Oberflächen zu charakterisieren. Diese Anwendung der Inline-Kontrolle haben die Wissenschaftler in einem Projekt optimiert, in dem es um das Kleben von Windschutzscheiben ging. Untersucht wurde der Auftrag von Primern, der mit bloßem Auge nicht mehr kontrolliert werden konnte. Das hierfür vom Fraunhofer IFAM erarbeitete Verfahren wurde so weit entwickelt, dass es für die Qualitätssicherung konkret nutzbar ist.

Ein anderes Beispiel ist die Untersuchung auf Trennmittelreste oder Fertigungsrückstände auf carbonfaserverstärktem Kunststoff (CFK). Dort führen bereits kleinste nicht sichtbare Verunreinigungen zu einer deutlichen Abnahme der Haft Eigenschaften. Die Adhäsions- und Grenzflächenforschung hat hier laserspektroskopische Verfahren mit einer hohen Nachweisgenauigkeit realisiert, die auch kleinste Verschmutzungen dokumentieren. Diese Methoden lassen sich sowohl zur Überprüfung großer Flächen als auch kleiner lokaler Bereiche direkt in die Produktion integrieren. Die große Herausforderung ist dabei generell, Methoden zu entwickeln, die in

9 Nachweis von Restkontaminationen an einem Aluminiumdruckgussbauteil mittels Optically Stimulated Electron Emission (OSEE).



der Fertigungsumgebung eine schnelle Detektion und hohe Nachweisgenauigkeit ermöglichen, gleichzeitig aber auch sehr robust sind. Die Taktzeiten dürfen durch den Einsatz der Inline-Verfahren nicht verlängert werden.

#### **Lacktechnik: Von schnellerer Trocknung zum Colour Matching**

Auch im Bereich der Lacktechnik hat das Fraunhofer IFAM vielfältige Ideen umgesetzt, um die Prozesse bei diesem bedeutenden Produktionsschritt zu beschleunigen. Ein anschauliches Beispiel resultiert aus einem Forschungsprojekt, das vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) gefördert wurde. Zusammen mit zahlreichen Industriepartnern – vom Lackproduzenten über die Hersteller von Lackier- und Trocknungsanlagen bis zum Endanwender – haben die Lacktechnik-Experten des Instituts eine erhebliche Zeitersparnis beim Trocknungsprozess von lackierten Kunststoffbauteilen im Automobilbereich erreicht. Ansatz war hierbei die schnelle Härtung der lackierten Teile durch ultraviolette Strahlung.

Die Lacktechnik kooperierte dazu eng mit der Adhäsions- und Grenzflächenforschung. Durch die rechnerische Simulation der Lackaushärtung gelang eine gezieltere Rezepturenentwicklung für diesen Anwendungsfall. Der intensive Austausch zwischen theoretischen und praktischen Erkenntnissen führte schnell zu einem Ergebnis, das der Industrie konkrete Verbesserungen im Herstellungsprozess ermöglicht. Beim herkömmlichen Lackierprozess von Spiegeln, Stoßfängern oder Innenteilen werden die Teile nach dem Lackauftrag zwischen 20 und 60 Minuten im Ofen gehärtet. Es gelang unter anderem durch die Forschungsarbeiten am Fraunhofer IFAM, die Trockenzeit mit der UV-Härtung auf weniger als fünf Minuten zu reduzieren. Das bedeutet nicht nur eine erhebliche Zeitersparnis, sondern auch eine deutliche Verringerung des Energiebedarfs.

Ein anderer Weg, den die Lacktechnik des Fraunhofer IFAM im Hinblick auf die industrielle Anwendung untersucht, ist die sogenannte »Kältetrocknung« (Abb. 10). Im Gegensatz zu der Trocknung mit warmer Luft, bei dem das Bauteil aufgeheizt wird und der Lackfilm durch die höhere Temperatur aushärtet, wird hier mit kalter, trockener Luft gearbeitet. Wird ein mit Wasserlack benetztes Bauteil nun dieser Luft ausgesetzt, ist die trockene Luft bestrebt, wieder Wasser aufzunehmen – und entzieht es dem Lack auf dem Bauteil. Auch das Vorgehen ist nicht nur effizient, sondern zudem energiesparend, weil der Prozess des Aufheizens und Abkühlens entfällt. Energie ist lediglich für die vorhergehende Entwässerung der Luft notwendig. Dank der technologischen Verbesserungen des Fraunhofer IFAM ist dieses schon länger bekannte Verfahren zuletzt äußerst effizient geworden; die Entwässerung – und damit Trocknung – eines lackierten Bauteils ist heute in nur wenigen Minuten möglich.

Ein weiteres Beispiel für Prozessbeschleunigung im Produktionsprozess ist die Infrarottrocknung, mit der die Wissenschaftler vor allem die Lackierung großer Bauteile in wesentlich kürzerer Zeit möglich gemacht haben. Während Flugzeugbauteile, Schienenfahrzeuge oder Rotorblätter von Windenergieanlagen nach der Lackierung normalerweise sechs bis zwölf Stunden trocknen müssen, wird diese Zeit durch die Verwendung von Infrarotstrahlung auf 30 Minuten reduziert. Auch hier arbeitete die Lacktechnik intensiv an der richtigen Ausgestaltung des Prozesses – von der Auswahl der Strahler über die Definition der Wellenlängen bis zur Qualifikation der verwendeten Lacke und Materialien.

**10** Laboranlage zur effizienten und energiesparenden Trocknung wasserhaltiger Lacke mit kalter entfeuchteter Luft.

**11** Auch bei »schwierigen Lacken«: Durch das verbesserte Colour-Matching-Verfahren passen an verschiedenen Orten lackierte Fahrzeugkarosserien und Anbauteile optimal zusammen.



Die Automobiltechnik wiederum profitiert von einem neuen, schnelleren Farbmess-Abgleichverfahren, das im Fraunhofer IFAM konzipiert und umgesetzt wurde. Mit dem sogenannten »Colour Matching« lässt sich ein zeitintensiver Prozess aus dem Produktionsalltag der Branche erheblich abkürzen. Ausgangspunkt ist die Tatsache, dass Fahrzeugkarosserien im Werk lackiert werden, manche Anbauteile ebenfalls im Werk – aber mit anderen Lacken – und wieder andere Anbauteile bei Zulieferern. Gerade bei Effektfarbtönen wie Metallic-Lacken ergab sich dabei früher oft der Umstand, dass die vermeintlich gleichen Farbtöne nach der Montage optisch nicht zusammenpassten. Um das zu vermeiden, wurde für die Abstimmung der Farbtöne bei den unterschiedlichen Lackierern ein aufwendiger Weg beschritten: Sowohl beim Lackhersteller als auch bei den einzelnen Anwendern wurden Proben lackiert, die dann auf dem Postweg ausgetauscht und bewertet wurden. Der Lacktechnik des Fraunhofer IFAM gelang es, diesen Prozess zu beschleunigen: Sie entwickelte ein elektronisches System, das Farbe messen und in elektronische Daten umsetzen kann – an sich noch keine Besonderheit, weil das Vorgehen schon bekannt war. Doch die Lösung der Lacktechnik-Experten integrierte auch andere Aspekte in die Bewertung, beispielsweise die Grobheit der Effektlackierung oder auch den Glanz (Abb. 11). So wurde es möglich, auch »schwierige Lacke« zu erfassen, geeignete Toleranzen zu definieren, die Lackfarben virtuell zu vergleichen, sie anzupassen und am Ende beim jeweiligen Anwender final freizugeben.

**Klebtechnische Fertigung: Schneller produzieren mit vorapplizierbaren PASA®-Klebstoffen**

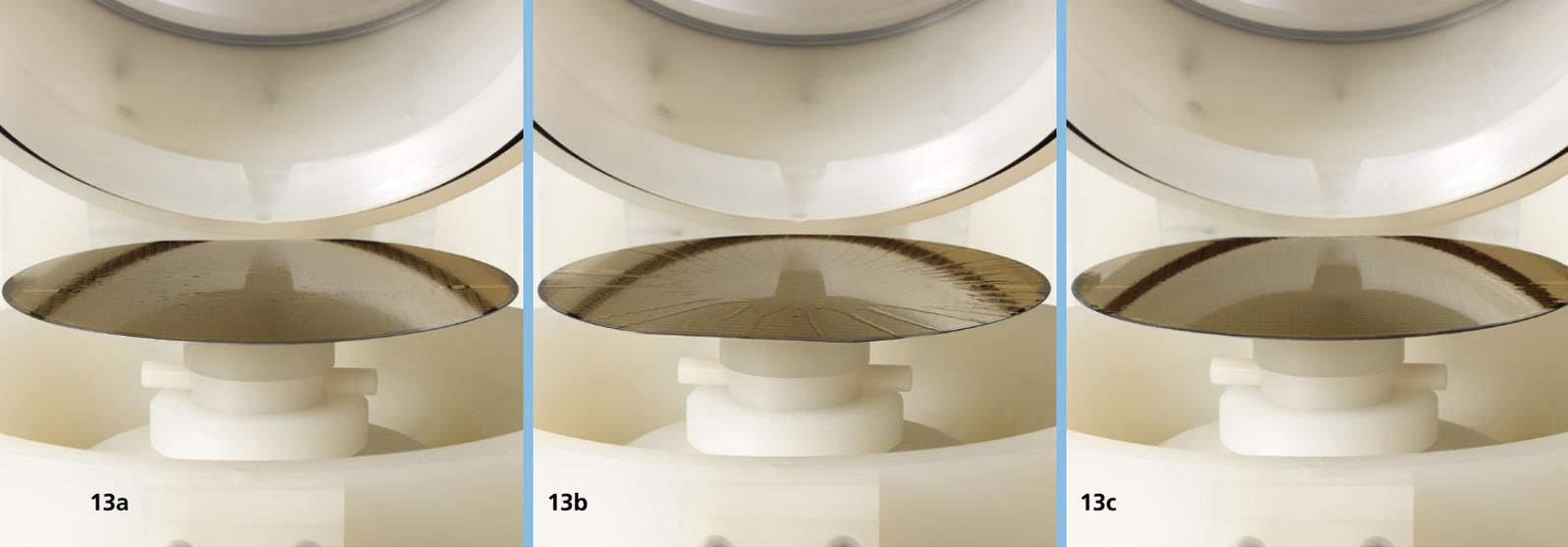
Auch auf dem Gebiet der Klebstoffe und Polymerchemie sorgen neue Erkenntnisse aus dem Fraunhofer IFAM dafür, dass industrielle Prozesse wesentlich schneller geworden sind. Bei der Klebstoffentwicklung spielt einerseits der optimierte Einsatz dieser Klebstoffe in der maschinell durchgeführten

Massenproduktion mit hohen Taktraten eine Rolle: Die Klebstoffe werden so angepasst, dass ein sicherer Einsatz in den Herstellungslinien bei immer höherem Tempo möglich ist. Andererseits lassen sich mittlerweile durch wesentlich schnellere Aushärtungen beeindruckende Geschwindigkeitsfortschritte realisieren.

Schnellhärtungsverfahren stehen heute im Mittelpunkt, wenn Industrieunternehmen eine noch höhere Taktrate erzielen wollen. Während Zwei-Komponenten-Klebstoffe aus dem Baumarkt 24 Stunden bis zum Erreichen ihrer Endfestigkeit brauchen, geht es hier um Klebungen, die innerhalb weniger Sekunden komplett aushärten. Das gelingt zum Beispiel mit Klebstoffen, die unter ultravioletter Bestrahlung (UV) blitzschnell hart werden. Weil die Festigkeit dieser Verbindungen aber nicht übermäßig groß ist, lässt sich das Verfahren beispielsweise in der Automobilbranche nicht einsetzen. Im Elektronikbereich oder auch beim Einkleben von Kanülen in Einwegspritzen ist die UV-Härtung jedoch durchaus gebräuchlich.

Eine bahnbrechende Entwicklung aus dem Fraunhofer IFAM sind vorapplizierbare Klebstoffe (»Pre-Applicable Structural Adhesives«; PASA®; Abb. 12). Der PASA®-Klebstoff wird auf Bauteile aufgebracht und dann bis zu einem bestimmten Grad vorgehärtet, sodass das Bauteil selbst trotz dieser Klebstoffbeschichtung zunächst keine Klebwirkung mehr hat. Der Vorteil: Die Komponenten – zum Beispiel Klebnägel, die im Automobilbereich als Ankerpunkte für die Inneneinrichtung des Fahrzeugs eingeklebt werden – lassen sich über einen längeren Zeitraum bei schwankenden Umgebungstemperaturen in Kartons lagern, ohne miteinander zu verkleben. Erst bei der eigentlichen Anwendung wird die vorher aufgetragene Klebschicht, die immer noch chemisch reaktiv ist, durch ein Magnetfeld in Sekundenschnelle aktiviert. Das Magnetfeld heizt für einen kurzen Zeitraum die »feste« Klebschicht auf,

12 Vorapplizierbarer PASA®-Klebstoff auf metallischen Befestigungselementen.



wodurch sie verflüssigt und damit ihre Klebwirkung entfaltet. Vom Prinzip her ist diese Anwendung mit einem Handtuchhaken vergleichbar, bei dem die Klebschicht durch ein schützendes Papier bedeckt ist, das erst kurz vor dem Verkleben abgezogen wird. Im Fall des Klebnagels ermöglicht die blitzartige Aktivierung der Klebschicht die Verwendung in der Massenproduktion.

Die vorapplizierbaren Klebstoffe weisen den Vorteil auf, dass ihr Auftrag nicht in sensiblen Produktionsbereichen erfolgt, sondern im Vorfeld der Produktion – idealerweise nicht durch den Endanwender, sondern durch vorgelagerte Dienstleister. Dort, wo sehr viele kleine Fügeteile mit Klebstoff versehen werden müssen, kann dies sogar in einem Schritt erfolgen – beispielsweise bei Chips, die sich schon auf der Wafer-Ebene mit Klebstoff beschichten lassen (Abb. 13a–c). Erfolgreich entwickelt wurde die Beschichtungsart von den Wissenschaftlern der Klebtechnischen Fertigung des Fraunhofer IFAM am Beispiel von Transpondern mit Radiofrequenz-Identifikationsetiketten, sogenannten RFIDs. Während die Chips bisher mit heiß härtenden Klebstoffen in eine Plastikhülle eingeklebt wurden, ermöglicht es die Vorapplizierung, den Klebstoffauftrag komplett aus der Fertigungslinie herauszunehmen und die verwendeten Temperaturen herabzusetzen. Am Ende steht eine deutlich erhöhte Taktrate bei insgesamt erheblich verringertem Produktionsaufwand (siehe Seite 90; »Entwicklung neuer Klebstoffe: Unmögliche Eigenschaftskombinationen möglich gemacht«).

**13a–c** Beschichten eines prozessierten Wafers mit einem vorapplizierbaren Klebstoff mittels Spin-coating.

## KONTAKT

*Dr. Markus Brede*  
*Werkstoffe und Bauweisen*  
*Telefon +49 421 2246-476*  
*markus.brede@ifam.fraunhofer.de*

*Dr. Stefan Dieckhoff*  
*Adhäsions- und Grenzflächenforschung*  
*Telefon +49 421 2246-469*  
*stefan.dieckhoff@ifam.fraunhofer.de*

*Priv.-Doz. Dr. Andreas Hartwig*  
*Klebstoffe und Polymerchemie*  
*Telefon +49 421 2246-470*  
*andreas.hartwig@ifam.fraunhofer.de*

*Dr. Dirk Niermann*  
*Fraunhofer-Projektgruppe Fügen und Montieren FFM*  
*Telefon +49 4141 78707-101*  
*dirk.niermann@ifam.fraunhofer.de*

*Dipl.-Ing. Manfred Peschka MBA*  
*Klebtechnische Fertigung*  
*Telefon +49 421 2246-524*  
*manfred.peschka@ifam.fraunhofer.de*

*Dr. Volkmar Stenzel*  
*Lacktechnik*  
*Telefon +49 421 2246-407*  
*volkmar.stenzel@ifam.fraunhofer.de*

*Dr. Ralph Wilken*  
*Plasmatechnik und Oberflächen PLATO*  
*Telefon +49 421 2246-448*  
*ralph.wilken@ifam.fraunhofer.de*

### **Institut**

*Fraunhofer-Institut für Fertigungstechnik und  
Angewandte Materialforschung IFAM,  
Bereich Klebtechnik und Oberflächen, Bremen*