



RWTH THEMEN

Forschungsmagazin

Ausgabe 1/2016

Production Engineering

Rolls-Royce Power Systems AG



Rolls-Royce

Pioniergeist. Der beste Antrieb für bahnbrechende Ideen.

1933 – der „Fliegende Hamburger“, der „ICE der 30er Jahre“, bricht mit dem GO-5-Dieselmotor alle Geschwindigkeitsrekorde.

Als technischer Direktor und Konstrukteur bewies Karl Maybach schon früh, dass das richtige Umfeld zu Innovationen führt. Aus dieser Tradition und mit Überzeugung, dass Diversität inspiriert, suchen wir auch heute stetig nach zukunftssträchtigen Lösungen. Jeder einzelne unserer Mitarbeiter. Denn Pioniergeist treibt uns an.

Seien Sie neugierig. Realisieren Sie Ihre Ideen und erfahren Sie mehr unter www.rrpowersystems.com/karriere

Powered by pioneers.

Inhalt

Production Engineering

- 6 **Produktion im Wandel**
Der Profilbereich „Production Engineering“
- 12 **Turbomachinery Manufacturing**
Transdisziplinäre Produktionsforschung
- 18 **Virtueller Einblick für den Schmied**
Mit der Formgebung zur richtigen
Mikrostruktur von Turbinenwerkstoffen
- 26 **Bauen mit Betonfertigteilen**
- 32 **Grundsteine der Produktionstechnik**
Exzellenzcluster „Integrative
Produktionstechnik für Hochlohnländer“
- 36 **Energieflüsse in der
Fertigung besser verstehen**
- 40 **AixViPMaP ermöglicht
maßgeschneiderte Werkstoffe
und optimierte Prozessketten**
- 42 **Leichtbauproduktion von morgen**
Aachener Zentrum für integrativen
Leichtbau AZL forscht für die Großserie
- 44 **Alles in die richtige Form**
Aachener Werkzeugbau:
Exzellenz im Zeitalter von Industrie 4.0
- 48 **Voller Power in die Zukunft**
Das Zentrum für Elektromobilproduktion ZEP
- 54 **Mehr Effizienz auf der Baustelle**
Neuer Lehrstuhl für Individualisierte
Bauproduktion
- 62 **Additive Fertigung löst Grenzen auf**
Die wirtschaftliche Produktion von
individuellen Bauteilen ist möglich
- 64 **3D-Druck – Alles nur ein großer Hype?**
- 66 **Visionen für die Fabrik der Zukunft**
Studierende entwickeln zukunftsweisende,
interdisziplinäre Gebäudekonzepte
- 72 **Namen & Nachrichten**
- 78 **Impressum**

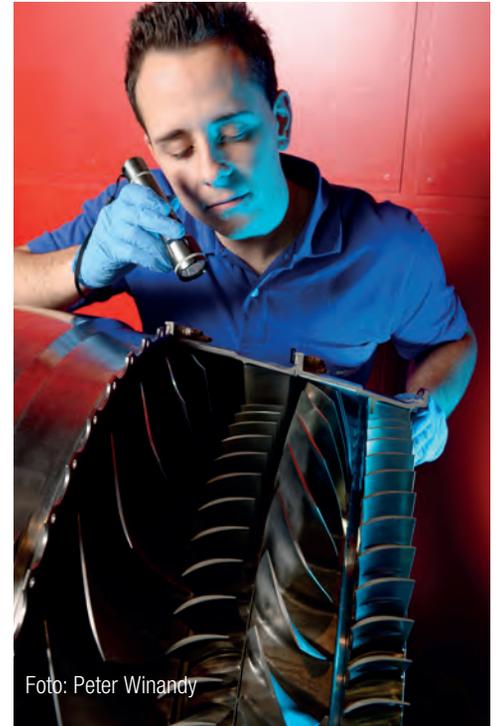


Foto: Peter Winandy



Mitarbeitende des Lehrstuhls Production Engineering
of E-Mobility Components zeigen Prototypen des
elektrischen Antriebsstrangs.

Foto: Peter Winandy

Vorwort



Universitäten brauchen den Wettbewerb um beste Forschung. So können sie Fähigkeiten erkennen und weiter entwickeln. Ich freue mich daher sehr, dass Bund und Länder eine neue Runde der Exzellenzinitiative vereinbart haben. Ab 2019 werden über einen Zeitraum von sieben Jahren insgesamt 533 Millionen Euro pro Jahr in die erfolgreichen Hochschulen fließen. Die RWTH Aachen wird sich diesem bundesweiten Wettbewerb der Hochschulen stellen. Wir wollen erneut den Beweis antreten: Die RWTH ist eine der exzellenten Universitäten in Deutschland.

Die letzte Förderrunde war inspirierend! Wir konnten spannende neue Forschung beginnen und nicht zuletzt die Attraktivität auch für unsere Studierende steigern. Denn diese können im Rahmen der forschungsorientierten Lehre schon früh in die Bearbeitung aktueller Forschungsthemen einsteigen und sich bei Studienabschluss als Experten ausweisen.

Beispiele aktueller Forschungsleistung, die – auch mit Mitteln der Exzellenzinitiative – in Aachen realisiert wurden, finden Sie in dieser Ausgabe der „RWTH THEMEN“.

Ich wünsche Ihnen viel Vergnügen bei der Lektüre!

Univ.-Prof. Dr.-Ing.
Ernst Schmachtenberg
Rektor der RWTH Aachen

Universities need competition to excel in research. It pushes them to identify and further develop their capabilities. For this reason, I am very glad that the federal and state governments have agreed to a new round of the Excellence Initiative. In a seven-year period starting in 2019, the successful universities will receive a total of 533 million Euros per year. RWTH Aachen looks forward to participating in this national competition in research and higher education. We want to demonstrate once more: RWTH Aachen is one of the excellent universities in Germany.

The last round of the Excellence Initiative was inspiring! The funding made it possible for us to embark on fascinating research projects, and we were able to make our University even more attractive, especially to our students: due to research-oriented teaching and learning, they have the chance to participate in current research early on and graduate as experts in their respective fields.

In this issue of “RWTH THEMEN”, you can find many examples of current research achievements attained in Aachen, some of which were made possible with the help of the Excellence Initiative.

I wish you an entertaining read!

Univ.-Prof. Dr.-Ing.
Ernst Schmachtenberg
Rector of RWTH Aachen University

Produktion im Wandel

Der Profilbereich „Production Engineering“

Mit seiner Entwicklungs- und Innovationskraft hat das produzierende Gewerbe in den vergangenen Jahrzehnten Deutschland zu einem weltweit anerkannten und erfolgreichen Wirtschaftsstandort erhoben. Wurde in ihrer Anfangszeit die Bezeichnung „Made in Germany“ noch als Warnhinweis auf Produkten geführt, steht sie heute als Prädikat für Funktionalität, Präzision und Qualität. Die aus dem Verkauf von Gütern im In- und Ausland resultierende Wertschöpfung bildet die Grundlage für Beschäftigung und Wohlstand in Deutschland und schafft damit die notwendigen Voraussetzungen zur Bewältigung aktueller, gesellschaftlicher Herausforderungen. Im Jahr 2015 wurden etwa 25 Prozent der Bruttowertschöpfung durch das produzierende Gewerbe erzielt und mehr als acht Millionen Menschen waren in diesem Bereich erwerbstätig.¹ Zudem ist das produzierende Gewerbe eine wichtige Basis für das Wachstum in den Dienstleistungsbereichen und trägt damit auch zur Arbeitsplatzsicherung über den eigenen Wirkungskreis hinaus bei. Die unmittelbare Bedeutung der Produktion für die soziale Stabilität und den Wohlstand unserer Gesellschaft zeigt die Notwendigkeit, die internationale Wettbewerbsfähigkeit des produzierenden Gewerbes in Deutschland zukünftig zu stärken und damit unsere wirtschaftliche Leistungsfähigkeit zu sichern.

Produktionstechnik auf den Wandel vorbereiten

Die Welt befindet sich im Wandel, begleitet durch tiefgreifende strukturelle Veränderungen in allen Gesellschaftsebenen. Verantwortlich hierfür sind Megatrends wie demografischer Wandel, Energiewende, Globa-

lisierung, Individualisierung, Klimaschutz, Mobilität, Ressourcenknappheit oder Urbanisierung. Damit einhergehen auch neue Randbedingungen, die sich auf die industrielle Produktion langfristig und nachhaltig auswirken. Bereits heute können wir stark verkürzte Produktlebenszyklen, eine höhere Vielfalt der Produktvarianten sowie eine Verlagerung der Produktion auf mehrere Standorte beobachten. Die Folge ist eine höhere Dynamik und Komplexität der Produktion, die auch in Zukunft weiter zunehmen wird. Dies hat in den vergangenen Jahren auch dazu geführt, dass die Überlebensdauer von Unternehmen am Markt signifikant verkürzt ist. Um seine internationale Wettbewerbsfähigkeit bewahren zu können, muss sich der Produktionsstandort Deutschland auf diese neuen Umstände einstellen und sich ihnen anpassen. Dafür bedarf es der Forschung und Entwicklung von neuen, innovativen Produktionskonzepten sowie deren Transfer in die industrielle Praxis. Ein erster wichtiger Schritt, diese bedeutsame Aufgabe zu erfüllen, wird im Rahmen von Industrie 4.0 bereits heute gegangen: Die Digitalisierung und Vernetzung der Produktion durch die Integration von Informations- und Kommunikationstechnologien. Ziel ist es, die Adaptivität, Flexibilität und Wandlungsfähigkeit von Produktionssystemen und Produktionsnetzwerken zu erhöhen. So lässt sich neben einer Effizienzsteigerung auch eine Erhöhung von Robustheit und Reaktionsfähigkeit der Produktion gegenüber von außen wirkenden Änderungen erreichen. Die Tragweite und Vielfalt der Auswirkungen von Megatrends bedingen ein Umdenken in der Produktionstechnikforschung. Zu erwartende Veränderungen solchen Ausmaßes

¹ [1/de.statista.com]



Bild 1: Ein Techniker bei der CNC-Programmierung einer Werkzeugmaschine.
Foto: Peter Winandy

müssen vorab in einem ganzheitlichen Forschungsrahmen betrachtet und mit Hinblick auf den Impact für die Produktionstechnik verstanden und bewertet werden.

Der Profildbereich „Production Engineering“

Spitzenforschung an komplexen Fragestellungen von gleichsam hoher wissenschaftlicher, technologischer und gesellschaftlicher Bedeutung funktioniert nur, wenn Disziplingrenzen in den Wissenschaften überwunden werden. Um die universitäre Spitzenforschung in Deutschland auszubauen und international konkurrenzfähiger zu machen, hat die RWTH Aachen im Rahmen der Exzellenzinitiative ein Zukunftskonzept entwickelt und in die Wege geleitet, das den Transferprozess hin zu einer

integrierten, interdisziplinären Hochschule beinhaltet. Im Fokus dieser strategischen Weiterentwicklung steht die Stärkung und Bündelung bestehender Kernkompetenzen in den Natur- und Ingenieurwissenschaften wie auch die Förderung der Integration von Geistes-, Sozial- und Wirtschaftswissenschaften sowie der Medizin. Das ist der Grundstein für eine interdisziplinäre und fakultätsübergreifende Forschung. Die Profildbereiche wurden als strukturelle Maßnahme im Zuge des Zukunftskonzeptes etabliert, um das Ziel einer interdisziplinären Spitzenforschung in relevanten Themenfeldern umzusetzen. Sie unterstützen zudem den Transfer der Forschungsergebnisse in Lehre, Industrie und Wissenschaft, um die Nachhaltigkeit und den Nutzen dieses Vorhabens sicherzustellen.

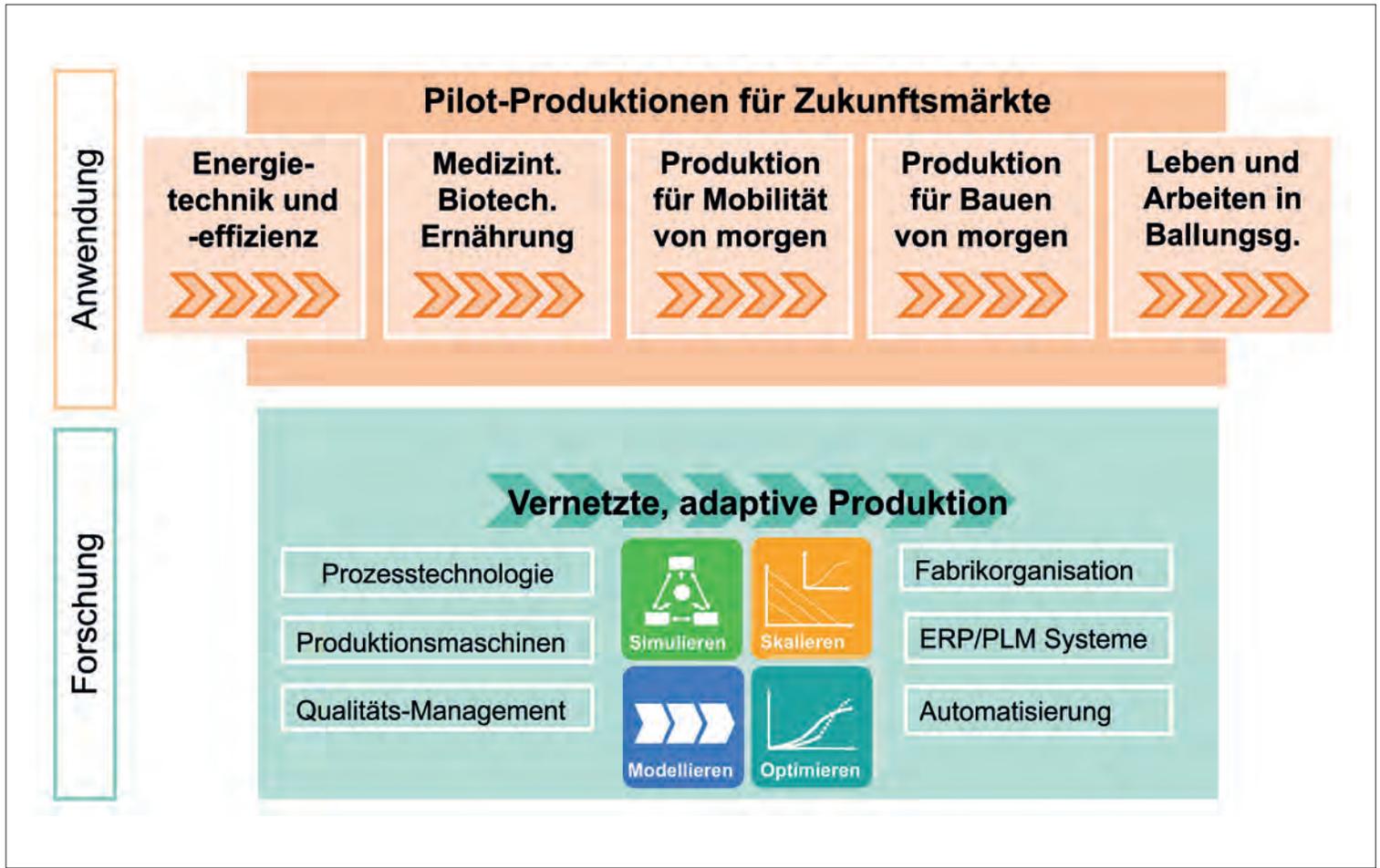


Bild 2: Schlüsselthemen des Profilbereiches „Production Engineering“.

Im Bereich der Produktionsforschung widmet sich dieser Aufgabe der Profilbereich „Production Engineering“, kurz ProdE, mit dem Ziel, die Wettbewerbsfähigkeit der Produktionswissenschaft zu erhöhen. Das Verständnis, die Konzeptionierung und die Gestaltung der Produktion auf eine interdisziplinäre und integrierte Art und Weise stehen hierbei im Fokus und sollen den Weg für die Entwicklung ganzheitlicher, wissenschaftlicher Beschreibungs-, Interpretations- und Designmodelle sowie von Produktionsschlüsseltechnologien ebnen. Um den Erkenntnis-transfer in produktionstechnische Anwendungen zu begleiten, erfolgt die Demonstration mit Hilfe von Pilot-Produktionen am Standort Aachen. Produkt- und Technologieinnovationen sowie zukunftsfähige Geschäftsmodelle und Produktionskonzepte können schneller in die industrielle Praxis überführt werden. Dies trägt langfristig zur Sicherstellung des Marktvorsprungs deutscher Produktionsunternehmen bei.

Schlüsselthemen des Profilbereichs

In einer ersten Umfeldanalyse wurden fünf relevante Zukunftsmärkte identifiziert und als Schlüsselthemen des Profilbereichs ProdE ausgewählt. Diese greifen nicht nur komplexe produktionstechnische Fragestellungen auf, sie sind auch für den gesellschaftlichen Wandel signifikant.

Produktion für die Mobilität von morgen

Mobilität ermöglicht die räumliche Beweglichkeit von Menschen oder Gütern und ist daher ein wichtiger Funktionsbaustein unserer Gesellschaft. Neue und verbesserte Konzepte gewährleisten auch morgen Mobilität. Ihre Entwicklung und Umsetzung muss sich an den veränderten sozialen, ökonomischen und ökologischen Randbedingungen orientieren. Aus Sicht der Produktionstechnik bedeutet dies, Lösungsansätze für die Herstellung der benötigten Komponenten zu entwickeln. Im Fokus stehen dabei die Bearbeitung von neuen Leichtbau- und Hochleistungswerk-

stoffen, die Qualifizierung und Optimierung von Fertigungstechnologien, die Gestaltung gesamtheitlicher Prozessketten sowie die Entwicklung neuer Geschäftsmodelle. Als erste Maßnahme zur Adressierung dieses Themenfeldes wurde im Jahr 2015 das Projekt „Turbomaschinen“ initiiert. Hier soll die Herstellung von sicherheitskritischen Komponenten für die Triebwerksindustrie analysiert und modelliert werden. Dabei werden die Bereiche Werkstoffe, Strukturmechanik, Aerodynamik, Fertigung und Betriebsverhalten in einem interdisziplinären Forschungsverbund vereint.

Produktion für das Bauen von morgen

Ansätze zur Planung, Produktion sowie zum Betrieb und Recycling von nachhaltigen Gebäuden bilden den Schwerpunkt des Schlüsselthemas „Produktion für das Bauen von morgen“. Im gleichnamigen Projekt werden die wissenschaftlichen Kernkompetenzen der RWTH vernetzt und auf dieser Basis ein interdisziplinärer Forschungsverbund zur nachhaltigen und zukunftsorientierten Bauproduktion am Standort Aachen aufgebaut. Die Aktivitäten widmen sich der Industrialisierung der Bauproduktion durch Produktstandardisierung und Intensivierung der Vorfertigung auf Basis von verbesserten Produktionsprozessen und Fertigungstechnologien, dem nachhaltigen Recycling von Baustoffen, Bauteilen und Bauwerken sowie der Gestaltung und Herstellung integraler Bauteile in Verbindung mit Ansätzen zur digitalen Gebäudedatenmodellierung. Die interdisziplinäre Forschung will die Energie- und Materialeffizienz in der Bauproduktion erhöhen, wodurch ein wichtiger Beitrag zu den gesellschaftlichen Herausforderungen Klimaschutz und Ressourcenschonung geleistet wird.

Medizintechnologie, Biotechnologie und Ernährung

Die Produktion pflanzlicher und tierischer Erzeugnisse in Hochhäusern im urbanen Raum ist Gegenstand des Zukunftskonzeptes „Vertical Farming“. Im Themenfeld „Medizintechnologie, Biotechnologie und Ernährung“ werden Forschungsaktivitäten gebündelt, die auf die Entwicklung innovativer, kostengünstiger und skalierbarer Produktionseinheiten zur automatisierten, effizienten und sicheren

Produktion von Biopharmazeutika und Nahrungsmitteln abzielen. Des Weiteren steht die Entwicklung und Skalierung zell- und pflanzenbasierter Prozesse im Fokus dieses interdisziplinären Forschungsfeldes.

Leben und Arbeiten in Ballungsgebieten

Aufgrund der zunehmenden Verstädterung müssen städtebauliche, architektonische und infrastrukturelle Lösungskonzepte für das Leben und Arbeiten in Ballungsgebieten ganzheitlich erarbeitet werden. Wohnen und Produzieren sind zukünftig im urbanen Raum räumlich und zeitlich nebeneinander zu realisieren.

Dies bedingt Architekturkonzepte, die durch eine hohe Flexibilität und strukturelle Erweiterbarkeit gekennzeichnet sind und gleichzeitig die Integration von energetischen, logistischen und verkehrstechnischen Aspekten in die Gebäudestrukturen erlauben. Die Minimierung von Emissionen sowie die Schaffung einer Null-Energie-Bilanz sind dabei weitere zentrale Zielkriterien.

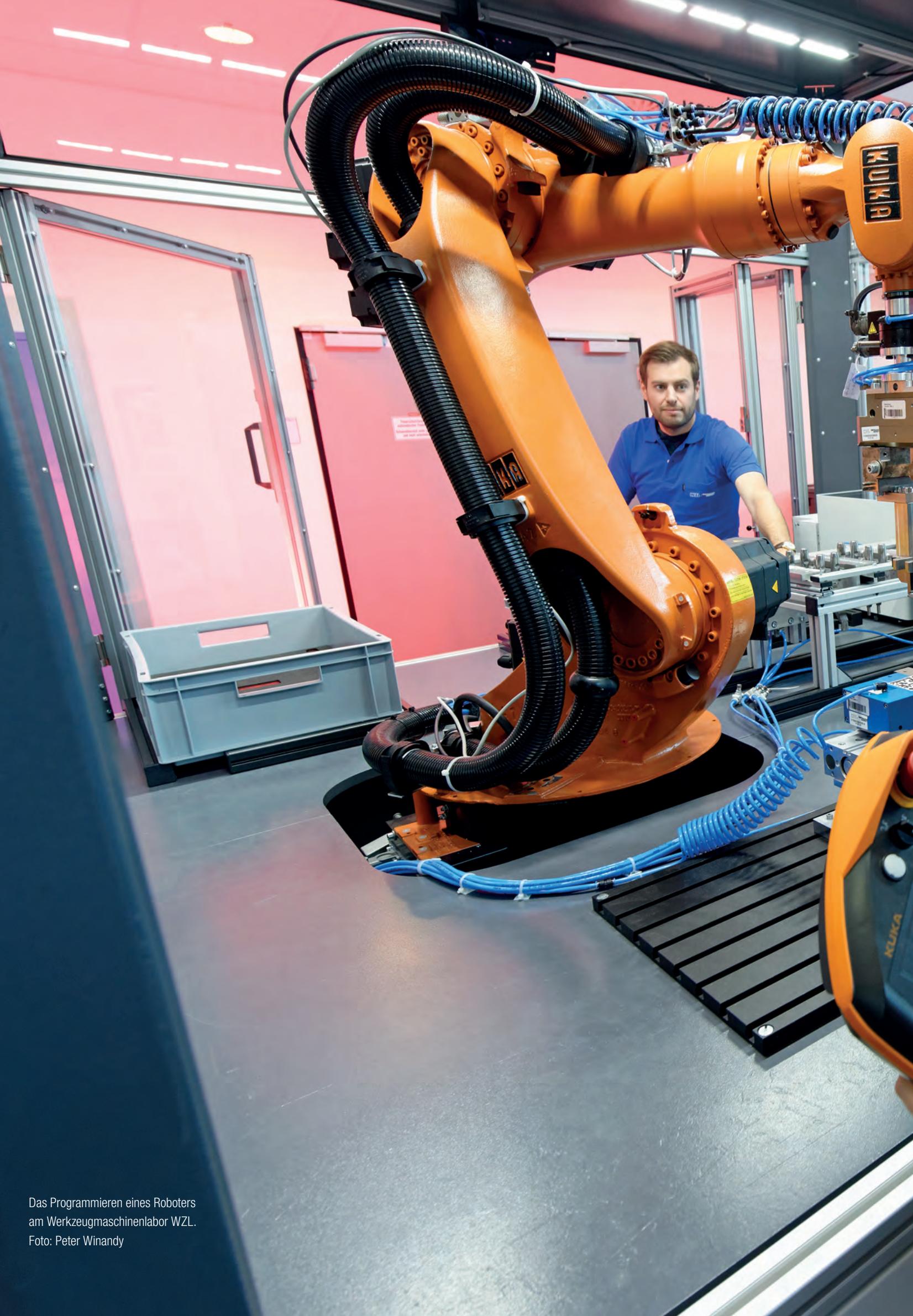
Energietechnik und Energieeffizienz

Konzeptionelle und technische Weiterentwicklungen zur Verbesserung der Effizienz bei der konventionellen und regenerativen Energieerzeugung werden häufig durch die fehlende wirtschaftliche Umsetzbarkeit in der Fertigung beschränkt. Insbesondere die hohe Varianz der Produktmerkmale bei gleichzeitig geringen Losgrößen sowie die Verwendung neuartiger, schwer bearbeitbarer Werkstoffsysteme gestalten eine automatisierte, resiliente Fertigung beziehungsweise Reparatur der Komponenten als schwierig. Die interdisziplinäre Forschung will in diesem Themenfeld ganzheitliche Lösungsansätze zur Gestaltung und Optimierung von Prozessketten und Fertigungstechnologien zur wirtschaftlichen Herstellung von energietechnischen Systemen entwickeln. In diesem Zusammenhang werden beispielsweise die wechselseitigen Abhängigkeiten von Komponentendesign, Fertigung und Werkstoffeigenschaften wissenschaftlich untersucht und in Modellen abgebildet.

Autoren

Dipl.-Ing. Thomas Auerbach ist Wissenschaftlicher Mitarbeiter am Lehrstuhl für Technologie der Fertigungsverfahren am Werkzeugmaschinenlabor WZL und Referent des Profildereichs.

Dr.-Ing. Matthias Brockmann ist Wissenschaftlicher Mitarbeiter am Lehrstuhl für Technologie der Fertigungsverfahren am Werkzeugmaschinenlabor WZL. Univ.-Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E. h. Dr. h. c. Dr. h. c. Fritz Klocke ist Inhaber des Lehrstuhls für Technologie der Fertigungsverfahren am Werkzeugmaschinenlabor WZL und Sprecher des Profildereichs.



Das Programmieren eines Roboters
am Werkzeugmaschinenlabor WZL.
Foto: Peter Winandy



Matthias Brockmann

Turbomachinery Manufacturing

Transdisziplinäre Produktionsforschung

Die Herstellung von zuverlässigen und leistungsstarken Turbomaschinen stellt höchste Ansprüche an die Fertigungstechnik. Zukünftige Forderungen nach mehr Effizienz, geringerem CO₂-Ausstoß und höherer Lebensdauer können nur durch transdisziplinäre Forschungsansätze gelöst werden. Das Projekthaus „Turbomachinery Manufacturing“ bündelt die Forschung im Bereich der Fertigung von Turbomaschinenkomponenten an der RWTH Aachen.

Turbomaschinen sind Schlüsseltechnologien unserer modernen industriellen Gesellschaft: Strahltriebwerke von Großflugzeugen, Abgasturbolader für CO₂-arme Automobile oder Dampfturbinen zur Stromerzeugung – eine Großzahl unserer heutigen technischen Systeme für Mobilität und Energie wäre ohne die breite Anwendung von Turbomaschinen undenkbar. Aufgrund der zentralen technischen Bedeutsamkeit haben Verbesserungen von Turbomaschinen direkte Auswirkungen auf Kosten und Umweltbeeinflussung des Gesamtsystems, welches sie antreiben. So könnten Studien zufolge die CO₂-Emission von aktuellen Flugzeugtriebwerken durch Optimierung um bis zu 30 Prozent verringert werden, bevor die physikalischen Grenzen der Technologie erreicht sind. Eine solche Optimierung von Turbomaschinen erfordert interdisziplinäre Forschung aus den Bereichen Thermodynamik, Aerodynamik, Fertigungstechnik und Werkstofftechnik.

Turbomaschinen funktionieren wie Windmühlen

Die Funktionsweise einer Turbomaschine kann man sich prinzipiell wie die einer Windmühle vorstellen. Die Energie des Windes wird dabei in mechanische Energie eines Mahlsteins gewandelt. In einer Turbomaschine nennt man das „Windrad“ Turbine und anstelle eines Mahlsteins wird ein so genannter Turbofan („Mantelpropeller“), ein Außenpropeller oder ein Stromgenerator angetrieben. Die Turbine und der Fan sind dabei auf genau dieselbe Welle montiert. Wird die Turbine zum Drehen gebracht, dreht sich auch der Fan am vorderen Teil der Welle mit. Um die Turbine zum Drehen zu bringen, erzeugt die Turbomaschine ihren eigenen „Wind“. Dieser wird durch Ansaugen und Verdichten der Luft auf hohen Druck und anschließender Verbrennung erzeugt. Für das Ansaugen und Verdichten wird eine weitere Turbinenstufe mit einem Verdichterrad auf einer anderen, kleineren Welle montiert. Die beiden gekoppelten Wellen werden dann ineinander verschachtelt, man spricht vom Innen- und Außenstrom. Das Verhältnis der Luftmassenströme nennt man Nebenstromverhältnis. Der Innenstrom ist somit der interne „Motor“ der Turbomaschine. In einer realen Turbomaschine werden bis zu drei ineinander geschachtelte Wellen mit mehreren Verdichter- und Turbinenrädern hintereinander realisiert. Sie werden als Verdichter- und Turbinenstufen bezeichnet.



Bild 1: Der Fan ist eines der wichtigsten Komponenten für den Schub des Triebwerkes. Foto: Peter Winandy

Die Anzahl der Stufen, die Wahl des Nebenstromverhältnisses, das Druckverhältnis im Verdichter und die Turbineneintrittstemperatur nach der Brennkammer sind wichtige Stellschrauben für die Effizienz einer Turbomaschine. Solche Fragestellungen fallen in das Fachgebiet der Triebwerksauslegung und werden am Institut für Strahlantriebe und Turboarbeitsmaschinen IST erforscht. Neben der Auslegung völlig neuer Turbomaschinen können ebenfalls Verbesserungen für bestehende Turbomaschinen abgeleitet werden. Zur Umsetzung sind Experten aus Aerodynamik, Werkstoffkunde und Fertigungstechnik gefragt. Soll beispielsweise das Druckverhältnis einer Verdichterstufe erhöht werden, sind dazu veränderte aerodynamische Profile notwendig. Das Aerodynamische Institut AIA erforscht strömungsphysikalische Fragestellungen. Nicht jede Änderung des aerodynamischen Profils ist technisch machbar. Der entsprechende Werkstoff muss der veränderten mechanischen und thermischen Belas-

tung standhalten können. Ebenso müssen die teilweise hochkomplexen Geometrien durch geeignete Fertigungsverfahren herstellbar sein. Die Fertigung wiederum beeinflusst den Werkstoff und dessen Lebensdauer.

Sicherheit gewährleisten

Die effiziente Umsetzung von verbesserten Turbomaschinenkonzepten kann also nur durch interdisziplinäre Zusammenarbeit verschiedener Wissenschaftsdisziplinen realisiert werden. Aber nicht nur die technische Machbarkeit ist von Bedeutung: Die Herstellung von Turbomaschinen – vor allem im Flugtriebwerksbereich – unterliegt strengen Sicherheitsregularien. Triebwerke und deren einzelne Komponenten müssen vorgeschriebene Testszenarien überstehen, um für den Flugbetrieb zugelassen zu werden. Um dies sicherzustellen, werden höchste Qualitätsanforderungen an die Fertigung der einzelnen Komponenten einer Turbomaschine gestellt. Am Werkzeugmaschinenlabor WZL werden

solche Fragestellungen seit Jahren zusammen mit der amerikanischen Flugaufsichtsbehörde Federal Aviation Administration, kurz FAA, erforscht. Die interdisziplinäre Forschung unter Berücksichtigung der gesetzlich vorgegebenen Forderungen nach Sicherheit stellen den transdisziplinären Ansatz der Produktionsforschung dar. Nachdem die Turbomaschine ausgelegt ist, liegen Geometrie und Qualitätsanforderungen der einzelnen Turbomaschinenkomponenten fest. Eine besondere Herausforderung für die Fertigung sind so genannte kritische Bauteile. Das sind Komponenten, deren Versagen Menschenleben in Gefahr bringen können. In einem Flugzeugtriebwerk ist zum Beispiel die Turbinenscheibe ein solch kritisches Bauteil. Die Bruchstücke der thermisch hochbelasteten und schnell drehenden Scheiben würden im Versagensfall aus dem Triebwerk heraus in die Fahrgastzelle geschleudert werden.



Bild 2: Qualitätsprüfung der Kühllochbohrungen einer Turbinenschaufel. Foto: Peter Winandy





Bild 3: Visuelle Prüfung der Oberflächenqualität einer Verdichterstufe. Foto: Peter Winandy

Kompetenz in allen Fertigungsschritten

Wie werden eine solche Turbinenscheibe und andere Triebwerkskomponenten gefertigt? Am Anfang wird der Werkstoff durch Gießen, also als flüssiges Metall, in eine erste Form gebracht. Bei Triebwerksbauteilen werden zumeist Titan- oder Nickelbasislegierungen verwendet. Diese Werkstoffe können auch dort eingesetzt werden, wo sie starken mechanischen und thermischen Belastungen ausgesetzt sind. Allerdings stellen sie auch an die Fertigungsverfahren hohe Anforderungen. Forschungskompetenz im Bereich der Gussverfahren sind durch das Gießerei-Institut GI vorhanden. Nach dem Gießen erfolgt die weitere Formgebung durch Schmieden. Beim Schmieden wird das Material durch Druckumformen schlagartig in Form gebracht. Schmiedeverfahren wer-

den am Institut für Bildsamer Formgebung IBF erforscht. Gewisse Bauteile in der Turbomaschinenindustrie erhalten erst durch zusätzliche Schweißverfahren ihre weiterzubearbeitende Form. Die Palette von relevanten Schweißverfahren wird durch das Institut für Schweißtechnik ISF abgedeckt und erforscht. Schweißverfahren werden übrigens weiterhin bei der Reparatur von Turbomaschinenkomponenten eingesetzt.

Das Bauteil hat nach Gießen, Schmieden und Schweißen schon fast die endgültige Kontur erreicht. Die noch folgenden spanenden Fertigungsverfahren sind jedoch von signifikanter Bedeutung für Funktion, Qualität und Lebensdauer der Bauteile. Durch Drehen, Bohren, Fräsen und Räumen nimmt die Turbinenscheibe ihre endgültige Form, Merkmale und Oberflächen an.

Suche nach neuen Fertigungsverfahren

Auch moderne Fertigungsverfahren für die Herstellung von Turbomaschinenkomponenten werden erprobt. Wasserstrahlschneiden, Funkenerosion, Elektrochemische Bearbeitung, Laserbohren – solche Verfahren sind bereits teilweise oder vollständig in der industriellen Fertigung. Hohes Potenzial für die Anwendung bei Turbomaschinen haben zudem die additiven Fertigungsverfahren – das Laserauftragsschweißen und das selektive Laserschmelzen. Der Vergleich und die Entwicklung dieser konventionellen und unkonventionellen Bearbeitungsverfahren wird durch den Verbund aus Werkzeugmaschinenlabor WZL, dem Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik IPT, dem Lehrstuhl für Lasertechnik LLT und dem Fraunhofer-Institut für Lasertechnik ILT erforscht.

Nach der Formgebung werden viele Bauteile in der Turbomaschinenindustrie beschichtet. Durch diese Oberflächenschichten wird der Einsatz in den heißen Teilen der Turbomaschine, also nahe der Brennkammer, erst möglich. Verfahren zur Oberflächenbeschichtung sind Teil der Forschung am Institut für Oberflächentechnik IOT.

Bei jedem der beschriebenen Fertigungsschritte spielt weiterhin die Materialcharakterisierung eine tragende Rolle. Mit modernsten Charakterisierungsverfahren können Bauteile bis aufs Atom untersucht werden. So kann in Zusammenarbeit mit der Werkstoffprüfung eine physikalisch fundierte Grundlage für die Bewertung der Fertigungsverfahren geschaffen werden. Kompetenzen der Materialcharakterisierung für Turbomaschinenwerkstoffe werden durch das Gemeinschaftslabor für

Elektronenmikroskopie GFE und das Institut für Energie- und Klimaforschung am Forschungszentrum Jülich IEK-2 gebündelt. Zusammen mit dem Institut für Werkstoffanwendungen im Maschinenbau IWM bildet das Institut für Energie- und Klimaforschung am Forschungszentrum Jülich IEK-2 weiterhin die Aachener Kompetenz bei der Materialprüfung von Turbomaschinenkomponenten.

Enge Zusammenarbeit mit der Industrie

Die genannten Institute und weitere bilden das durchgängige Profil in Aachen zur Herstellung von Turbomaschinenkomponenten entlang der Wertschöpfungskette ab. Es wird darüber hinaus gestärkt durch die enge Zusammenarbeit mit der Turbomaschinen-Industrie. Neben den bereits genannten Forschungsaktivitäten mit der Flugaufsichtsbehörde wird das europäische Forschungsprogramm Cleansky 2 – das wohl ambitionier- teste internationale Luftfahrt-Forschungsprogramm der Europäischen Union – maßgeblich

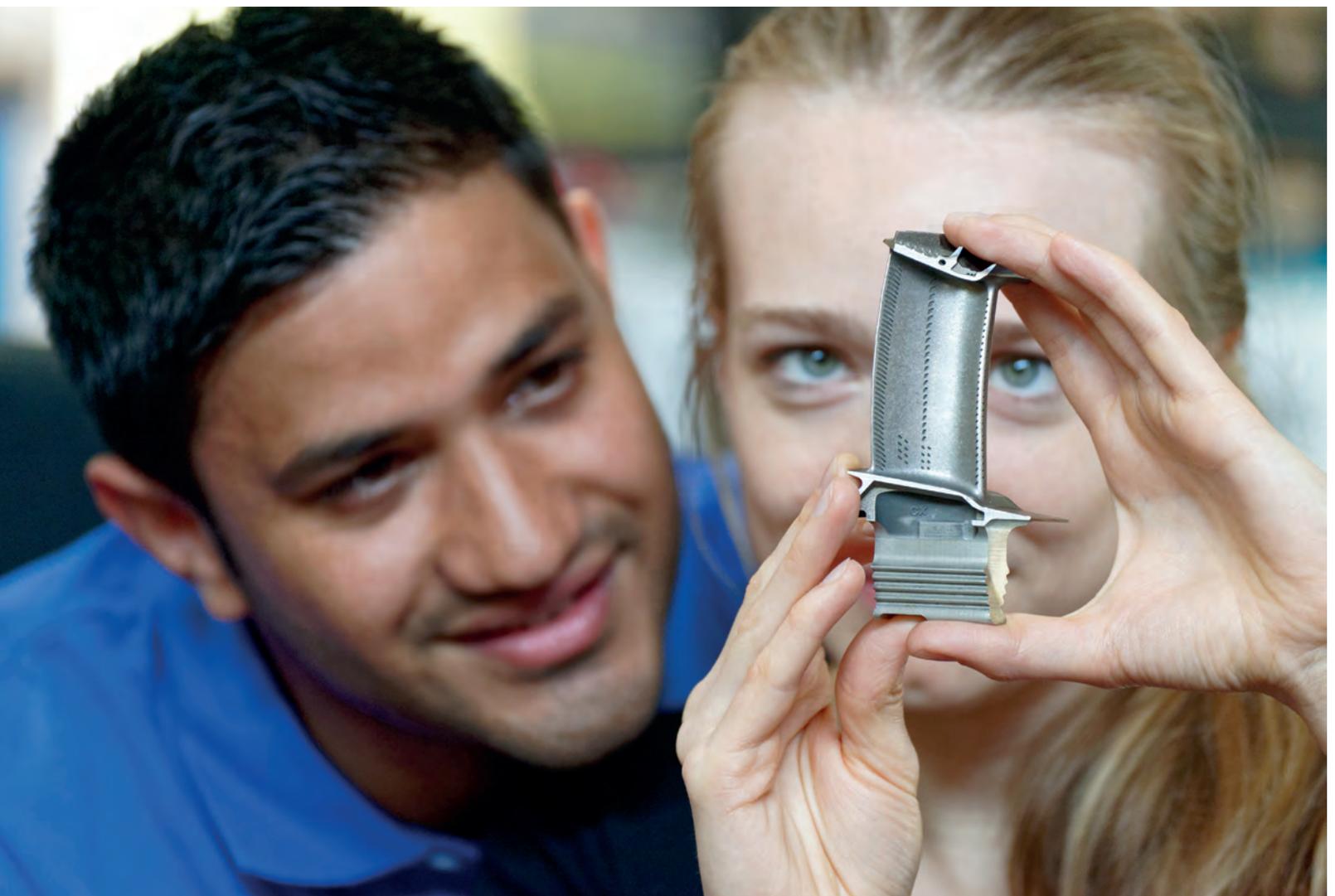
durch Forschungsinstitute in Aachen mit- gestaltet. Insbesondere am Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik IPT und am Werkzeug- maschinenlabor WZL wird so die Zukunft des emissionsarmen Flugtriebwerkes mitgestaltet. Zusammen mit dem Fraunhofer-Institut für Lasertechnik ILT und dem Lehrstuhl für Laser- technik LLT starteten diese Institute das „International Center for Turbomachinery Ma- nufacturing – ICTM“. Im diesem Rahmen wird zusammen mit 25 renommierten Industriepart- nern das Wissen zu Reparatur und Herstel- lung von Turbomaschinen in die Anwendung gebracht. Einen weiteren Schwerpunkt der industriellen Forschung bildet das „Kompe- tenzzentrum für Verdichter“, in dem die RWTH Aachen seit 2007 mit der MTU Aero Engines AG kooperiert.

Die interdisziplinäre Grundlagenforschung und Zusammenarbeit mit Industrie und Behörden bildet die Grundlage für die transdisziplinäre Produktionsforschung aus Aachen für das Triebwerk von morgen.

Autor

Dr.-Ing. Matthias Brockmann ist Geschäftsführer des Projekthauses „Aachen Center for Turbomachinery Manufacturing ACTurbo“.

Bild 4: Triebwerksschaufeln stellen höchste Anforderungen an die Fertigungstechnik. Foto: Peter Winandy



Virtueller Einblick für den Schmied

Mit der Formgebung zur richtigen Mikrostruktur von Turbinenwerkstoffen

Turbomaschinen, seien es stationäre Kraftwerksturbinen oder Flugtriebwerke, benötigen immer Bauteile, die auch bei sehr hohen Temperaturen höchsten mechanischen Belastungen dauerhaft standhalten können. Um diese Eigenschaften mit Metallen auch noch bei etwa 1.000 Grad Celsius realisieren zu können, bedarf es nicht nur der richtigen chemischen Zusammensetzung des Werkstoffes, sondern auch einer genau eingestellten Mikrostruktur. Die Mikrostruktur wird unter anderem bestimmt von Größe, Art und Orientierung der einzelnen Körner oder eventueller Ausscheidungen festigkeitssteigernder Partikel. Der Verlauf der Temperatur und der Umformung während der Herstellung des Bauteils hat wesentliche Auswirkungen darauf.

Am Anfang der Prozesskette steht meist das Gießen, zum Beispiel eines mehrere 100 Tonnen schweren Blocks als Ausgangszustand für das Schmieden der Generatorwelle für eine Gasturbine oder für die Herstellung nahtloser Turbinenringe für Flugzeuge. Beim Gießen dieser vergleichsweise großen Bauteile lassen sich typische Gefüge-Inho-

mogenitäten aufgrund der von außen nach innen fortschreitenden Erstarrung nicht völlig vermeiden. So kann es Bereiche mit stängelförmigen und solche mit runden Körnern geben. Es können chemische Seigerungen – also Entmischung des Materials – auftreten. Die bei der Erstarrung auftretende Volumenkontraktion kann zu porösen Bereichen oder nicht erwünschten Hohlräumen, so genannten Lunkern, führen. Es ist dann die Aufgabe der Umformtechnik, mit der Formgebung sowohl die gewünschte Geometrie zu erzeugen, als auch das Gefüge entsprechend den Anforderungen einzustellen. Dabei kann die numerische Simulation des Prozesses heute wesentlich helfen. Das zeigen die folgenden Beispiele.

Simulation des Innern eines Giganten

Ausgehend von einem Rohblock mit einem Gewicht von 200 Tonnen erfolgt die Umformung in einer langen Prozesskette von Freiformschmiedeoperationen auf Pressen, deren Presskraft bis zu 12.000 Tonnen beträgt. Die Umformfolge besteht aus vielen hundert Pressenhüben und der gesamte Prozess

Bild 1: Exemplarische Darstellung der Formänderungsverteilung nach einer Überschmiedung (links). Numerische Untersuchung des Porenschließens von sphärischen Poren an verschiedenen Positionen im Block (rot, rechts).

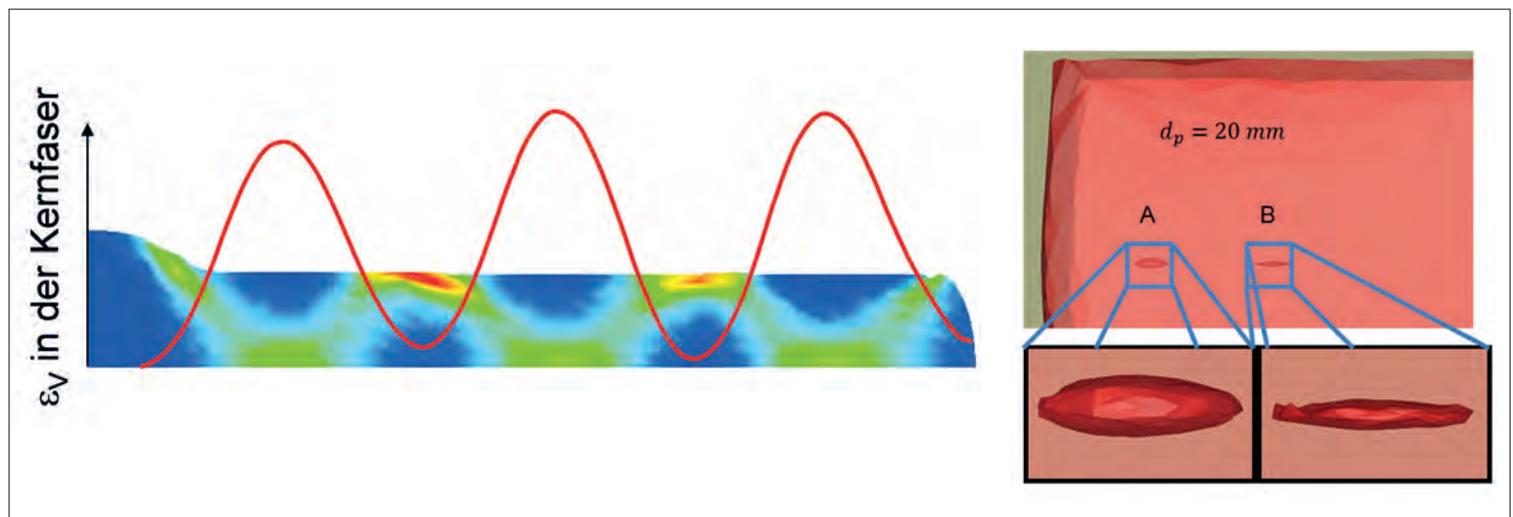




Bild 2: Freiformschmieden eines Blocks auf der 630-Tonnen-Pressen des Instituts für Bildsame Formgebung IBF. Foto: Martin Braun

benötigt einschließlich der erforderlichen Wiedererwärmung im Ofen mindestens mehrere Tage.

Die vielen hundert Pressenhübe selbst werden in so genannte Überschmiedungen unterteilt, in welchen das Bauteil einmal über seine gesamte Länge umgeformt wird. Betrachtet man die Wirkung einer einzelnen Überschmiedung, so kann sich eine inhomogene Verteilung der Formänderung ergeben. Wenn diese Inhomogenität in den nächsten Überschmiedungen nicht ausgeglichen wird, kann es zu einer inhomogenen Verteilung der resultierenden mechanischen Eigenschaften kommen, die die Funktion beeinträchtigen kann.

Beispielsweise würden aus dem Gussprozess stammende Poren im Kern des Blocks unter hohem Druck zusammengepresst und könnten dort auch nahtlos verschweißen. Im Randbereich der jeweiligen Umformzone wäre die Pore als Schwachstelle immer noch vorhanden und somit ein Ausgangspunkt für eine Schädigung des Bauteils im späteren Betrieb.

Hier kommt es also darauf an, die vielen hundert Hübe so zu platzieren, dass am Ende überall eine möglichst große und homogen verteilte Formänderung vorliegt, damit alle Poren sicher geschlossen werden. Dies kann dann gelingen, wenn der gesamte Ablauf einem genau vorgegebenen Plan folgt. Was aber, wenn davon abgewichen werden muss? Dann kann der Pressenbediener bislang nur aus Erfahrung weiter schmieden, da er nicht in den Block hineinsehen kann. Wissenschaftler vom Institut für Bildsame Formgebung IBF arbeiten an Rechenmodellen, die den Freiformschmiedeprozess wesentlich schneller simulieren können, als er in Realität abläuft. Gefüttert mit den Daten aus dem laufenden Schmiedeprozess zeigt das Modell genau, wie es aktuell im Inneren des Blocks aussieht.

Es wurde auch schon erprobt, wie diese Modelle an eine industrielle Schmiedeanlage angeschlossen werden können. So wurde durch Einbindung des Systems in die Schmiedepresse bei VDM in Unna und Buderus in Wetzlar im Rahmen eines von

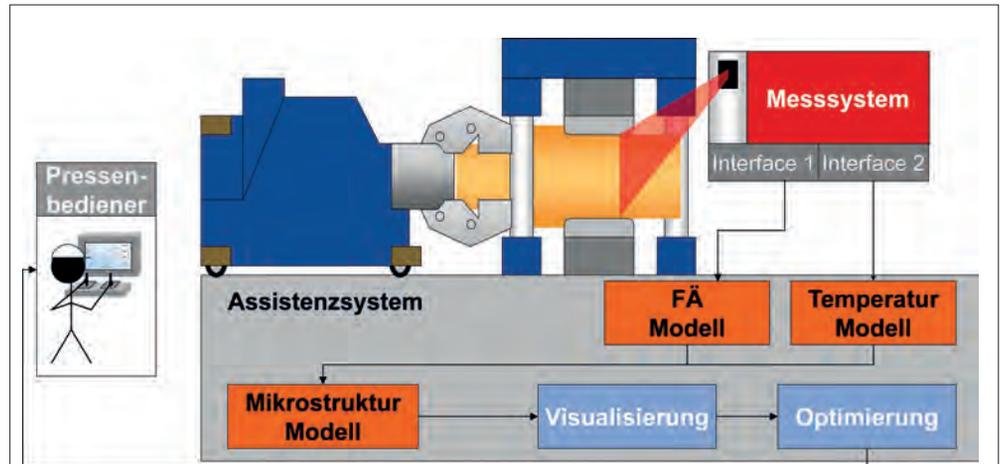


Bild 3: Konzept eines Assistenzsystems für einen Pressenbediener und mögliche Umsetzung an der Schmiedepresse des Instituts für Bildsame Formgebung IBF.

der Deutschen Forschungsgemeinschaft geförderten Transferprojektes dem Bediener laufend angezeigt, welche Verteilung von Formänderung, Temperatur und Korngröße im Innern des Blocks gerade vorliegen müsste. Überprüft wurde das mit Versuchen im verkleinerten Maßstab mit der 630-Tonnen-Presse am IBF, mit denen bewiesen werden konnte, dass mit solchen Modellen eine gute Vorhersage der Korngröße möglich ist. Die nächsten Schritte beziehen sich nun auf die Realisierung der Vision eines Assistenzsystems für den Pressenbediener: Weil das Modell so schnell rechnen kann, soll es ähnlich wie ein Navigationssystem dem

Pressenbediener vorschlagen, wie er den Schmiedeprozess nach einer Abweichung vom ursprünglichen Plan am besten zu Ende führen könnte. Aus Messdaten des Prozesses bezüglich Oberflächentemperatur und Kraft berechnen die schnellen Modelle die Formänderung, Temperatur und Korngröße im Inneren des Werkstücks, visualisieren diese anschaulich und ermitteln mit numerischen Optimierungsverfahren einen Vorschlag zur bestmöglichen Fortsetzung des Prozesses. Das ist noch Zukunftsmusik. Die schnellen Rechenmodelle können aber schon heute zur Prozessplanung und Qualitätssicherung genutzt werden. Hier hilft die Forschung im

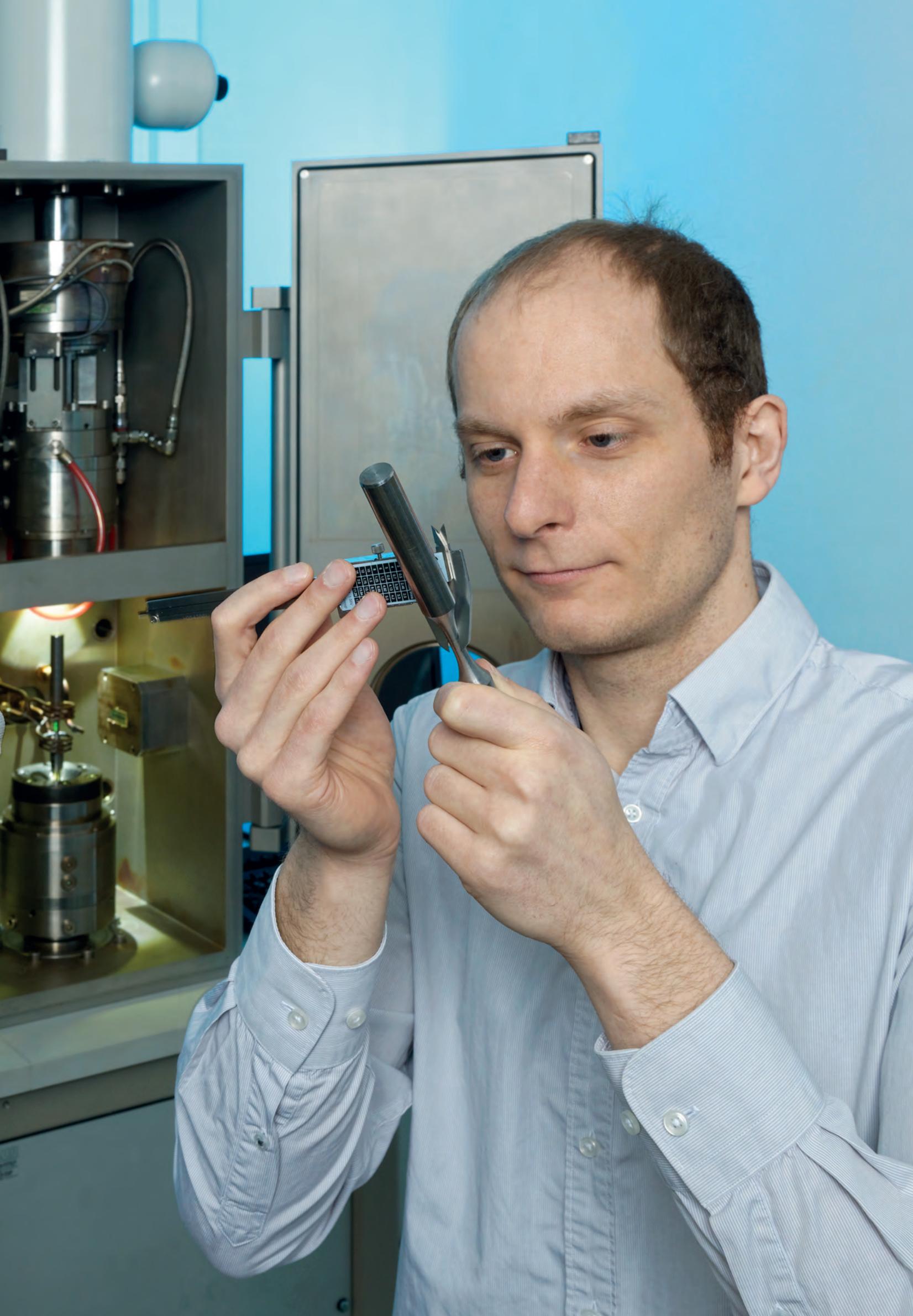
Übrigen auch der Lehre. Eine etwas abgespeckte Version der Modelle nutzt das IBF im umformtechnischen Praktikum und ermöglicht so den Studierenden, selbst herauszufinden, wie sich Änderungen des Schmiedepfades auf die Qualität des Endproduktes auswirken können.

Bild 4: Vorbereitung der Prüfkammer zur Materialcharakterisierung am Institut für Bildsame Formgebung IBF. Foto: Peter Winandy





Bild 5: Mitarbeiter des Instituts für Bildsame Formgebung IBF bei der optischen Kontrolle und Vermessung der Geometrie.
Foto: Peter Winandy



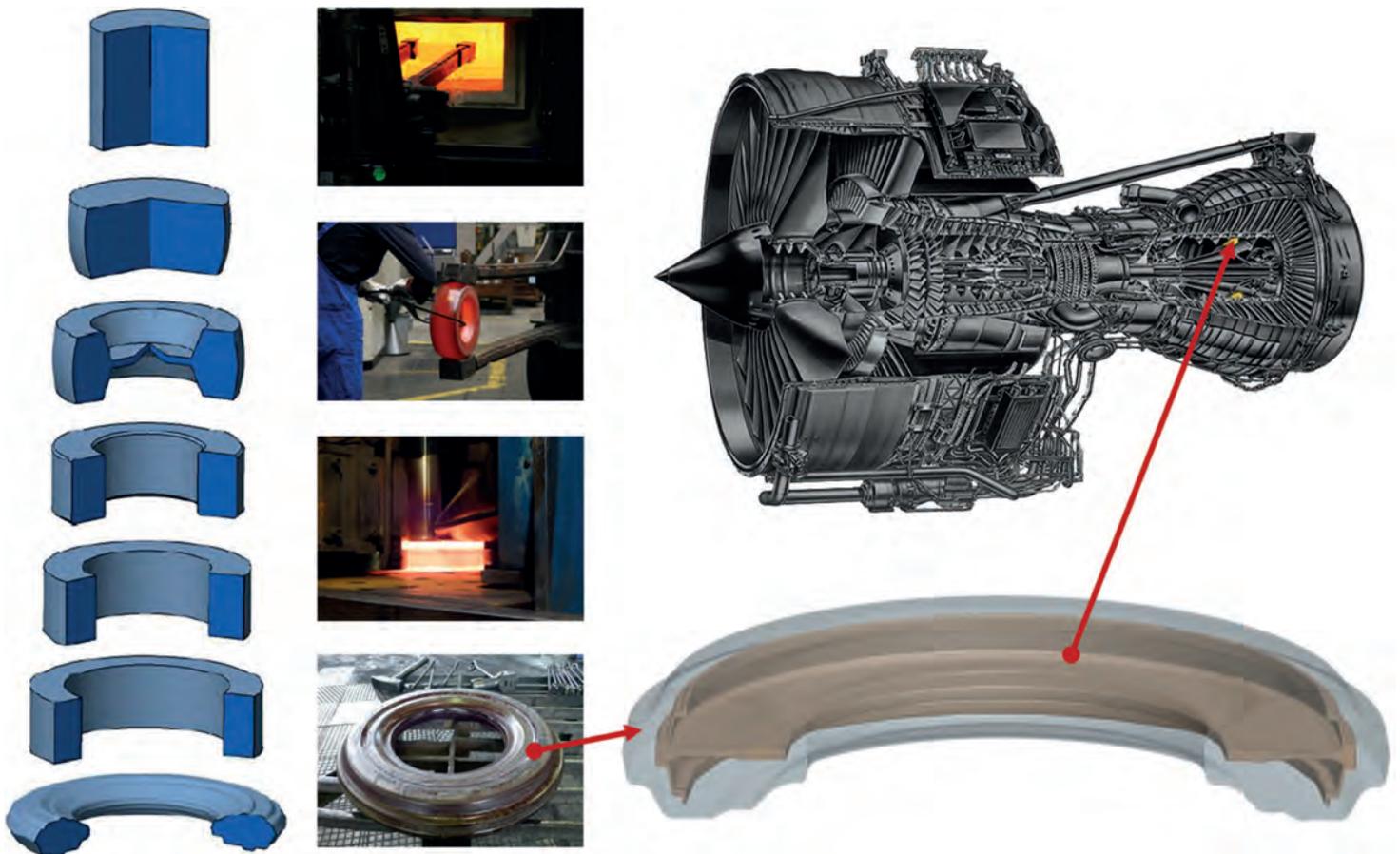


Bild 6: Prozesskette zur Herstellung der Vorkontur eines Turbinenrings (links). Finale Bauteilkontur sowie Einsatzort in der Flugzeugturbine (rechts).

Einblick in die Mikrostruktur nahtloser Ringe

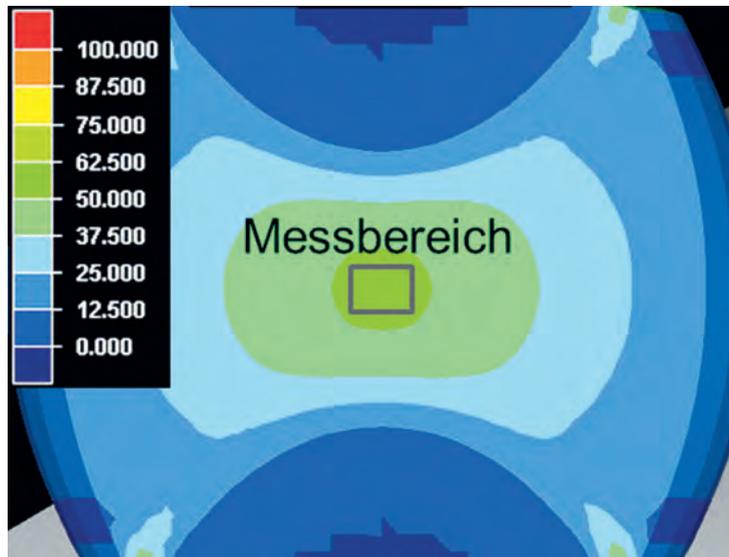
Bauteile in Triebwerken müssen höchsten Sicherheitsstandards entsprechen, da ihr Versagen katastrophale Folgen haben kann. Demzufolge müssen die Bauteileigenschaften sehr genau eingestellt werden. Aufgrund der hohen Material- und Fertigungskosten soll außerdem möglichst wenig Ausschuss produziert werden. Ein genaues Verständnis und darauf aufbauend eine Vorhersage der Materialeigenschaften während der gesamten Prozesskette ist hierfür von großer Bedeutung. Dies gilt auch für die Herstellung nahtloser Ringe als Träger der Schaufeln von Turbinenläufern.

Die Umformung startet mit dem Stauchen eines gegossenen Blocks, wobei das inhomogene Gussgefüge zerstört wird. Danach erfolgt ein Lochen, um die Vorform eines nahtlosen Ringes zu erzeugen. Dieser wird auf einem Ringwalzwerk zu einem größeren Durchmesser aufgewalzt. Anschließend wird der Ring im letzten Umformprozess auf seine Zwischenform geschmiedet. Abschließend erfolgt die Zerspanung zur Endkontur.

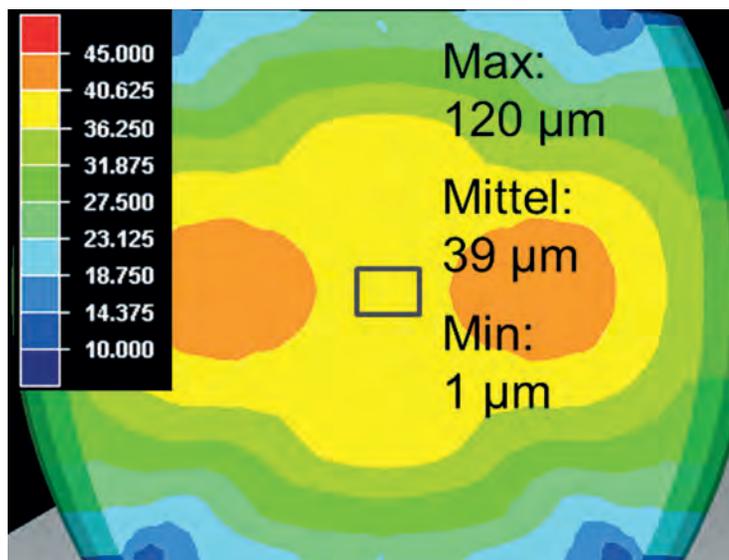
Mit numerischer Simulation können heute die sich während dieser Umformschritte ergebenden zeitlichen Verläufe der örtlichen Verteilung der Temperatur und der Formänderungen im Bauteil nachvollzogen oder vorhergesagt werden. Dies ermöglicht es, derartige komplexe Abläufe besser zu planen. Wichtig ist aber darüber hinaus auch, vorherzusagen wie die Mikrostruktur im fertigen Bauteil aussehen wird. Hierfür muss das Prozessmodell mit einem geeigneten Werkstoffmodell gekoppelt werden.

Der Einsatz solcher kombinierter Modelle in der Simulation ermöglicht bei geeigneter Wahl des Werkstoffmodells auch Vorhersagen über die Verteilung der Korngröße. So kann das Modell berechnen, ob neben den kleinen rekristallisierten Körnern auch noch einige ursprüngliche, vergleichsweise große Körner vorhanden sein können.

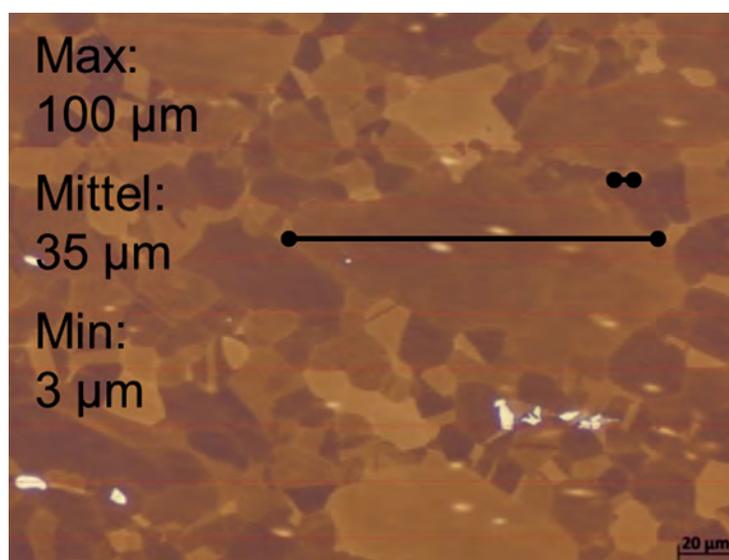
Die beispielhaft gezeigten Möglichkeiten der Simulation und Modellierung wurden erst kürzlich in einem Kooperationsprojekt mit dem Anlagenhersteller SMS Group und dem Softwarehaus simufact im Rahmen des Forschungsclusters AMAP (Advanced Metals



A)



B)



C)

Bild 7: Vergleich der simulierten und gemessenen Mikrostruktur.

- A) Simulierter dynamisch rekristallisierter Anteil,
- B) Simulierte mittlere Korngröße,
- C) Gemessene Mikrostruktur.

and Processes) anhand einer umfassenden industriellen Prozesskette zur Herstellung der oben erwähnten Turbinenscheibe aus dem Werkstoff „Inconel 718“ erprobt.

In diesem Fall besteht die Prozesskette aus dem Schmieden, Lochen, Ringwalzen in drei Stufen mit entsprechender Zwischenerwärmung und einem abschließenden Fertigschmieden der Kontur des Rings. Die Schmiedeprozesse wurden bei der Firma Leistritz in Remscheid durchgeführt, das Ringwalzen erfolgte bei der Firma Kind und Co.

Auch wenn diese detaillierte orts aufgelöste Simulation solcher langen Prozessketten mit Mikrostrukturberechnung noch sehr viel Aufwand und Rechenzeit bedeutet, so wird dies schon heute dadurch gerechtfertigt, dass der virtuelle Einblick in das Innere des Bauteils Erkenntnisse ermöglicht, die mit Versuchen allein kaum zu erreichen sind. So lässt sich der Fertigungsablauf so gestalten, dass Bauteile höchster Qualität reproduzierbar umgeformt werden können.

Das komplexe Wechselspiel zwischen Umformprozess, Entwicklung der Mikrostruktur und den Bauteileigenschaften bietet weitere interessante Herausforderungen, wenn es darum geht, in Kooperation von Konstrukteuren und Werkstoffwissenschaftlern die beste Kombination aus Werkstoff, Bauteilkonstruktion und Prozessablauf zu finden.

Autoren

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Gerhard Hirt ist Inhaber des Lehrstuhls für Bildsamer Formgebung und leitet das Institut für Bildsamer Formgebung IBF.

Alexander Krämer, M. Sc., und Martin Wolfgarten, M. Sc., sind Wissenschaftliche Mitarbeiter am Lehrstuhl für Bildsamer Formgebung.



Bild 1/2: Oricrete: Origami im Bauwesen am Beispiel einer Textilbetonfaltwerkschale.
Foto: Peter Winandy

Rostislav Chudoba, Martin Claßen, Josef Hegger, Sergej Rempel,
Alexander Stark, Norbert Will, Jan van der Woerd

Bauen mit Betonfertigteilen

Produktionsprozesse im Bauwesen unterscheiden sich deutlich von Vorgängen in der stationären Industrie. Die Produktion einer Bauleistung entsteht als Auftragsfertigung entsprechend den Wünschen und Zielvorgaben eines Kunden, in der Regel unter witterungsabhängigen Produktionsbedingungen von Baustellen sowie unter Mitwirkung eines großen Kreises von Akteuren aus unterschiedlichen Fachdisziplinen. Im Gegensatz zum Produktionsprozess in anderen Wirtschaftsbereichen wie der stationären Industrie, wo Produkte in hohen Stückzahlen hergestellt werden, handelt es sich bei Bauwerken in der Regel um Unikate, die den individuellen



Anforderungen des Auftraggebers sowie den regionalen Bau- und Ausführungsvorschriften angepasst sind. Produktionsprozesse im Bauwesen sind stark auftrags- und kundenbezogen strukturiert. Eine Standardisierung von Bauteilen hat deshalb bisher nur in beschränktem Maße stattgefunden. Es handelt sich somit um Einzelfertigungen mit sehr hohen Produktwerten. Zudem überschneiden sich Planungs- und Produktionsprozesse häufig zeitlich durch eine baubegleitende Planung. Trotz hohen Maschineneinsatzes sind die im Bausektor verwendeten Herstellmethoden nach wie vor weitgehend handwerklich geprägt.

Neben der traditionellen Herstellung findet zunehmend auch die Vorfertigung von Bauteilen Anwendung. Hierbei erfolgt die Herstellung von Elementen und Bauteilen unter stationären Produktionsbedingungen. Durch eine geschützte, witterungsunabhängige Produktionsumgebung ermöglicht die stationäre Vorfertigung eine bessere Produktqualität bezüglich Oberflächenbeschaffenheit und Einhaltung von Maßtoleranzen sowie gleichzeitig verkürzte Bauzeiten und Just-in-time-Abwicklungen. Insbesondere für Fassaden- und Tragwerkelemente mit hoher Stückzahl gleichen Typs hat sich die stationäre Vorfertigung bereits etabliert. Trotz Optimierungen in

Bezug auf die konventionelle Baustellenproduktion dominieren auch in der Vorfertigung von Bauprodukten manuelle Herstellmethoden. Aufgrund der hohen Individualisierung der Bauleistung, der Inhomogenität der Zielvorgaben und der Einmaligkeit der Durchführung sind bis heute nur vereinzelte Bestrebungen zur Entwicklung neuartiger und verbesserter Fertigungstechnologien vorhanden. Die Herausforderungen bezüglich der Produktionsmethoden im Baugewerbe sind in Bild 3 vergleichend zur Automobilindustrie zusammengefasst.

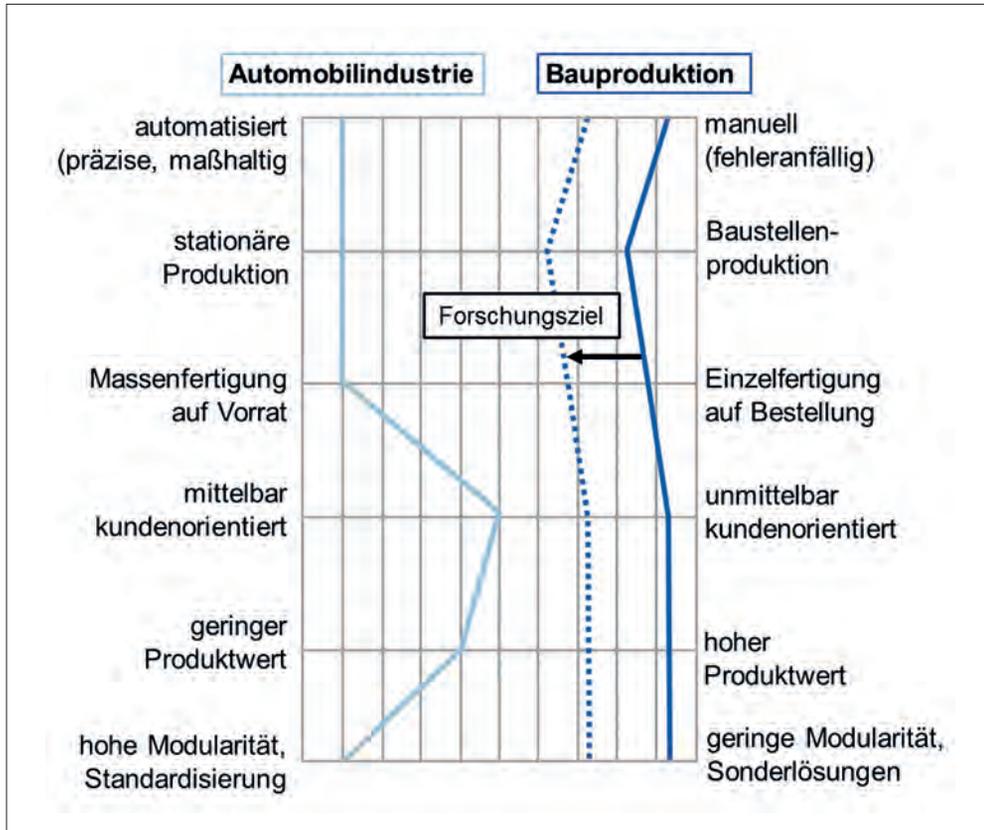
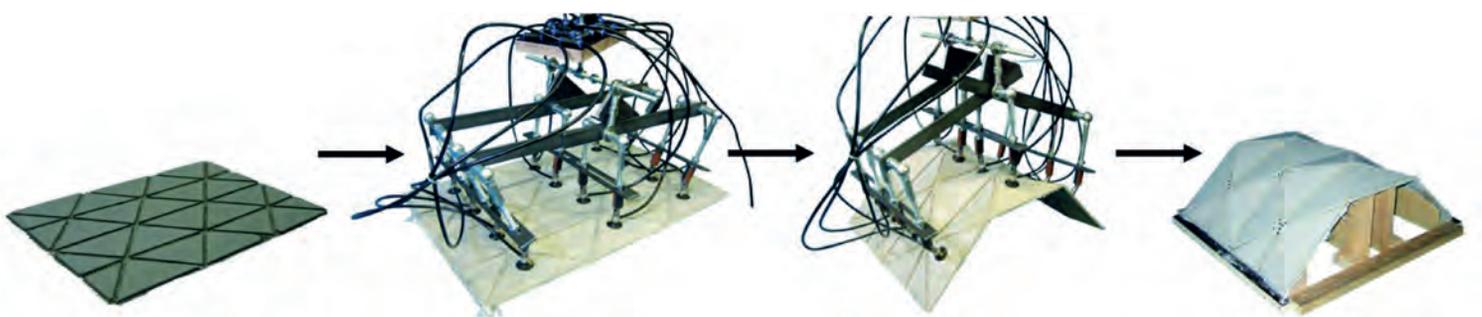


Bild 3: Vergleich der Produktionsmethoden im Bauwesen und in der stationären Industrie (Automobil).

Im Profildbereich ProdE wird derzeit das Projekthaus „Produktion für das Bauen von morgen“ an der RWTH Aachen eingerichtet. Ziel ist es, die vorhandenen Forschungsaktivitäten zur „Produktion für das Bauen von morgen“ zu einem schlagkräftigen Forschungsverbund weiterzuentwickeln, der mittelfristig in drei Jahren als Bau-Cluster auf dem RWTH-Campus etabliert werden soll. Ein Schwerpunkt des Projekthauses betrifft die Entwicklung neuer Produktionsmethoden für das Bauwesen.

Insbesondere im Bereich multifunktionaler Bauteile wie Decken-, Wand- und Fassadenkonstruktionen, die eine flexible Bauwerksnutzung ermöglichen und neben tragenden Funktionen auch die Integration der Gebäudetechnik ermöglichen, besteht Forschungsbedarf um die Standardisierung, Maßhaltigkeit und Vorfertigung voranzutreiben. Hierbei ist es wichtig, zwischen interner Varianz (Funktionalität des einzelnen Bauteils) und äußerer Varianz (Einzigartigkeit des gesamten Gebäudes) zu unterscheiden. Besonderes Entwicklungspotenzial zur Standardisierung liegt in der Reduktion interner Varianz. In diesem Sinne sind Produktionsmethoden für modulare Bauteile zu entwickeln, die eine Herstellung in großen Stückzahlen und gleichzeitig eine hohe Individualität des gesamten Bauwerks ermöglichen.

Bild 4: Textilbetonschale (links), Origami-Faltwerkschale (rechts) und schematische Herstellmethodik „Falten“ (unten).



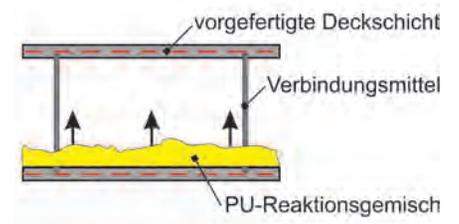
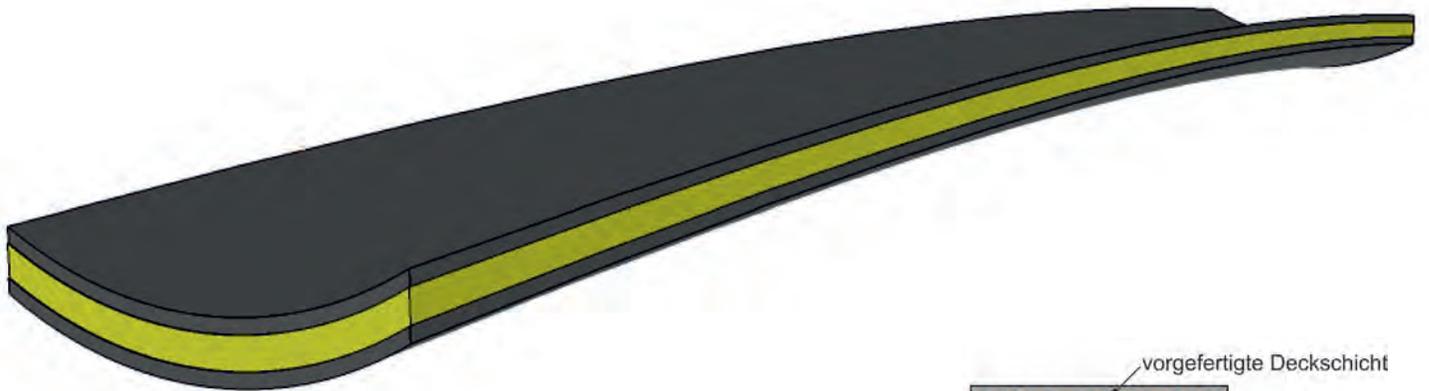


Bild 5: Gekrümmte Sandwichschale (links) und schematische Herstellmethode (rechts).

Im Folgenden werden die Herausforderungen und Möglichkeiten der „Produktion für das Bauen von morgen“ an zwei innovativen Produktionsmethoden aufgezeigt. Der Einsatz des leistungsstarken Werkstoffs Textilbeton kann mit großformatigen Dachschalen demonstriert werden, siehe Bild 4. Dieser nutzt flächige, hochfeste und korrosionsresistente technische Textilien als Bewehrung in Kombination mit einer feinkörnigen Betonmatrix und eröffnet damit neue Möglichkeiten der Gestaltung im Bauwesen, insbesondere für leichte und frei geformte Schalenträgerwerke. Durch die hohe Dauerhaftigkeit können Schlankheiten verglichen zu Stahlkonstruktionen erreicht werden. Die großformatigen Carbonbetonbauteile werden üblicherweise in einem händischen Gieß- oder Laminierverfahren hergestellt. Textilbeton bietet aber auch die Möglichkeit, mithilfe der Origami-Methodik dünnwandige, gefaltete Tragstrukturen mit eleganter Formgebung zu schaffen, siehe Bild 1 und 2. Hierbei werden in der Ebene hergestellte Textilbetonplatten mit Aussparungen, siehe Bild 6, durch das Falten in räumliche Schalenträgerwerke überführt, die sich aufgrund ihrer gefalteten Form durch einen sehr günstigen Lastabtrag auszeichnen. So entstehen faltbare Textilbeton-Halbzeuge, die im Fertigteilwerk vorproduziert und auf der Baustelle zu Segmenten gefaltet und verfugt werden können.

Mögliche Vorgehensweisen zur Faltung stellen das Anheben der Oricrete-Platte mithilfe eines Kranes oder eines speziell konzipierten Hebezeuges mit Saugnäpfen dar. Diese Technologie verspricht ein hohes Potenzial für freigeformte Schalenträgerwerke, die sich ohne aufwändige räumliche Schalungen einfach herstellen lassen. Neben den nicht-metallischen flächigen Bewehrungsstrukturen bietet sich auch der Einsatz von stab- oder litzenförmigen Bewehrungen aus carbonfaserverstärktem Kunststoff (CFK) für den Einsatz in vorgespannten Schalenträgerwerken an. Die steigenden Anforderungen an die thermische Qualität des Raumabschlusses von Gebäuden sowie an die Dauerhaftigkeit der Gebäudehülle erfordern die Entwicklung neuer Lösungen für den Hoch- und Industriebau. Diese Multifunktionalität ist nicht allein durch die kontinuierliche Weiterentwicklung der Werkstoffe zu erreichen. Vielmehr bedarf es intelligenter und effizienter Tragstrukturen, die ideal an den Kräfteverlauf angepasst sind, bei geringen Querschnittsabmessungen eine hohe Tragfähigkeit bereitstellen und zusätzliche Funktionen integrieren. Ein Lösungsansatz besteht in einer Kombination aus Betonsandwichelementen mit vorgespannten Schalenträgerwerken, siehe Bild 5. Herkömmliche Herstellmethoden mit vor-

schwachen Verbundfugen, die bei der Bemessung nicht angesetzt werden und somit zu geringen Tragfähigkeiten führen können. Die Sandwichschalen werden ähnlich wie Stahlsandwichelemente durch Ausschäumen verbunden, was hohe Tragfähigkeiten und beliebige Querschnitte ermöglicht. Die Vielseitigkeit der neuen Materialien und Herstellmethoden in Kombination mit zu entwickelnder Produktionstechnik wird innovative Fertigteile für das Bauen von morgen schaffen.

Autoren

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Josef Hegger ist Inhaber des Lehrstuhls für Massivbau und leitet das Institut für Massivbau. Dr.-Ing. Rostislav Chudoba und Dr.-Ing. Norbert Will sind Oberingenieure am Lehrstuhl für Massivbau. Dipl.-Ing. Martin Claßen, Dipl.-Ing. Sergej Rempel, Dipl.-Ing. Alexander Stark und Dipl.-Ing. Jan van der Woerd sind wissenschaftliche Mitarbeiter am Lehrstuhl für Massivbau.



Bild 6: Herstellung einer Textilbetonfaltwerkschale.

Foto: Peter Winandy





Christian Brecher, Denis Özdemir, Anja Wassong

Grundsteine der Produktionstechnik

Exzellenzcluster

„Integrative Produktionstechnik für Hochlohnländer“

Wenn es um die Produktionstechnik in Deutschland geht, dann stehen seit Jahrzehnten weltweit die Lehrstühle der RWTH Aachen für erfolgreiche und innovative Forschung. Ausdruck dessen ist der Exzellenzcluster „Integrative Produktionstechnik für Hochlohnländer“, der sich als einziger der 43 Exzellenzcluster in Deutschland dem Hauptthema Produktionstechnik widmet. Bereits seit dem Jahr 2006 beschäftigt man sich im Rahmen der DFG-geförderten Initiative mit der Schaffung von Lösungen, um die Zukunfts- und Wettbewerbsfähigkeit des produzierenden Gewerbes am Standort Deutschland sowie der gesamten Hochlohn-

region in Europa zu gewährleisten. Denn die Produktionstechnik leistet einen wichtigen Beitrag für Wohlstand und soziale Stabilität in Hochlohnländern. Die Unternehmer stehen jedoch verstärkt vor großen und sich ständig verändernden Herausforderungen. Im globalen Wettbewerb geht es dabei immer stärker darum, Produktionskosten zu senken, gleichzeitig aber auch Produkte flexibler, individueller und mit einem Nutzen-Vorteil für den Kunden zu produzieren sowie Märkte und Nischen zu identifizieren und langfristig auszuschöpfen. Aus diesem Grund forschen im Exzellenzcluster mehr als 30 Professorinnen und

Bild 1: Die automatisierte Optimierung eines Fließkanals wurde im Bereich der „Individualisierten Produktion“ entwickelt.
Foto: Thilo Vogel

Professoren gemeinsam mit ihren rund 80 wissenschaftlichen Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern aus den Disziplinen Maschinenbau, Materialwissenschaften, Mathematik, Betriebswirtschaftslehre und Psychologie in interdisziplinären Teams an Lösungen, um die Produktion vor Ort langfristig konkurrenzfähig zu erhalten. Dazu werden Modelle und Technologien im Rahmen einer ganzheitlichen Produktionstheorie betrachtet, die zukünftig auch ökologische und soziale Anforderungen integriert. Der Fokus der clusterinternen Forschungsprojekte liegt besonders auf der Individualisierung, der Virtualisierung, der Technologie-Integration und der Selbstoptimierung der Produktion.

Die Forschungsfelder des Exzellenzclusters

Im Bereich der „Individualisierten Produktion“ steht das „Additive Manufacturing“ mit dem Verfahren des „Selective Laser Melting SLM“ im Zentrum der Forschungsaktivitäten. Das weiterentwickelte SLM ermöglicht kostengünstiger als herkömmliche Verfahren die Fertigung individueller Produkte. Das sind neben Prototypen auch Ersatzteile zum Beispiel aus Stahl, Aluminium oder Titanlegierungen. Das Prinzip von generativen Fertigungsverfahren basiert auf dem schichtweisen Aufbau von Pulvern. Im Gegensatz zu Sinterverfahren wird der pulverförmige Basiswerkstoff beim SLM mittels Laserstrahlung komplett aufgeschmolzen. Das Ergebnis sind nahezu 100 Prozent dichte Bauteile mit serienidentischen Eigenschaften. Dabei werden weder Werkzeuge noch Formen wie bei konventionellen Fertigungsverfahren benötigt. Durch den schichtweisen Aufbau sind zudem unbegrenzte Geometrievariationen möglich. Im Rahmen des SLM-Forschungsprojektes werden kontinuierlich die Aufbauraten, Prozessgeschwindigkeit und Laserauslastung erhöht und durch neue Gitterstrukturen die Funktionalität von Bauteilen den spezifischen Last- und Anwendungsfällen angepasst. Im Bereich der werkzeuggebundenen Verfahren werden unter anderem Lösungen für die automatisierte Optimierung von Druckgusswerkzeugen erforscht, um den Massenproduktionsprozess Druckguss ebenfalls für

individuelle Produkte und kleinere Losgrößen wirtschaftlich gestalten zu können. Im Bereich der Profiltrusionswerkzeuge wurde zudem eine Optimierungssoftware zur Werkzeugauslegung entwickelt. Diese Software kombiniert die Strömungssimulation mit einem Optimierungsalgorithmus und ermöglicht eine automatisierte Optimierung der Fließkanalgeometrie, siehe Bild 1. Der Forschungsbereich der „Virtuellen Produktionssysteme“ verbessert und vernetzt die virtuellen Modelle auf allen Ebenen des Produktionssystems und entlang der gesamten Wertschöpfungskette. Ziel sind verkürzte Produktentstehungsprozesse, um die Produktivität bereits in der Entwicklung zu steigern. Das Durchspielen in der virtuellen Welt verbessert das Verständnis für das Verhalten des Produktionssystems sowie seiner Elemente. Gegenüber der Erprobung in der Realität entstehen deutliche Kosten- und Zeitvorteile. Unter dem Stichwort „Virtual Production Intelligence“ stehen die anwendungsspezifische Visualisierung und Entscheidungsunterstützung der Planer im Vordergrund. Das Ziel ist die durchgängige Simulation der Wertschöpfungskette. Über sämtliche Fertigungsstufen wird das Verhalten über den Produktlebenszyklus simuliert und prognostiziert. Die einzelnen Modelle sind über eine standardisierte, modular erweiterbare Plattform zur „Integrative Computational Materials and Production Engineering ICMPE“ verknüpft. Im Bereich der Fabrikplanung ermöglichen virtuelle Fabrikmodelle eine detailgetreue Begehung bereits in der Planungsphase. Eine solche realitätsnahe Ansicht ist mit der fünfseitigen Virtual-Reality-Installation der RWTH, der so genannten aixCAVE, möglich. Gütekriterien wie die Sicht- und Abstandsverhältnisse zwischen Arbeitsbereichen können so bereits in die Planung einfließen. Darüber hinaus werden komplexe Ergebnisse der Materialflusssimulation sichtbar. Auf diese Weise können Fehler von vornherein vermieden werden, was zu einer erheblichen Zeit- und Kostenreduktion führt. Mit der Integration von mehreren Technologien in eine Maschine oder einem Produkt entwickelt man im Forschungsbereich der

„Integrierten Technologien“ Lösungen mit Funktionskombinationen, die mit konventionellen Verfahren direkt nicht möglich sind. So genannte Multi-Technologie-Plattformen erlauben dabei die Durchführung verschiedener Bearbeitungsschritte integriert auf einer Anlage. Dabei stehen die Steuerungskomplexität und Prozessbeherrschung im Vordergrund. Untersucht wird aber auch, wie die Wirtschaftlichkeit einer solchen Anlage erhöht werden kann.

Auch die flexible Fertigung von Blechbauteilen für Kleinserien und individualisierte Einzelteile wird erforscht. Denn die Fertigung kundenindividueller Blechbauteile stellt Produzenten vor die Herausforderung, geringe Stückmengen von hoher Komplexität und Geometrievielfalt herzustellen. Gerade in der Raumfahrtindustrie kommen weitere erschwerende Faktoren, wie die Verwendung von Spezialwerkstoffen, hinzu. Diese sind nur schwer umformbar und klassische Verfahren werden diesen Anforderungen nicht gerecht. Hierzu wurden im Exzellenzcluster Methoden entwickelt, um Bauteile komplexer Geometrien auch aus schwer bearbeitbaren Materialien zu fertigen. Im „Integrativen Blechbearbeitungszentrum“ wurden flexible und ressourcenschonende Fertigungstechniken in einer einzigen Fertigungszelle kombiniert. Mit dem Einsatz eines universellen Umformkopfes werden bereits Erfolge bei der Herstellung von Kleinserien und Prototypen verzeichnet. Das Verfahren bietet nicht nur wirtschaftliche Vorteile, sondern erhöht auch die Ressourceneffizienz in der Produktion.

In einem weiteren Teilforschungsbereich beschäftigen sich die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler mit Multi-Technologie-Produkten, die verschiedene Funktionen in einem Produkt integrieren. So erhalten Materialien und Produkte neue Eigenschaften und Einsatzfelder. Auch hier steht die Prozessbeherrschung im Vordergrund der Forschungsaktivitäten. Beispielsweise können strukturierte Präge- oder Spritzgießwerkzeuge Folien im Mikrometerbereich strukturieren, um optisch funktionale Oberflächen zu erzeugen. Weitere Produkte beinhalten metallisch beschichtete Kunststoffbauteile, wobei die metallische



Beschichtung direkt im Spritzgießprozess erfolgt. Diese Materialpaarung ist im Hinblick auf ihre elektrische Funktionalität und dem vergleichsweise geringen Gewicht gegenüber einem rein metallischen Produkt interessant. „Selbstoptimierende Produktionssysteme“ sollen es ermöglichen, schneller auf sich verändernde Umgebungsbedingungen zu

reagieren und Prozesse autonom anzupassen. Ziele sind dabei zum einen die Daten- und Informationsgewinnung über geeignete Sensorik, die Aufbereitung und Verfügbarkeit von Informationen sowie die Simulation alternativer Lösungen und deren Visualisierung für schnelle Entscheidungen und Anpassungen vor Ort. Auf Ebene der Supply Chain und

Produktionssteuerung sollen die Mitarbeiter bestmöglich bei ihrer Entscheidung unterstützt werden. Damit steht die Gestaltung der Schnittstellen zwischen Mensch und Maschine beziehungsweise System im Vordergrund. Ziel in der Montage und Fertigung ist es, Intelligenz und Kognitionsfähigkeit in die Systemsteuerung zu integrieren. So können im



Bild 2: Forschungsskizze des „Scientific Cooperation Engineering“. Quelle: Martin Riedel

Kollaborationsproduktivität – die Cross Sectional Processes

Die Einbindung von Informations- und Kommunikationstechnik ermöglicht eine neue Form der Produktivitätssteigerung. Diese „Kollaborationsproduktivität“ in integrativen, interdisziplinären Teams ist Schwerpunkt der „Cross Sectional Processes“. In den Querschnittsprojekten werden drei zentrale Perspektiven eingenommen: die Ergebnisse, die Mitarbeiter und die Strukturen. Ziel ist es, die Beiträge der Teilprojekte in einer ganzheitlichen, neuen Produktionstheorie zu integrieren. Diese Theorie soll das Verhalten soziotechnischer Produktionssysteme für Entscheider auf allen Ebenen in produzierenden Unternehmen prognostizier- und steuerbar machen. Das „Scientific Cooperation Engineering“ will diese Kollaboration bestmöglich erforschen und unterstützen. Schwerpunkte liegen dabei auf dem Innovations- und Wissensmanagement, aber auch auf der Messung der Performance und Produktivität der Teams. Die Kollaborationsstrukturen und deren nachhaltige Vernetzung nach außen bilden den Fokus im „Technologietransfer“. Das „Scientific Cooperation Portal“ hat das Ziel, eine hohe Wissens- und Informationstransparenz zu schaffen – basierend auf der Kernfrage, wie man Wissen effektiv managen, verknüpfen und speichern kann.

laufenden Prozess automatisch optimale Anpassungen vorgenommen werden. Von entscheidender Bedeutung sind zum einen die Sensorik, die es den Systemen ermöglicht, die Umwelt wahrzunehmen, zum anderen die Mechanismen, die eine Selbstregulierung und Lernen gewährleisten. Die Anwendungsgebiete reichen von der automatisierten

Mikromontage bis zur Montage von Großbauteilen. Weitere Projekte beschäftigen sich mit der Optimierung von Logistikleistungen in der Produktion, dem thermischen Spritzen von Metallen auf Kunststoffe, dem Laserschneiden oder der Selbstoptimierung von Web- oder Flechtprozessen in der Textilindustrie.

Autoren

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Christian Brecher ist Sprecher und Koordinator des Exzellenzclusters Integrative Produktionstechnik für Hochlohnländer.

Dipl.-Ing. Denis Özdemir ist Geschäftsführer des Exzellenzclusters Integrative Produktionstechnik für Hochlohnländer.

Anja Wassong, M.A., ist verantwortlich für den Bereich Marketing und Kommunikation des Exzellenzclusters Integrative Produktionstechnik für Hochlohnländer.

Bild 1: Maschine, Fertigungsprozess und Mensch.
Bild 2: Anhand der Metallspäne kann auf die Qualität des Fertigungsprozesses zurückgeschlossen werden.
Fotos: Peter Winandy



Thorsten Augspurger, Andreas Klink, Patrick Mattfeld, Sebastian Schneider

Energieflüsse in der Fertigung besser verstehen

Bei der Fertigung von Bauteilen wird Energie benötigt, um die finale Bauteilform herstellen zu können. Ein Großteil der Energie wird dabei in Wärme umgewandelt, welche ungewollte Veränderungen im Werkstück, Werkzeug und der Werkzeugmaschine hervorruft. So wird beispielsweise beim Zerspanprozess, neben dem Trennen des Materials, aufgrund der hohen Reibung zwischen Werkstück und Werkzeug viel Wärme erzeugt, siehe Bild 3. Diese führt mitunter zu hohen Temperaturanstiegen im Werkstück und Werkzeug mit entsprechenden Materialschädigungen. Die thermischen Einflüsse führen häufig auch zu Ungenauigkeiten in der Fertigung, da das zu bearbeitende Bauteil oder die Werkzeugmaschine in Folge des Wärmeeintrages geometrischen Veränderungen unterliegt. Darüber hinaus kann es bei zu hoher thermischer Belastung zu Ausfällen von Komponenten in der Werkzeugmaschine kommen. Um diese Einflüsse in der Bauteilentwicklung und der Fertigung auf geeignete Weise berücksichtigen zu können, müssen die auftretenden Phänomene und Gesetzmäßigkeiten verstanden und in Modelle umgesetzt werden. Vor diesem Hintergrund wurden in den letzten Jahren an der RWTH Aachen zwei Sonder-



forschungsbereiche, kurz SFB, mit initiiert. Der SFB/Transregio 136 verfolgt dabei das Ziel, die Energieflüsse im Werkstück als so genannte „Prozesssignaturen“ zu entschlüsseln. Die „Thermo-Energetische Gestaltung von Werkzeugmaschinen“ steht im Fokus der Forschungsarbeiten des SFB/Transregio 96.

Prozesssignaturen

Das Ziel der Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler des SFB/Transregio 136 in Kooperation mit der Universität Bremen und der Oklahoma State University ist es in den nächsten Jahren das Konzept der so genannten „Prozesssignaturen“ zu entwickeln, zu konkretisieren und damit einen Paradigmenwechsel in der werkstofforientierten Fertigung einzuleiten. Dazu wurde ein interdisziplinäres Konsortium aus den drei Projektbereichen Modellierung, Fertigungsprozesse und Charakterisierung geschaffen. Ganz nach dem Leitspruch „Der Werkstoff kennt keinen Fertigungsprozess“ (Prof. Ekkard Brinksmeier/ Universität Bremen, Sprecher SFB / TRR 136) wird versucht, jeden betrachteten Fertigungsprozess auf die relevanten Energieströme und die daraus resultierenden Beanspruchungen für den Werkstoff zurückzuführen. Diese

Beanspruchungen können zum Beispiel hohe Temperaturen oder Spannungen im Werkstück sein, welche zu Veränderungen der Werkstoffeigenschaften in den oberflächennahen Schichten führen können. An der Oberfläche können zum Beispiel Mikrorisse entstehen, die die Lebensdauer des Bauteils negativ beeinflussen. Aber auch unter der Oberfläche führt die Beanspruchung des Fertigungsprozesses zu Veränderungen. Hohe Temperaturen während des Fertigungsprozesses wirken auf das Werkstück wie eine ungewollte zusätzliche Wärmebehandlung. Die Wärmebehandlung ist ein gängiger Prozess in der Fertigungskette von vielen Bauteilen, um die mechanischen Eigenschaften des verwendeten Werkstoffes gezielt zu beeinflussen. Dabei wird die Kristallstruktur des Werkstoffes durch kontrolliertes Aufheizen und Abkühlen verändert. Im Fertigungsprozess laufen diese Vorgänge unkontrolliert ab. Daher werden an der RWTH und dem IWT Stiftung Institut für Werkstofftechnik Bremen mit Hilfe von modernster Werkstoffcharakterisierungstechnik diese Veränderungen der Werkstoffeigenschaften in oberflächennahen Schichten infolge des Fertigungsprozesses beobachtet. Gelingt es diese Veränderun-

gen mit den auftretenden Beanspruchungen während des Fertigungsprozesses in Zusammenhang zu bringen, erhält man die „Prozesssignatur“ des betrachteten Fertigungsprozesses. Um das Ziel einer Umkehrung der Prozesssignaturen zur gezielten Einstellung von Werkstoffeigenschaften zu erreichen, wird im Projektbereich Modellierung versucht, diese Zusammenhänge nachzubilden. Gelingt es den Zusammenhang zwischen Prozesssignaturen und Prozessparametern zu identifizieren, eröffnet das Zugang zu großen Leistungspotenzialen bei der zukünftigen Bauteilauslegung. Die Erreichung der Sollgeometrie des Bauteils sowie gezielter Werkstoffeigenschaften ist mit nur einem Fertigungsschritt beziehungsweise Fertigungsverfahren in der Regel nicht möglich. Daher wird dieses Prinzip innerhalb des Sonderforschungsbereichs auf unterschiedliche Fertigungsverfahren angewandt, welche nach Art ihrer Hauptwirkung selektiert werden. So sind beispielsweise das Festwalzen und das Verfestigungs-Schleifen als Prozesse ausgewählt worden, bei denen davon ausgegangen wird, dass lediglich mechanische Effekte zum Tragen kommen. Weiterhin wurden das elektrochemische Abtragen als Pro-

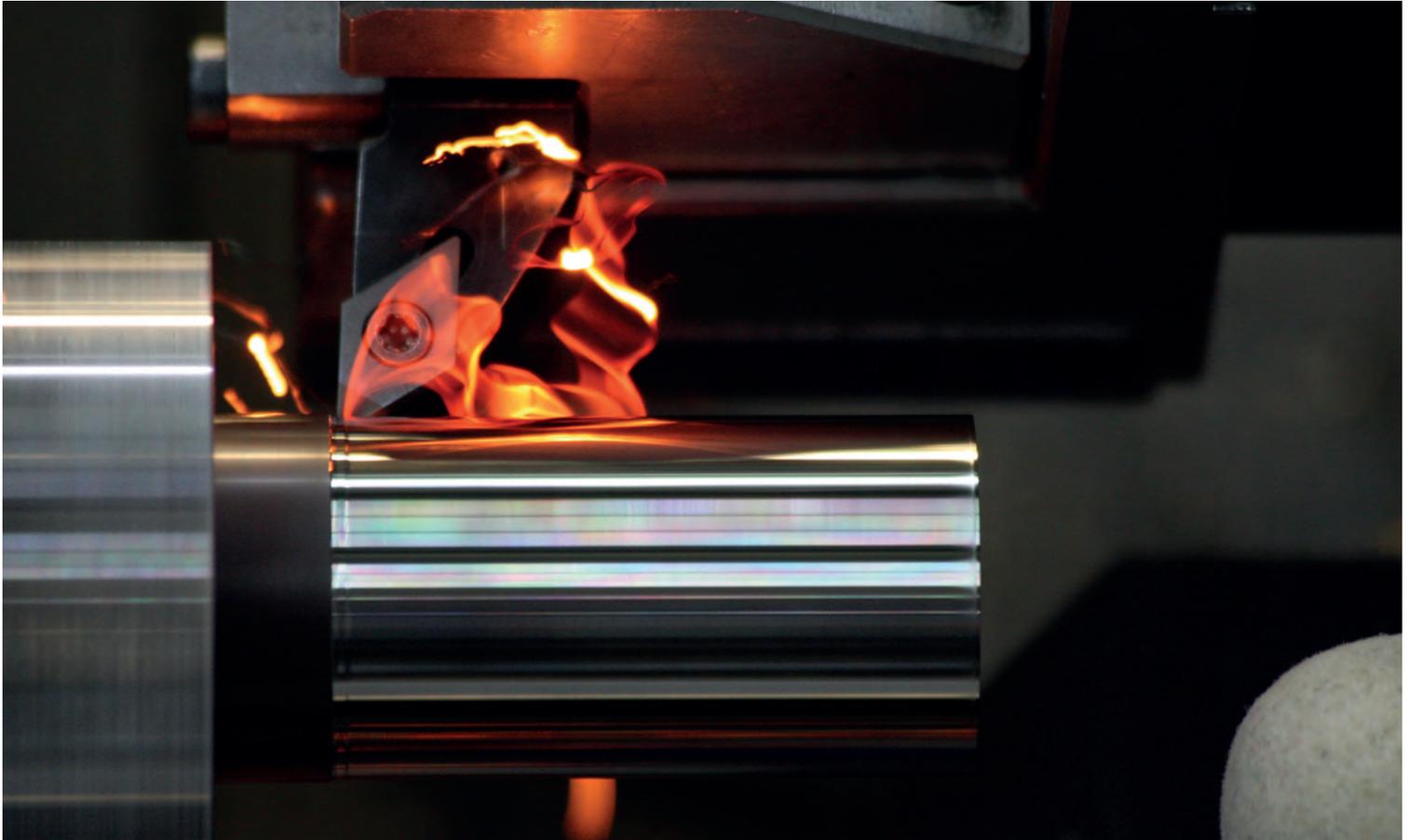


Bild 3: Aufnahmen mit einer Hochgeschwindigkeitskamera zeigen die hohe thermische Beanspruchung bei der Zerspaltung.

zess mit chemischer Hauptwirkung und die Funkenerosion, ein Prozess mit rein thermischer Hauptwirkung, ausgewählt. Im Folgenden soll etwas detaillierter auf die Funkenerosion eingegangen werden.

Das fertigungstechnische Prinzip der Funkenerosion beruht auf der abtragenden Wirkung einer elektrischen Entladung. Bei der Entladung kommt es zur Bildung eines hochenergetischen Plasmakanals, an dessen Fußpunkten der Werkstoff an beiden Elektroden (Werkzeug und Werkstück) aufschmilzt und verdampft beziehungsweise sublimiert. In der aktuellen Forschung wird oft angenommen, dass die umgesetzte elektrische Energie durch Joulesche Erwärmung in Wärme umgewandelt wird. Unter dieser sehr einschränkenden Bedingung ist die Funkenerosion ein rein thermisch wirkender Prozess. Unter Berücksichtigung weiterer streng definierter Randbedingungen, wie zum Beispiel eindimensionale Wärmeleitung in den Elektroden, ist die Funkenerosion durch bestehende Modelle gut beschreibbar. Um das Ziel des SFB/Transregio 136 zu erreichen, ist jedoch ein umfassenderes auf thermophysikalischen, elektrischen und fluiddynamischen Gesetzmäßigkeiten fußendes Modell notwendig. Bei

dieser Modellentwicklung soll eine Kooperation zwischen dem Werkzeugmaschinenlabor WZL und dem Aerodynamischen Institut AIA der RWTH zur Lösung beitragen. Im ersten Schritt gilt es die auftretenden Beanspruchungen zu bestimmen. Im Fall der Funkenerosion sind das die auftretenden Temperaturfelder im Werkstoff. Aufgrund der hohen Dynamik des Prozesses (mehr als 10.000 Einzelereignisse pro Sekunde) ist die messtechnische Erfassung der Temperaturfelder sehr aufwändig. Deshalb wird versucht, diese zu simulieren. Die Ergebnisse werden dann mit ausgewählten Experimenten am realen Untersuchungsgegenstand überprüft. Die erzeugten Werkstoffveränderungen werden unter anderem im Gemeinschaftslabor für Elektronenmikroskopie der RWTH bestimmt. Durch die so entwickelte Prozesssignatur könnten zukünftig Bearbeitungsstrategien modellbasiert und anlagenunabhängig entwickelt werden.

Thermo-Energetische Gestaltung von Werkzeugmaschinen

Im Rahmen des von der DFG geförderten Verbundprojekts SFB/Transregio 96 „Thermo-Energetische Gestaltung von Werkzeug-

maschinen“ findet an der RWTH in Kooperation mit der TU Chemnitz und der TU Dresden ebenfalls Forschung zum Thema Energien im Fertigungsprozess statt. Unter anderem ist es das Ziel die thermischen Verhältnisse während der Zerspaltung im Hinblick auf die werkzeug- und maschinenseitigen Einflüsse zu untersuchen. Dabei wird im Gegensatz zum SFB / Transregio 136 nicht die werkstofforientierte Fertigung in Form von Prozesssignaturen betrachtet, sondern die thermische Wirkung des Prozesses auf die Maschinen-seite inklusive dem Werkzeug fokussiert. Eine zentrale Forschungsfrage des Projekts soll klären, welche Wärmeströme während des Bearbeitungsprozesses entstehen und wie sich diese im Gesamtsystem verteilen. Weiterhin stellt sich die Frage, wie sich die Wärmeströme auf die Bearbeitungsgenauigkeit beziehungsweise die Lebensdauer der Maschinenkomponenten auswirken. Durch diesen ganzheitlichen Betrachtungsansatz wird es möglich, wichtige Fragestellungen der Prozessauslegung zu beantworten und dadurch effizienter und ressourcenschonender zu fertigen. Weiterhin können geeignete Kompensations- und Korrekturstrategien erforscht werden, mit deren Hilfe eine aus

energetischer Sicht optimale Gestaltung und Verwendung von Werkzeugmaschinen erreicht wird.

Einen aus energetischer Sicht besonders kritischen Anwendungsfall stellt die Fräsbearbeitung so genannter „Blisks“ – englischsprachige Kurzform für Blade Integrated Disk – dar. Bei diesem Bauteil aus dem Triebwerks- und Turbinenbau wirken auf die Komponenten Werkzeug, Werkstück und Maschine besonders hohe mechanische und thermische Lasten. Gleichzeitig gelten höchste Anforderungen an die Bearbeitungsgenauigkeit sowie die Werkstückrandzone, damit die Funktionssicherheit der Bauteile stets gegeben ist. Im Hinblick auf die Prozessauslegung ist es daher erforderlich, die Fräsbearbeitung unter Berücksichtigung der während des Zerspanvorgangs umgesetzten Energien zu betrachten. Hierzu ist es notwendig, die vorherrschenden thermischen Verhältnisse in Form von Tem-

peraturfeldern und Wärmequellen in der Zerspanzone zu untersuchen, zu verstehen und durch geeignete Modellierungsansätze abzubilden. Da der Zerspanvorgang sehr schnell abläuft und Temperaturfelder nicht nur durch punktuelle Messungen mit beispielsweise Temperaturfühlern ausreichend erfasst werden können, wird hierfür eine Hochgeschwindigkeitsthermographiekamera eingesetzt. Mit dieser ist es auch bei schnell ablaufenden Vorgängen möglich die räumlichen und zeitlichen, thermischen Verhältnisse bei der Zerspannung zu erforschen und zu verstehen. Die beschriebenen Forschungsarbeiten tragen maßgeblich dazu bei, die Mechanismen der Wärmeentstehung und -ausbreitung in der Fertigung genauer zu verstehen. Dadurch wird es zukünftig möglich, die Auswirkungen der auftretenden Energieflüsse besser zu beherrschen.

Autoren

Dr.-Ing. Andreas Klink ist Oberingenieur am Lehrstuhl für Technologie der Fertigungsverfahren am Werkzeugmaschinenlabor WZL und Teilprojektleiter SFB/TR 136 „Thermo-Energetische Gestaltung von Werkzeugmaschinen“.

Dr.-Ing. Patrick Mattfeld ist Geschäftsführender Oberingenieur am Lehrstuhl für Technologie der Fertigungsverfahren am Werkzeugmaschinenlabor WZL und Teilprojektleiter SFB/TR 96 „Thermo-Energetische Gestaltung von Werkzeugmaschinen“.

Dipl.-Wirt.-Ing. Thorsten Augspurger und Sebastian Schneider, M. Sc., sind wissenschaftliche Mitarbeiter am Lehrstuhl für Technologie der Fertigungsverfahren am Werkzeugmaschinenlabor WZL.

Anzeige

**Herzlich willkommen
in Ihrer neuen Sparkasse
auf dem Campus Melaten.**

Campus-Boulevard 57
52074 Aachen
Telefon: 02 41 / 444 74 10 00
Telefax: 02 41 / 444 74 10 77
410-mail@sparkasse-aachen.de



sparkasse-aachen.de



**Bequem
ist einfach.**

**Wenn der Finanzpartner
immer in Ihrer Nähe ist.**

Wenn's um Geld geht

 **Sparkasse
Aachen**

AixViPMaP ermöglicht maßgeschneiderte Werkstoffe und optimierte Prozessketten

Die Abkürzung ICME wird international zur Beschreibung eines neuen Forschungsansatzes für die Entwicklung von Werkstoffen und ihren Herstell- sowie Verarbeitungsprozessen gesehen. Der Begriff „Integrative Computational Materials Engineering“ steht für die prozessstufen- und skalenübergreifende numerische Simulation von langen Prozessketten. Im Exzellenzcluster „Produktion in Hochlohnländern“ entwickeln die Institute für Eisenhüttenkunde IEHK, Bildsame Formgebung IBF, Kunststoffverarbeitung IKV, Geometrie und praktische Mathematik IGPM, das Werkzeugmaschinenlabor WZL, Access e.V. und das Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik IPT gemeinsam neue Werkstoffe und die dazu gehörende Prozesstechnik mit dieser neuen Methode. Mit der „Aachen Virtual Platform for Materials Processing“, kurz AixViPMaP, ist eine Simulationsplattform entstanden, die es ermöglicht, unterschiedliche Simulationsprogramme an unterschiedlichen Forschungsstellen zu einer virtuellen Prozesskette zusammenzuschließen.

Stahl ist mit Abstand der meistverwendete metallische Werkstoff und zudem zunehmend höheren Anforderungen ausgesetzt. Brücken sollen immer größer werden, Fahrzeuge nicht nur leichter, sondern auch sicherer, und Windkraftanlagen werden immer höheren Belastungen ausgesetzt. Die Stahlhersteller müssen sich gleichzeitig auf einem globalen Markt behaupten. Deshalb stehen Industrie und Wissenschaft gemeinsam vor der Aufgabe, ein optimales Verhältnis zwischen geforderten mechanischen und funktionalen Eigenschaften sowie Material- und Produktionskosten zu finden.

Diese Eigenschaften sind von der chemischen Zusammensetzung und somit von den Rohstoffen abhängig. Die Preise für Rohstoffe sind auf einem globalen Markt jedoch großen Schwankungen ausgesetzt. Um konkurrenzfähige Bauteile für die Industrie herzustellen, werden besonders teure Legierungselemente (wie Nickel oder Molybdän) möglichst durch kostengünstigere Substitutionsmetalle (zum Beispiel Mangan) ersetzt, wobei es hier nicht zu Qualitätsverlusten kommen darf. Gleichzeitig muss die Herstellung weiterhin kostengünstig realisierbar sein.

Softwaretools koppeln

AixViPMaP ist eine Plattform, auf der verschiedene Softwaretools im Bereich der Werkstoff- und Prozesssimulation effizient und effektiv gekoppelt werden können. Vor dem Hintergrund, maßgeschneiderte Werkstoffe in kostenoptimierten Produktionsprozessen herzustellen, gewinnt die Nutzung mathematischer Modellierungsmethoden an Bedeutung. Hierbei werden verschiedene Computerprogramme beziehungsweise Modelle auf Makro-, Mikro- und Nanoskala kombiniert, um die komplexen Zusammenhänge bei der Werkstoffentwicklung und -herstellung abzubilden, siehe Bild 1. Die Ergebnisse einer Prozesssimulation dienen als Inputparameter für darauffolgende Simulationen und somit kann der Einfluss der Parameteränderung auf die Endigenschaften des Bauteils ermittelt werden.

Die Funktionalität der AixViPMaP lässt sich anhand von Getrieben für Windkraftanlagen veranschaulichen: Getriebe sind zentrale Teile der Windkraftanlage, die hohe und schwer

vorhersehbare Belastungen aushalten müssen. Das Risiko von Verschleiß und Ausfall ist groß. Insbesondere in einem Windpark im Meer, weit entfernt von der Küste, ist ein solches Windrad enormen Umwelteinflüssen und Kräften infolge von Temperaturwechsel und Windlasten ausgesetzt. Schäden müssen aufwändig und teuer repariert werden. Das Ziel in der Produktion von Windkraftanlagen ist also, Getriebekomponenten mit möglichst hoher Langlebigkeit beziehungsweise Laufleistung und hoher Widerstandsfähigkeit zu entwickeln. Gleichzeitig muss das Gesamtgewicht der Konstruktion begrenzt bleiben. Wenn Konstrukteure Getriebe für neue Windkraftanlagen entwickeln, so muss ein optimaler Werkstoff mit hoher Sicherheit und gleichzeitig möglichst geringen Legierungs- und Produktionskosten bestimmt werden. Konventionelle Einsatzstähle reichen hierfür oft nicht aus oder aber sie sind sehr teuer. Erfahrungswerte für alternative Stähle fehlen. Mit Hilfe der AixViPMaP-Plattform kann ein neuer Stahl mit angepassten Lebensdauereigenschaften und optimierten Produktionskosten für den jeweiligen Anwendungsfall designt werden.

Die Lebensdauer von Getriebebauteilen ist von vielen Einflussgrößen abhängig. Basis für die Herstellung eines solchen Stahls ist zum einen die chemische Zusammensetzung, die den Reinheitsgrad entscheidend ausmacht. Die Herstellung besteht aus vielen Prozessschritten, angefangen beim Gießen und der Erstarrung. Ziel hierbei ist die möglichst homogene Verteilung der Elemente, damit das Bauteil zum Beispiel die erforderliche Festigkeit an allen Stellen besitzt. Die anschließenden Umformschritte wie Schmieden und Ringwalzen dienen der Herstellung eines Rohlings, wobei das Bauteil seine grundsätzliche Form erhält. Durch eine Wärmebehandlung wird die Bearbeitbarkeit des Materials für das anschließende Zerspanen eingestellt. Das so genannte Weichspanen stellt durch Drehen die grundsätzliche Endgeometrie für das Bauteil her und schneidet durch Wälzfräsen die Zähne aus dem Rohling. Beim Aufkohlen wird das Bauteil in einer kohlenstoffreichen Atmosphäre aufgeheizt, so dass Kohlenstoff über die Oberfläche in das Bauteil eindiffundieren kann. Beim anschließenden Abschrecken entsteht eine äußere Schicht mit hoher Härte. Gleichzeitig wird ein duktiler Kern erzeugt, der dann die erforderlichen



Bild 1: Grafische Darstellung einer ICME Plattform (AixViPMaP) für die Zahnradfertigung mit skalenübergreifenden numerischen Simulation entlang der Prozesskette.

elastischen Eigenschaften bietet. Schlussendlich werden die während der Aufkohlung allfällig entstandenen Verzüge durch Schleifen wieder abgearbeitet und das Bauteil wird in seine finale hochexakte Geometrie gebracht.

Lernen durch jede Simulation

Diese Prozesse hängen auf verschiedene Weise voneinander ab und eine Optimierung muss über die gesamte Prozesskette erfolgen. Mit Hilfe der AixViPMaP wird die gesamte Prozesskette auf Makro-, Mikro- und Nanoebene simuliert, so dass für jeden Prozessschritt die Prozessparameter optimal eingestellt werden können. Anschließend werden die getroffenen Vorhersagen auf Laborebene überprüft, indem der Werkstoff in den Laboren der RWTH-Partner hergestellt und getestet wird. In Prinzipversuchen werden die Modellparameter für alle Prozesssimulationen identifiziert und bestimmt. Im Rahmen der aufgestellten Simulationskette, die die gesamte industrielle Prozesskette abbildet, dienen die Daten der vorherigen Berechnung dabei jeweils als Input für die nächste Simulation. So kann zum Beispiel die Information über Korngröße, lokale Eigenspannung oder Härte mit jedem Prozessschritt überwacht werden. Auf diese Art wird eine Simulationskette zur Berechnung der Zahnfußtragfähigkeit – sie sagt

etwas über die Lebensdauer des Bauteils aus – entwickelt und anhand von Beispielverzahnungen validiert. Hierbei kommt den Instituten zugute, dass alle zur Herstellung von Zahnrädern notwendigen Prozessschritte in den verschiedenen Laboren der RWTH experimentell dargestellt werden können. Beim Einsatz der Simulationsplattform arbeiten die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler eng mit industriellen Partnern zusammen. So wird in einem aktuellen Projekt ein neues Legierungs- und Prozesskonzept für einen Einsatzstahl für Großgetriebebauteile mit verbessertem Reinheitsgrad und damit Lebensdauer in der industriellen Praxis umgesetzt. Beteiligt sind unter anderem ein Stahlhersteller, ein Schmiedebetriebs, ein Wärmebehandler und ein Ofenhersteller.

Autoren

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Wolfgang Bleck ist Inhaber des Lehrstuhls für Eisenhüttenkunde und leitet das Institut für Eisenhüttenkunde.
 Dipl.-Ing. Viktor Kripak ist Wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Eisenhüttenkunde.
 Dr.-Ing. Ulrich Prahl ist Gruppenleiter am Institut für Eisenhüttenkunde.

Leichtbauproduktion von morgen

Aachener Zentrum für integrativen Leichtbau AZL forscht für die Großserie

Die Forderung, Material und Gewicht bei Produkten einzusparen, wächst stetig und branchenübergreifend. Neue Produktionsverfahren und -systeme werden benötigt, um Leichtbau auch in der Serienproduktion umsetzen zu können.

Hier setzt das Aachener Zentrum für integrativen Leichtbau AZL an, Fertigungsprozesse werden ganzheitlich erforscht und zusammen mit Industrieunternehmen für die Großserie entwickelt. Ganzheitlich bedeutet dabei, dass das AZL nicht nur Teile der Fertigungsprozesse betrachtet, sondern die gesamte Wertschöpfungskette weiterentwickelt. Dafür arbeitet das AZL eng mit acht Forschungsinstituten zusammen, die seit mehreren Jahrzehnten im Leichtbau forschen und entwickeln. Die Forschungsthemen der acht Partnerinstitute umfassen den Bereich Textilien (Institut für Textiltechnik ITA), Kunststoff- und Verbundmaterialien (Institut für Kunststoffverarbeitung IKV), Produktionstechnik (Werkzeugmaschinenlabor WZL, Fraunhofer IPT, Fraunhofer ILT sowie Institut für Schweißtechnik und Fügetechnik ISF), Qualitätssicherung (Werkzeugmaschinenlabor WZL), Struktur-Leichtbau (Institut für Strukturmechanik und Leichtbau SLA) und Automobilproduktion (Institut für Kraftfahrzeuge IKA). Mehr als 750 Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler und 1.100 studentische Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter entwickeln die Leichtbau-Technologien von morgen und weisen dabei Know-

how entlang der gesamten Prozesskette auf. So kann das AZL vollständige Prozessketten mitsamt der Handhabungs- und Automatisierungstechnik, dem Werkzeug- und Formenbau, Prozess- und Fügetechnologien für Multimaterialsysteme sowie durchgängiger Qualitäts- und Prozessdatenketten entwickeln und optimieren.

Dieser weltweit einzigartige Ansatz ermöglicht, auch die Wechselwirkungen der Teilprozesse einer Fertigungskette untereinander zu berücksichtigen. Dies ist insbesondere bei Multimaterialsystemen relevant, die zunehmend in verschiedenen Wirtschaftszweigen eingesetzt werden und deren Produktion eine integrative und interdisziplinäre Betrachtungsweise entlang der gesamten Wertschöpfungskette erfordern.

Interdisziplinäre Zusammenarbeit

So erforscht und entwickelt das AZL beispielsweise im Rahmen des vom Bundesministeriums für Bildung und Forschung BMBF geförderten Projekts „OPTO-Light“ die Verbindung von duro- und thermoplastischen Faserverbundkunststoffen (FVK) für den Automobilbereich. Ziel des Projekts ist es, mithilfe photonischer Verfahren erstmals strukturell belastete, kriechfeste und mit maximaler Funktionsintegration ausgestattete Leichtbauteile aus unterschiedlichen faserverstärkten Kunststoffen in einer einzigen Fertigungszelle großserientauglich herzustellen. Das Projekt



Bild 1: Das Aachener Zentrum für integrativen Leichtbau AZL baut derzeit eine 1.800-Tonnen-Composite-Pressen der Schuler Pressen GmbH im Cluster Produktionstechnik auf.
Foto: Schuler Group

erfordert eine interdisziplinäre Zusammenarbeit von Experten der FVK-Bauteilherstellung, vertreten durch KraussMaffei Technologies GmbH und BMW AG sowie der Opto- und Lasersystemtechnik, hier ARGES GmbH, Precitec GmbH & Co. KG, Sensortherm GmbH und Carl Zeiss Optotechnik GmbH. Das AZL fungiert aufgrund der Erfahrungen in beiden Schwerpunktbereichen als Prozess- und Systemintegrator.

Bei seinen Forschungsarbeiten hat das AZL Zugriff auf die aktuellsten Forschungs- und Industrieanlagen und baut ergänzend zu den bestehenden Anlagen der Partnerinstitute eigenes Maschinenequipment auf. Derzeit wird ein 1.800-Tonnen-Pressensystem der Schuler Pressen GmbH im zukünftigen Gebäude des AZL, dem Clustergebäude Produktionstechnik, aufgebaut.

Mit dem Ziel, die Leichtbau-Produktion in der Serienproduktion zu etablieren, arbeitet das AZL sehr eng mit Firmen der gesamten Wertschöpfungskette zusammen und fungiert für die Industrie als „One-Stop-Shop“, also erste Anlaufstelle und Schnittstelle zwischen Forschung und Industrie. Zwei Organisationseinheiten machen dies möglich: Während das

AZL der RWTH Aachen die Forschung und Lehre im Bereich Leichtbau mit Bezug auf Produkte, Materialien, Produktionsprozesse und Systeme übernimmt, bietet die AZL Aachen GmbH als Dienstleister industrielle Ingenieurdienstleistungen, Beratung und Projektmanagement sowie vernetzende Funktionen für Firmen im Bereich der Leichtbauproduktionstechnik an. So ist es möglich, neben der engen interdisziplinären wissenschaftlichen Zusammenarbeit zwischen den Werkstoffwissenschaften und der Produktionstechnik intensiv und branchenübergreifend mit der internationalen Industrie zusammenzuarbeiten. Das stetig wachsende internationale Partnernetzwerk des AZL besteht derzeit aus 70 Firmen aus 18 Ländern entlang der gesamten Wertschöpfungskette – von Materialherstellern über Verarbeiter, Maschinenhersteller, Zulieferer und Hersteller von Komponenten und Produkten – Tier-1 und Tier-2 bis hin zu OEM.

Gemeinsam Zukunftsthemen ermitteln

Jährlich werden beim Annual Partner Meeting die relevanten Themen im Bereich des Leichtbaus gemeinsam mit allen Partnerfirmen und

-instituten identifiziert und diese anschließend über das Jahr hinweg in Workshops und Workgroups bearbeitet.

In den letzten zwei Jahren haben so Workshops zu 13 verschiedenen Leichtbau-Themen stattgefunden, unter anderem zur Herstellung und Füge-technologien von Leichtbaumaterialien, zu einem neuen Konzept für Doppelbandpressen, zur Optimierung von Prozesskosten oder zur Entwicklung einer Leichtbau-Forschungslandkarte. Darüber hinaus wurden vier Workgroups gegründet. In diesen Arbeitskreisen verfolgen Vertreter der Partnerfirmen und -institute regelmäßig und kontinuierlich Themen wie „Hybride thermoplastische Composites“ oder „Rohre und Druckbehälter aus Faserverbundkunststoffen“.

Entscheiden Partnerfirmen, ein Thema konkreter anzugehen und bestimmte Aspekte gezielt zu untersuchen, wird in Joint Partner Projects – diese Konsortialprojekte bestehen aus mehreren Firmen – ein Forschungs- und Entwicklungsthema gezielt zusammen erforscht. Ziel ist dabei, die häufig noch nicht etablierten und serienmäßig umgesetzten Leichtbau-Technologien durch beispielsweise Qualifizierungen, Definition von Standards oder die Entwicklung neuer Anlagenkonzepte für industrielle Anwendungen nutzbar zu machen. Ein Beispiel ist das Konsortialprojekt „Thermoplastic Tapes – Material and Processing Benchmark“: Um unidirektionale thermoplastische faserverstärkte Kunststoff-Halbzeuge, so genannte Tapes, auf ihre Eigenschaften zu untersuchen und zu qualifizieren, haben sich sieben AZL-Partnerfirmen zusammengeschlossen. Das Projekt umfasst ein Budget von über 200.000 Euro und hat eine Laufzeit von einem Jahr.

Autoren

[Dr.-Ing. Michael Emonts ist Geschäftsführer des Aachener Zentrums für integrativen Leichtbau AZL.](#)

[Dr.-Ing. Kai Fischer ist Bereichsleiter Produktionstechnologie Faserverstärkte Kunststoffe am Aachener Zentrum für integrativen Leichtbau AZL.](#)

Alles in die richtige Form

Aachener Werkzeugbau: Exzellenz im Zeitalter von Industrie 4.0

Digitalisierung und Vernetzung sind die Schlagworte, wenn es um das Thema Industrie 4.0 geht – und diese sind besonders für den Werkzeugbau relevant: Der Werkzeugbau bildet in vielen Fällen den Ausgangspunkt für die Produktion.

Er ermöglicht und befähigt Unternehmen überhaupt erst, die Produktion in Serie aufzunehmen, gleich ob es sich um Produkte für die Industrie oder für den Endverbraucher handelt. Ein Großteil aller Produkte entstammt Werkzeugen – von Metall- und Kunststoffteilen im Auto bis hin zum Smartphone. Werkzeuge bringen Werkstoffe in Form, verändern Ausgangsformen oder kombinieren Werkstoffe und -stücke. Umformwerkzeuge verwandeln beispielsweise flache Bleche in Kotflügel oder Motorhauben, Spritzgießwerkzeuge formen anschießsame Zahnbürsten, gleichzeitig aus harten und weichen Komponenten.

Werkzeuge sind Unikate, mit denen die unterschiedlichsten Serienprodukte hergestellt

werden. Die große Vielfalt der herstellbaren Produkte führt dazu, dass auch die Fertigung der Werkzeuge ausgesprochen komplex sein kann und ein enormes Know-how erfordert. Dennoch gibt es für die Herstellung der Werkzeuge Regeln und Methoden, die man als „Best Practices“ bezeichnen kann. So ist es möglich, Werkzeugbaubetriebe völlig unabhängig von ihrem Werkzeugportfolio – ob Spritzgießwerkzeug, Umformwerkzeug, Druckgießwerkzeug oder Stanzwerkzeug – zu vergleichen, erprobte Vorgehensweisen zu übertragen und gezielt Methoden zur Prozessorganisation oder Fertigungstechnik zu entwickeln.

Das Werkzeugmaschinenlabor WZL und das Fraunhofer-Institut für Produktionstechnologie IPT bündeln die Aachener Aktivitäten für die Branche Werkzeugbau: Unterstützt wird dies durch eine Ausgründung beider Institute, die WBA Aachener Werkzeugbau Akademie GmbH. Die WBA agiert gegenüber den Unternehmen der Branche als kompetenter

Bild 1: Der Demonstrationswerkzeugbau der WBA Aachener Werkzeugbau Akademie GmbH bietet Maschinenkapazitäten für Forschungsprojekte und die dort eingeschriebenen Partnerunternehmen.
Foto: WBA



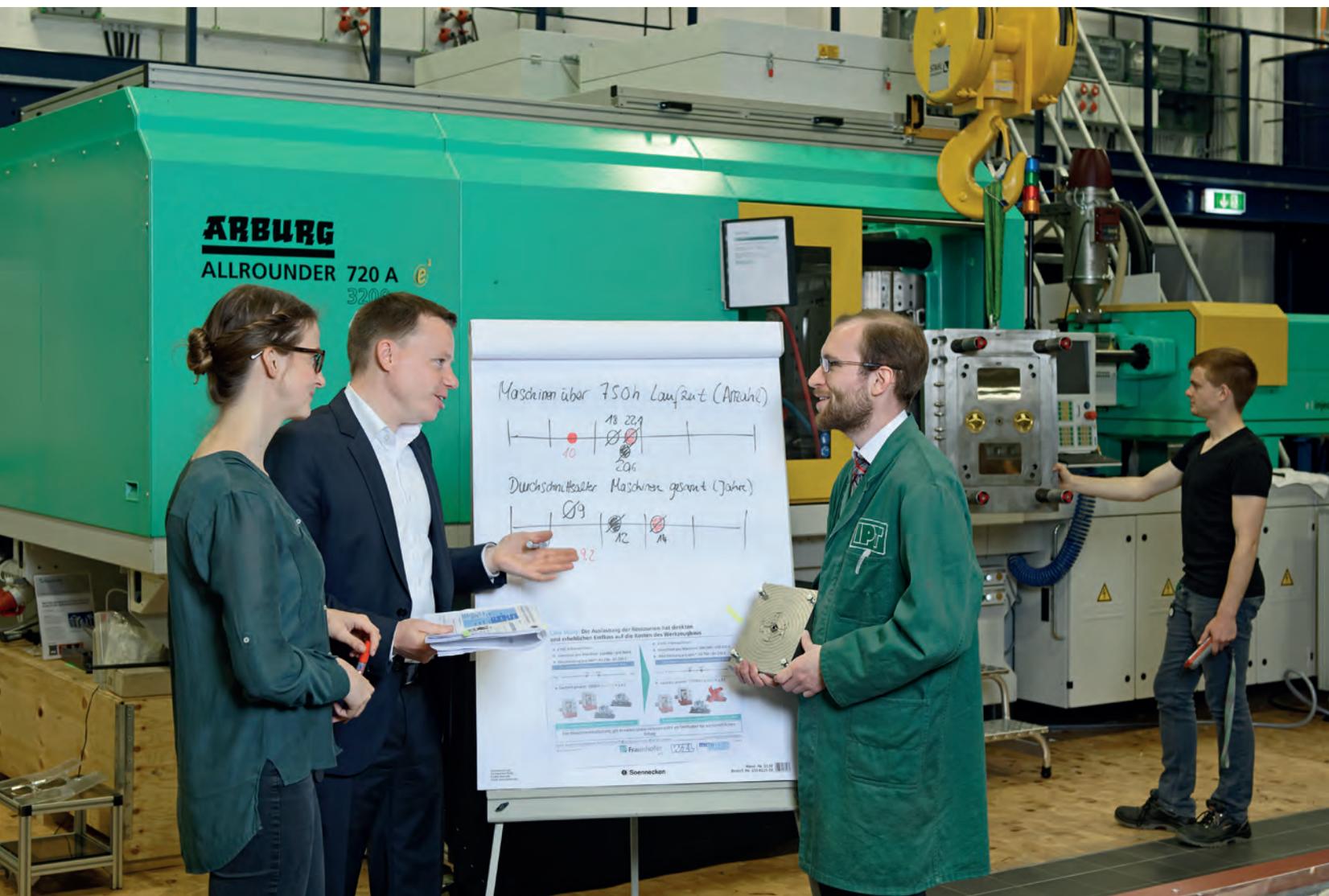


Bild 2: Anhand von organisatorischen und technologischen Kennzahlen beurteilen die Wissenschaftler des Fraunhofer IPT die Leistungsfähigkeit des Werkzeugbaus. Für einen vollständigen Eindruck des zu benchmarkenden Betriebs ist eine Besichtigung des Shopfloors und die Befragung der Mitarbeitenden elementar.
Foto: Peter Winandy

Ansprechpartner für technologische und organisatorische Fragen und arbeitet eng mit den beiden Instituten zusammen. Ein eigener Demonstrationswerkzeugbau ergänzt die Maschinenkapazitäten von Fraunhofer IPT und WZL, vor allem in den Kerntechnologien des Werkzeugbaus, dem Fräsen und der Senkerosion.

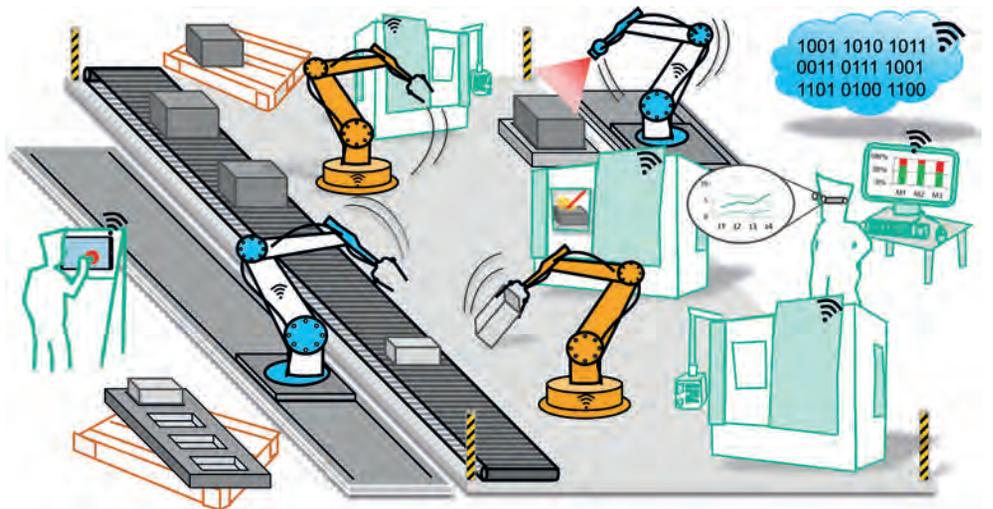
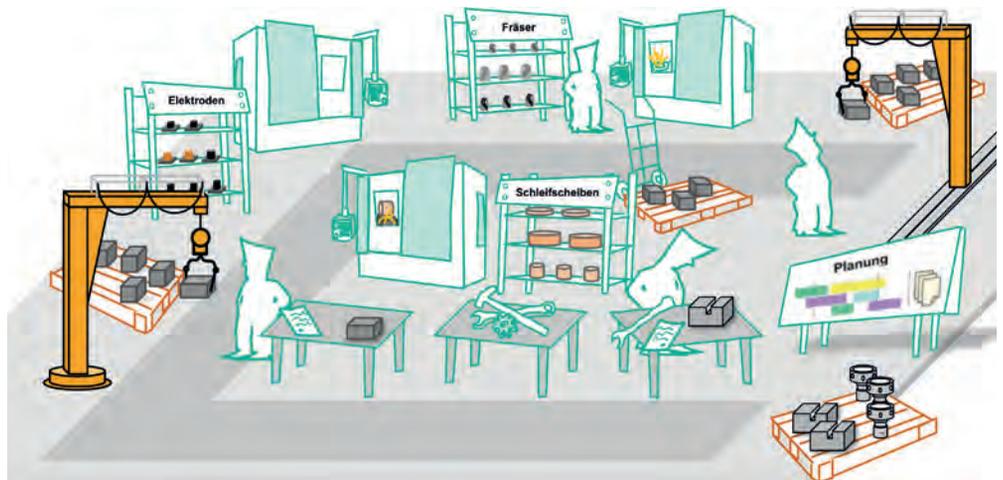
Herausforderungen im Werkzeugbau

Werkzeugbaubetriebe sind als Bindeglied zwischen Produktentwicklung und Serienproduktion den wachsenden Ansprüchen von Kunden und Designern ausgesetzt. Und auch der demographische Wandel spielt für sie eine wichtige Rolle. Mitarbeiter in Werkzeugbaubetrieben sind hochqualifizierte Fachkräfte mit Aufgaben, die einerseits handwerkliches Geschick und andererseits Offenheit für neue Betriebsstrukturen erfordern, die

durch eine zunehmende Industrialisierung der Branche bedingt sind.

Die Besonderheit der Werkzeugbaubranche ist ihre starke Heterogenität hinsichtlich Marktzugang, Leistungsspektrum und Größe der Betriebe. Bei Betrachtung des Marktzugangs wird zwischen „internen“ und „externen“ Werkzeugbaubetrieben unterschieden. Ein interner Werkzeugbaubetrieb ist als fester Teil der Wertschöpfungskette in einem produzierenden Unternehmen verankert. Ein externer Werkzeugbau hingegen agiert als selbstständiges Unternehmen, das Auftragsarbeiten für unterschiedliche Kunden durchführt. In beiden Fällen gibt es innerhalb der Branche erhebliche Unterschiede in der Anzahl der Beschäftigten. So gibt es sehr große interne Betriebe mit mehr als 1.000 Beschäftigten und kleine externe Betriebe mit weniger als 20 Beschäftigten.

Die größte Herausforderung für interne Werkzeugbaubetriebe ist die Einbindung in den Produktentstehungsprozess. Es gilt, Werkzeuge als essenzielle Betriebsmittel pünktlich zum Produktionsstart fertigzustellen. Selbst späte Designänderungen des Endprodukts müssen noch im Werkzeug berücksichtigt werden. Dies kann jedoch nur gelingen, wenn der Werkzeugbau schon früh in die immer kürzeren Produktentwicklungszyklen eingebunden wird, aktiv Möglichkeiten und Grenzen der Technologie aufzeigt und damit den Produktentwicklungsprozess unterstützt. Genau hier setzen Forschung und Industrierberatung von WZL und Fraunhofer IPT an. Die Abteilung „Produktionssystematik Unternehmensentwicklung“ am WZL überträgt etablierte Konzepte aus der Serienfertigung auf die Unikatfertigung im Werkzeugbau und unterstützt die Betriebe dabei, den aktuellen



Herausforderungen der Branche gerecht zu werden. So kann es ihnen gelingen, sogar offensiv neue Ansätze in der Betriebsorganisation in das Unternehmen einzubinden. Die Projektvielfalt reicht dabei von Strategien, die die Kernkompetenzen eines Werkzeugbaus im Sinne einer Unternehmensvision einsetzen, bis hin zur optimalen Gestaltung eines „Shopfloors“, der die Wege zwischen einzelnen Arbeitsschritten verkürzt, den Materialfluss verbessert und die Durchlaufzeit in der Fertigung verkürzt. Denn gerade die Wartezeiten, nicht die Bearbeitungszeiten, beeinflussen in der werkzeuggestaltenden Unikatfertigung maßgeblich die Durchlaufzeit, die ein Werkzeug von seiner Beauftragung bis zur Auslieferung braucht.

Das Fraunhofer IPT vereint die Aktivitäten von Forschung, Entwicklung und Beratung für den Werkzeugbau in seinem gleichnamigen Geschäftsfeld. Auf diese Weise gelingt es, die strategisch-organisatorische Ausrichtung der WZL-Abteilung und das technologische Know-how des Fraunhofer IPT in gemeinsame Projekte zu integrieren. Ein Beispiel: In der Arbeitsgruppe „Technologieorganisation“ hat das Fraunhofer IPT eine Methodik zur Auswahl geeigneter Fertigungsmaschinen entwickelt. Diese hilft den Unternehmen, die den Rat des Fraunhofer IPT suchen, in anforderungsgerechte Maschinen zu investieren und solche abzustoßen, die nicht mehr zum geplanten Werkstückspektrum passen oder heute als veraltet gelten. Gleichzeitig gibt eine langfristige Investitions-Roadmap

Bild 3: Der Weg vom werkstatorientierten zum industriellen Werkzeugbau erfordert den Paradigmenwechsel von einem Werkzeug als Kunstwerk hin zu einem hochwertigen Industrieprodukt.

Quelle: Fraunhofer IPT

vor, zu welchen Zeitpunkten neue Maschinen angeschafft werden müssen und wann desinvestiert wird. Darüber hinaus bietet das Fraunhofer IPT seine Kompetenzen in den Kerntechnologien für den Werkzeugbau an: Dazu zählt zuerst die Zerspanung, konkret das Fräsen. Leistungssteigerungen durch neue Bearbeitungsstrategien, optimierte Fräswerkzeug-Geometrien oder neue Möglichkeiten zur Bearbeitung hochharter Werkstoffe wie Hartmetall führen im Werkzeugbau zu technologischem Fortschritt und Vorteilen im globalen Wettbewerb. Neben dem Fräsen untersucht das Institut aber auch Technologien und Verfahren zur Feinbearbeitung von Bauteilen. Gerade bei der Endbearbeitung von Bauteilen, die auf Hochglanz poliert werden müssen, spüren die Werkzeugbaubetriebe die demographische Entwicklung besonders schmerzhaft.

Denn nur wenige junge Mitarbeiter wollen heute noch die Geduld aufbringen und in einem langjährigen Lernprozess die monotone manuelle Polierarbeit erlernen. Deshalb arbeitet das Fraunhofer IPT an heute schon einsatzfähigen automatisierten Lösungen für das robotergestützte Polieren. Als weitere wichtige Technologie für den Werkzeugbau gilt die Senk- und Drahtfunken-erosion. Dabei wird das Material durch elektrische Entladung zwischen einer Elektrode und dem Werkstück abgetragen – besonders wichtig beispielsweise für kleine, aber tiefe Öffnungen im Werkzeug. Auch hier ist der Austausch zwischen WZL und Fraunhofer IPT sehr intensiv, da gerade die Kombination aus angewandter Forschung und fundiertem Grundlagenwissen die bestmöglichen Antworten hervorbringt.

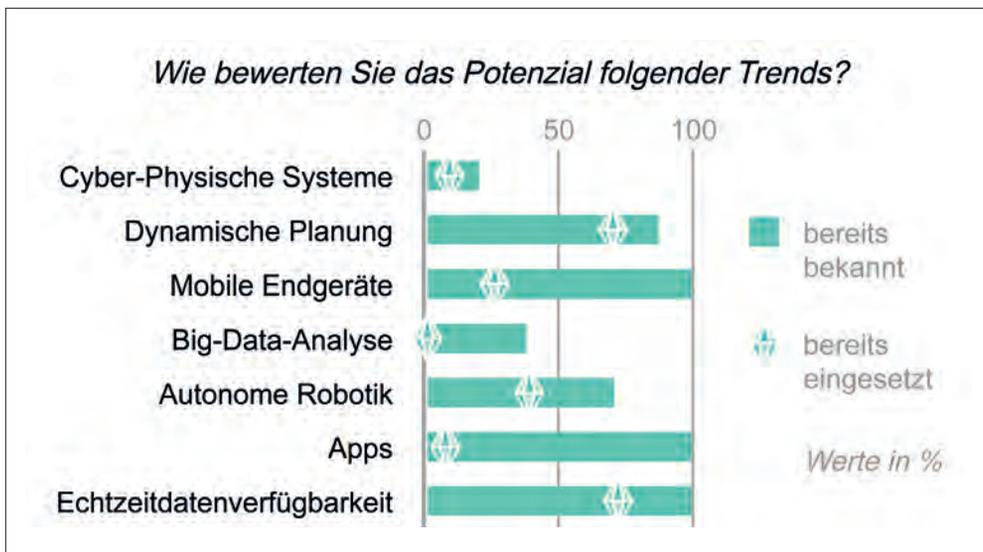


Bild 4: Ergebnis einer Technologiestudie im Werkzeugbau: Entscheider in den Betrieben halten viele typische Industrie 4.0-Themen für sehr relevant.

Quelle: Fraunhofer IPT

Werkzeugbau 4.0

Natürlich hat auch im Werkzeugbau die Digitalisierung längst Einzug gehalten und die Unternehmen sind damit auf dem Weg zur Industrie 4.0. Mit mobiler Kommunikation, kompakter Sensorik und modernen Fertigungsleitsystemen werden die Abläufe in den Unternehmen transparent und flexibel – in Echtzeit. Dies ist gerade für den Werkzeugbau eine große Chance. Denn die Unikatfertigung ist ein hervorragender Einsatzort für datenbasierte Ähnlichkeitsanalysen von Bauteilen, Wissensmanagement für Prozesse in der Werkzeugfertigung und nicht zuletzt für die Auswertung von Daten „intelligenter Werkzeuge“, die in der Serienfertigung zum Einsatz kommen werden. Werkzeugintegrierte Sensorik hilft, Wartungszeitpunkte vorauszusagen, schützt vor Fehlbedienungen und ermöglicht, bei der Instandhaltung die richtigen Arbeitsschritte einzuleiten. So können schon während des Serieneinsatzes Verschleißteile erkannt werden, die zum Instandhaltungstermin vor Ort bereitstehen. Darüber hinaus können durch die Vernetzung von Kunden und Lieferanten vorhandene Kapazitäten besser genutzt werden. Das alles zusammengenommen verkürzt nicht zuletzt die Durchlaufzeit von Werkzeugreparaturen und erlaubt damit einen längeren produktiven Einsatz von Werkzeugen in der Serienfertigung.

Der „Oscar“ im Werkzeugbau

WZL und Fraunhofer IPT arbeiten bereits seit geraumer Zeit an zahlreichen Forschungs-

und Industrieprojekten zum Thema Industrie 4.0 für den Werkzeugbau. Welche Parameter im Umform- oder Spritzgießprozess sind überhaupt für eine spätere Auswertung relevant? Wie beeinflussen sie die Produktqualität? Wie wirkt sich dies auf die Lebensdauer des Werkzeugs aus? Das sind zentrale Fragen, für die Parameter ermittelt und geeignete Sensoren entwickelt werden müssen, die wiederum neue Werkzeugdesigns mit sich bringen.

Innovative Konzepte im Werkzeugbau fördern WZL und Fraunhofer IPT mit dem Wettbewerb „Excellence in Production“ und kürten damit den „Werkzeugbau des Jahres“.

Etwa 300 Werkzeugbaubetriebe aus dem deutschsprachigen Raum nehmen jedes Jahr daran teil. In vier Kategorien wird zunächst ein Sieger bestimmt: interner oder externer Werkzeugbau und kleiner oder größer als 50 Beschäftigte. Aus den vier Besten wird wiederum der Gesamtsieger gekürt. Im Jahr 2015 war das der interne Werkzeugbau der Audi AG: Durch adaptive Werkzeuge ist es Audi gelungen, den Einzug des Blechs in die Form so zu beeinflussen, dass völlig neue Geometrien im Blech abgebildet werden können.

Doch nicht der Sieg allein zählt. Die Fragebogenauswertung eröffnet den Unternehmen vor allem neue Handlungsfelder für zukünftige Verbesserungen. Finalisten und Sieger werden zudem regelmäßig in der Fachpresse als Erfolgsbeispiele präsentiert.

Der Wettbewerb speist außerdem ein umfang-

reiches, vollständig anonymisiertes Datenbanksystem der ausrichtenden Institute. Es ist weltweit einzigartig und kann in zahlreichen nationalen und internationalen Beratungs- und Benchmarking-Projekten für die Weiterentwicklung von Werkzeugbaubetrieben genutzt werden.

Autoren

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E.h. Dr. h.c. Dr. h.c. Fritz Klocke ist Inhaber des Lehrstuhls für Technologie der Fertigungsverfahren und Mitglied des Direktoriums des Werkzeugmaschinenlabors WZL sowie Leiter des Fraunhofer-Instituts für Produktionstechnologie IPT.
 Moritz Wollbrink, M. Sc., ist Geschäftsfeldleiter Werkzeugbau am Fraunhofer-Institut für Produktionstechnologie IPT.

Christoph Deutskens, Heiner Hans Heimes, Ansgar vom Hemdt,
Christoph Lienemann, Mathias Ordnung, Günther Schuh

Voller Power in die Zukunft

Das Zentrum für Elektromobilproduktion ZEP



Bild 1: Mitarbeitende des Lehrstuhls Production Engineering of E-Mobility Components zeigen Prototypen des elektrischen Antriebsstrangs.
Foto: Peter Winandy

Elektromobilität wird in den kommenden Jahrzehnten drastisch an Bedeutung gewinnen: Das global zunehmende Umweltbewusstsein, der weltweite Trend zur Urbanisierung, die Verknappung von Rohstoffen und die daraus resultierende Notwendigkeit alternativer Antriebstechnologien sind wichtige Gründe. Laut einer Studie des Beratungsunternehmens Kienbaum bergen die elektromobilen Antriebstechnologien Umsatzpotenziale für Europa von bis zu 751 Milliarden Euro jährlich¹.

Um diesen Zukunftsmarkt auch aus deutscher Perspektive erschließen zu können, muss intensiv in Wissenschaft und Infrastruktur investiert werden. Für Deutschland als eine führende Industrienation im Automobilsektor spielt die elektromobile Zukunft des Personen- und Individualverkehrs eine bedeutende Rolle. Das Ziel der Bundesregierung von mindestens einer Millionen Elektrofahrzeugen auf deutschen Straßen bis 2020 kann dabei nur erreicht werden, wenn die Lücke bei den Gesamtkosten für den Eigentümer im Vergleich zu konventionellen Fahr-

zeugen geschlossen und das Elektrofahrzeug folglich wettbewerbsfähig sein wird.

Am Campus Melaten der RWTH Aachen entsteht derzeit das Zentrum für Elektromobilproduktion ZEP mit einer Anlauffabrik und dem Elektromobilitätslabor eLab, um sich Forschungsaufgaben im elektromobilen Produktionsprozess von der Entwicklung bis zur Serie zu stellen.

Aus dem Ziel der Wettbewerbsfähigkeit von Elektroautos ergibt sich ein enormer Kostendruck im gesamten Wertschöpfungsprozess – von der Komponentenherstellung bis zur Fahrzeugendmontage. Die Mehrkosten der Batterie verstärken diese Entwicklung zusätzlich.

In der integrierten Betrachtung von Produkt- und Prozessentwicklung liegt die Chance, das neue Produkt und dessen Produktionsprozesse ideal auf die im Vergleich zum konventionellen Fahrzeug weitgehend veränderten Randbedingungen zuzuschneiden. Die gezielt industrialisierungsorientierte Fahrzeuggestaltung stellt in diesem Kontext einen bedeutenden Stellhebel dar: Rund 70 Prozent

¹ Kienbaum (2013) Aufbruch in die Elektromobilität, Studie



der Herstellungskosten werden bereits in der Produktentwicklung festgelegt. Die Ergebnisse einer integrierten Produkt- und Prozessuntersuchung können für eine gezielte und prozessgerechte Produktoptimierung genutzt werden. So lassen sich Unzulänglichkeiten reduzieren, die häufig Industrialisierungsbarrieren darstellen.

Neben der Planung und virtuellen Simulation der jeweiligen Produktionsprozesse ist die frühzeitige Validierung der Durchführbarkeit und Serientauglichkeit der Produktionsprozesse unabdingbar. Eine virtuelle Simulation dieser Prozesse ist dabei nicht ausreichend. Erkenntnisse müssen am physischen Produkt gewonnen werden. Das erfordert neue Bauteile und Materialien, zahlreiche Schnittstellen von Baugruppen unterschiedlicher Entwicklungspartner und neue Ansätze für den Zusammenbau des Elektrofahrzeugs.

Diese Entwicklung gilt nicht nur für heute gängige Bauteile wie ein Dachmodul oder ein Fahrwerk. Besonders für die neuen Komponenten des elektrischen Antriebsstrangs müssen die Prozesse in der Endmontage der Automobilhersteller zur Serienreife gebracht werden. Dies gilt beispielsweise für Antriebs-

batterien, die immer noch etwa 40 Prozent der Herstellungskosten eines Fahrzeugs ausmachen können. Dabei muss sowohl die Batteriezellfertigung, die Batteriemodul- und -packfertigung als auch die Integration des Batteriepacks in das Fahrzeug ausgereift werden.

eLab

Wie kann das Zentrum für Elektromobilproduktion ZEP hierzu beitragen? Im Elektromobilitätslabor eLab können die Fertigungsprozesse der Batterie und des elektrischen Antriebsstrangs in einer realen Produktionsumgebung analysiert werden. Neben der Automatisierung der Produktion und der Forschung im Bereich Anlagentechnik und Prototypenbau steht die Wirtschaftlichkeit der Abläufe im Vordergrund. Der Fokus liegt auf Komponentenentwicklung und Prototypenproduktion rund um den elektrischen Antriebsstrang (Motoren- und Batterieproduktion). Partner des eLab sind das Werkzeugmaschinenlabor WZL, der Chair of Production Engineering of E-Mobility Components PEM, das Institut für Elektrische Maschinen IEM, das Institut für Stromrichtertechn-

Bild 2: Fertigung von Lithium-Ionen-Batteriezellen.
Foto: Peter Winandy

Battery Abuse Center



Mischen und Beschichten



Batterie-Pack-Montage



Motoren- und Leistungselektronik-Prüfung



Mechanische Werkstatt



Fügeverfahren (Auszug)



Zellassemblierung



Linearwickelmaschine



Profil

Das eLab ermöglicht dank einer hervorragenden Infrastruktur...

- die Gestaltung von Prozessketten für die Produktion von Komponenten des elektrischen Antriebsstrangs
- die Entwicklung und Verbesserung innovativer Technologien samt Prüfung auf Umsetzbarkeit
- die Prototypenproduktion

Gefördert durch

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



Ziel2.NRW
Regionale Wettbewerbsfähigkeit und Beschäftigung



Bundesministerium für Wirtschaft und Energie



EUROPÄISCHE UNION
Investition in unsere Zukunft
Europäischer Fonds für regionale Entwicklung

Bild 3: Als integrierende Plattform forscht das eLab an Produktgestaltung und Produktionsprozessen des elektrischen Antriebsstrangs.

nik und Elektrische Antriebe ISEA und das Institut für Schweißtechnik und Fügetechnik ISF.

Ziel ist es, die deutsche Automobilzulieferindustrie dabei zu unterstützen, erfolgreich Forschung und Entwicklung an einzelnen Komponenten zu betreiben und die Ergebnisse in marktfähige Produkte umzusetzen. Dazu stehen für die jeweiligen Komponenten vollständige, intelligente Fertigungslinien im eLab zur Verfügung. Mit diesen ist es möglich, den Produktionsprozess von Elektromotoren und Lithium-Ionen-Batterien abzubilden. Neben den Fertigungsanlagen sind ein vollständiges Prüfzentrum für Elektromotoren und Leistungselektronik und ein Fügetechnisches Labor Bestandteil des eLab.

Neben der Entwicklung von Produkttechnologien gilt auch der Entwicklung der zur Herstellung erforderlichen Produktionstechnik besondere Aufmerksamkeit. Deshalb wird die Produzierbarkeit bereits im Produktkonzept berücksichtigt. So kann sichergestellt werden, dass Produkt und Prozess in der Serienproduktion optimal aufeinander abgestimmt sind. Durch eine hohe Effizienz des

Produktionssystems können Herstellungskosten drastisch gesenkt werden – eine wichtige Voraussetzung, damit sich das Produkt erfolgreich am Markt etablieren kann.

Das eLab steht allen Industriepartnern offen, die an einzelnen Komponenten im Bereich des elektrischen Antriebsstrangs forschen und entwickeln wollen und ist somit nicht auf bestimmte Branchen beschränkt. Zur Infrastruktur gehören Prüf- und Produktionstechnologien sowie Büro- und Werkstattflächen. Von der Hochvoltbatterie bis zum Elektromotor können alle wichtigen Komponenten des elektrifizierten Antriebsstrangs produziert werden.

Im Werkstattbereich sind spezifische Prüfstände und Technologien aufgebaut, die für die Komponenten- und Technologieentwicklung erforderlich sind. In einem offenen Werkstattbereich können einzelne Komponenten für Prototypen hergestellt und aufgebaut werden. Auf der variabel gestaltbaren Hallenfläche von 800 Quadratmetern stehen Automatisierungstechnologien zur Verfügung, die entsprechend den Anforderungen der Nutzer miteinander kombiniert werden können.

Durch die Zusammenarbeit von Industrie und Forschung können sich neue Synergieeffekte herausbilden und branchenübergreifende Netzwerke ergeben.

Die Anlauffabrik

In der Anlauffabrik wird das Gesamtfahrzeug betrachtet. Ihr Konzept ist ein mächtiges Werkzeug zur Entwicklung industrialisierungsfähiger Fahrzeuge und Fahrzeugkomponenten sowie zur Validierung der Produktionsprozesse. Anlagen zum Karosseriebau, eine Montagelinie und End-of-Line-Tests bieten die Möglichkeit, Anlauf- und Produktionsprozesse möglichst genau abzubilden. So kann die Serienproduktion von Fahrzeugen und Fahrzeugkomponenten getestet und ausgearbeitet werden. Dafür werden Prototypen und Vorserienfahrzeuge unter serienähnlichen Bedingungen mit seriennahen Betriebsmitteln hergestellt. Ziel ist es, theoretische Produktkonzepte und Produktionsprozesskonzepte zu erproben und zu bewerten sowie durch Anpassung und Demonstration in die Verwertung zu überführen.

Profil

- Umfassendes Wissen zur Optimierung von Anlaufzeit und -kosten sowie Risikomanagement
- Reale Testumgebung für neue Fahrzeugkomponenten hinsichtlich Serientauglichkeit, Sicherheit und Montierbarkeit
- Integrierte Produkt- und Prozessentwicklung auf Basis einer innovativen Technologieplattform und Anlagen

Gefördert durch

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

Ziel2.NRW
Regionale Wettbewerbsfähigkeit und Beschäftigung

EUROPÄISCHE UNION
Investition in unsere Zukunft
Europäischer Fonds für regionale Entwicklung

Bild 4: Die Anlauffabrik ermöglicht die anwenderorientierte Erprobung von Prozessen und Produkten unter Realbedingungen.

Bild 5: In der Anlauffabrik kann die Batteriefertigung analysiert werden. Foto: Peter Winandy



Autoren

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Dipl.-Wirt.-Ing. Günther Schuh ist Inhaber des Lehrstuhls Production Engineering of E-Mobility Components PEM und Geschäftsführender Direktor Werkzeugmaschinenlabor WZL.

Dr.-Ing. Christoph Deutschens, M. Eng., ist Geschäftsführender Oberingenieur am Lehrstuhl PEM, Dr.-Ing. Dipl.-Wirt.-Ing. Heiner Hans Heimes ist Oberingenieur Battery Production am Lehrstuhl PEM. Dipl.-Ing. Mathias Ordnung ist Gruppenleiter Battery Production am Lehrstuhl PEM und Ansgar vom Hemdt, M. Sc., und Christoph Lienemann, M. Sc. M. Sc., sind wissenschaftliche Mitarbeiter in der Gruppe Battery Production am Lehrstuhl PEM.

Bild 6: Battery Abuse Test
im eLab der RWTH Aachen.
Foto: Peter Winandy





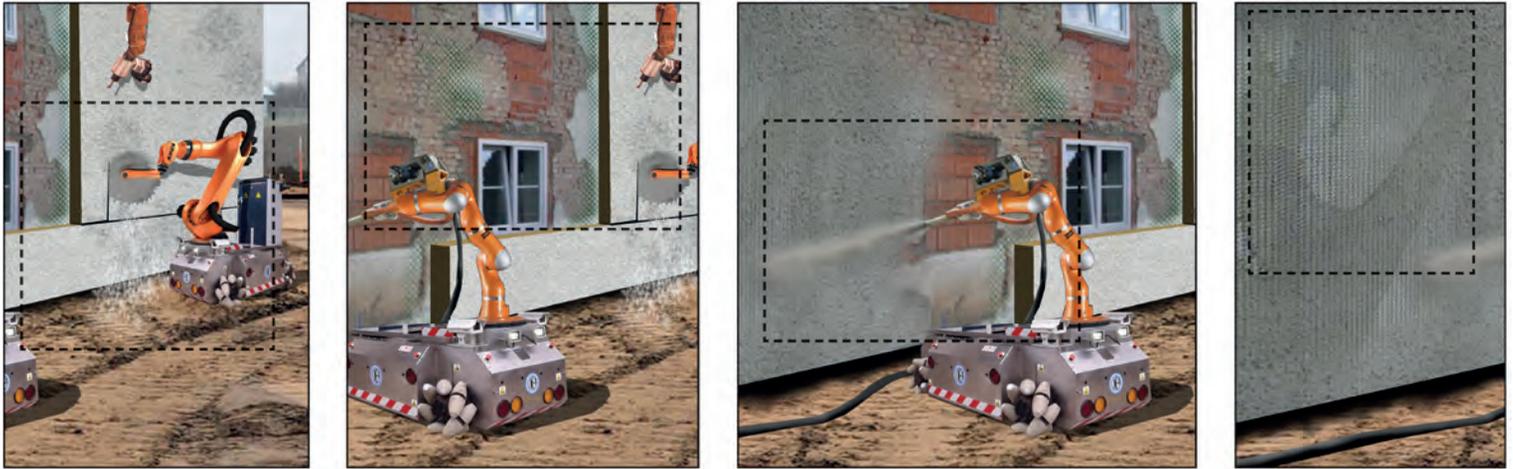


Bild 1: Baustelle der Zukunft mit mobiler Robotik – Robotic Façade Disassembly and Refurbishment System RFDRS.

Sigrid Brell-Cokcan, Daniel Haarhoff

Mehr Effizienz auf der Baustelle

Neuer Lehrstuhl für Individualisierte Bauproduktion

Die Bauproduktion auf der Baustelle hinkt der industriellen, vollautomatisierten Massenproduktion einzelner Bauteile massiv hinterher. Im neuen Forschungsfeld der „Baustelle der Zukunft“ werden mögliche Automatisierungspotenziale für die Bauindustrie sowohl in der Bauproduktion als auch auf der Baustelle untersucht.

Am neugegründeten Lehrstuhl für Individualisierte Bauproduktion IP erforscht ein interdisziplinäres Team aus Maschinenbauingenieuren, Informatikern und Architekten neue Technologien. Ihr Ziel: Bauproduktion und Baustelle durch den Einsatz von Robotik in Zukunft effektiver, attraktiver und sicherer gestalten.

Erste Forschungsergebnisse werden Hand in Hand mit einer neuen forschungsgeleiteten Lehre innerhalb der Fakultät für Architektur entwickelt. Studierenden der Architektur werden hier technologische Potenziale näher gebracht. Eine Ausbildung im visuellen Programmieren und in intuitiven digitalen Software-Umgebungen wie KUKA|prc (parametric robot control) erlauben ihnen, Robotik und

verschiedene Produktionsprozesse direkt in ihre Entwürfe einfließen zu lassen. In manuellen Versuchen erkunden sie Prozesse zur Materialbearbeitung. Mit selbst entworfenen Endeffektoren werden Fertigungsprozesse anschließend im Robotiklabor des Lehrstuhls von den Studierenden selbst programmiert. Auf diese Weise werden sie nicht nur an technische Potenziale für Automatisierung herangeführt, sondern auch an Fragen der Materialverarbeitung und Konsequenzen für die Gestaltung und Bauausführung.

Neue Maschinen für die Baustelle

Die Baustelle der Zukunft wird jedoch nicht nur Folgen für die Entwurfs-, Planungs- und Baupraxis haben. Vielmehr sind neue baustellentaugliche Automatisierungsansätze und Maschinen notwendig. Die Veranstaltung „Kinematics for Architects“ gibt den Studierenden einen Überblick zu Motoren, Getrieben und anderen kinematischen Systemen. Diese setzen sie in Skizzen und anschließend direkt in physische Modelle um, welche zum Teil unerwartete Ansätze offenbaren.

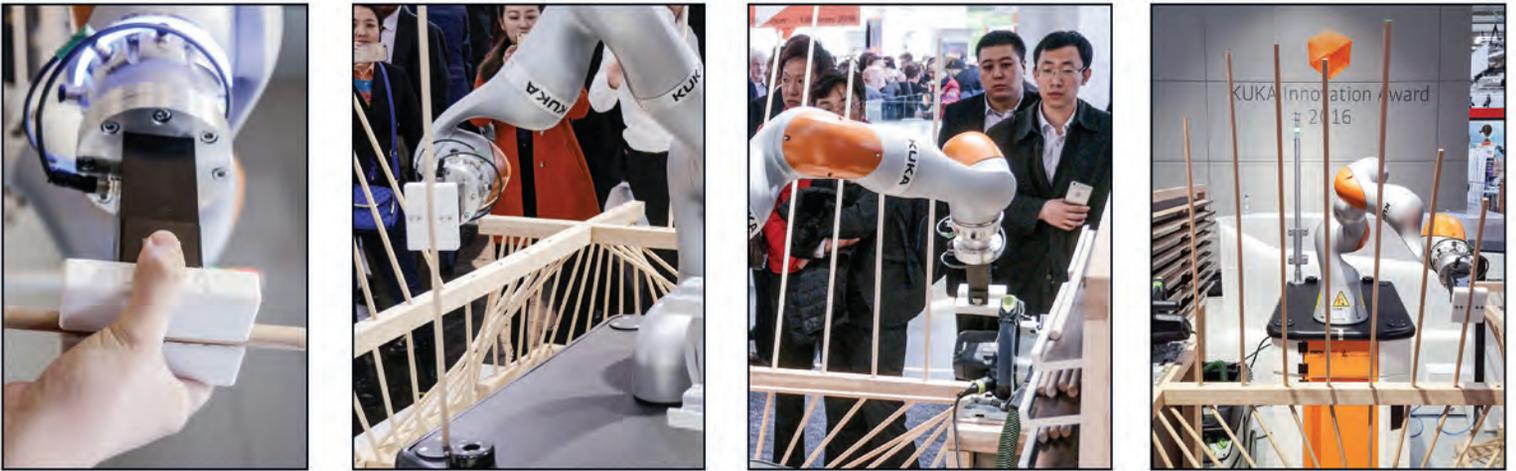


Bild 2: Robotergestützte Montage individueller Strukturen mit Hilfe von haptischer Programmierung.

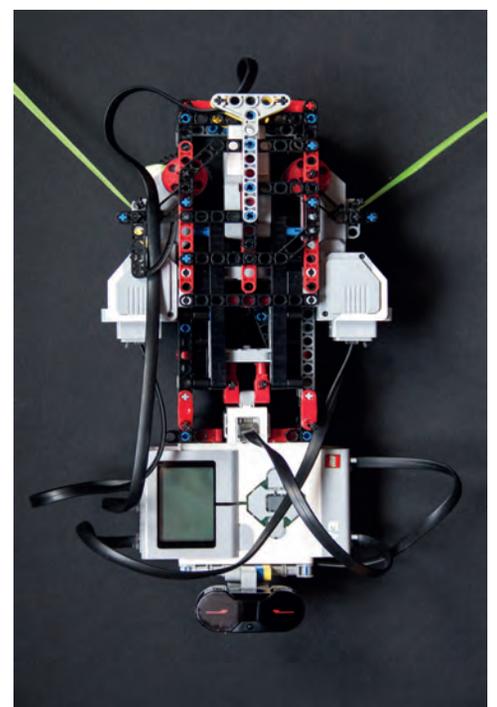
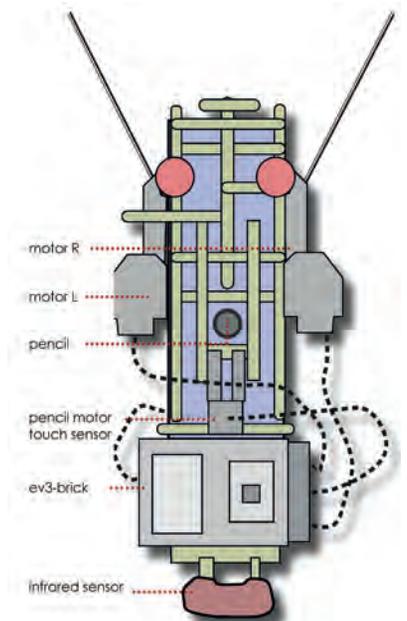
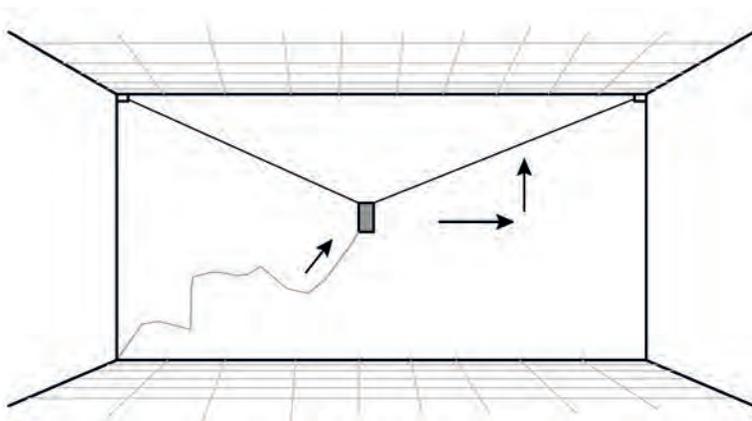


Bild 3: Ideenskizzen Malroboter. Modellfoto von Seilroboter, Malroboter „Plotbot“ im Rahmen der Lehrveranstaltung „Kinematics for Architects“.



Bild 4: Neue Robotertechnik bearbeitet inhomogenes Material und montiert individuelle Bauteile mit hohen Bautoleranzen ohne Bilderkennung oder zusätzliche Sensorik.

Foto: Peter Winandy

Ein wichtiges Thema ist zum Beispiel die Überwindung von großen Höhen. Hier sind bereits im ersten Seminar Ansätze zu Seilrobotern entstanden, die große vertikale Strecken bewältigen können und in einem ersten Modellversuch eine Wand bemalen. Diese Methode ist zukünftig auch in anderen Maßstäben und weiteren Baustellentätigkeiten anwendbar.

Der interdisziplinäre Dialog zwischen Ingenieuren und Architekten birgt Spannungen, häufig muss erst eine gemeinsame Sprache und ein Verständnis für die kreativen Prozesse der jeweiligen Fachrichtung gefunden werden. Diese Herausforderung wird den Lehrstuhl aufgrund seiner Diversität in den kommenden Jahren begleiten, dementsprechend wichtig sind auch die gewonnenen Erkenntnisse und das Verständnis auf beiden Seiten.

Haptische Programmierung

Die Baustelle stellt nicht nur neue Anforderungen an Roboter und ihre Plattformen. Die dynamische Umgebung der Baustelle verlangt

nach schnell adaptierbarer Programmierung. Während digitale Modelle die Programmierung der robotischen Systeme beschleunigen können, müssen in Zukunft auch Roboter als Informationsträger dienen. Nur so wird der derzeitige Informationsverlust von der digitalen Planung zur Ausführung auf der Baustelle überwindbar. Erst wenn Menschen ihre Expertise in Planung und Bau nahtlos von intelligenten Maschinen ausführen lassen können, werden wir die notwendige Auswirkung auf die gebaute Umwelt erreichen. Um handwerkliches Vermögen mit automatisierten Konstruktionen verbinden zu können, aber auch um schnell auf wandelnde Bau- und Umweltbedingungen zu reagieren, entwickelt der Lehrstuhl intuitive Programmieransätze. Entscheidend ist, dass die Programme nicht nur über Software, sondern auch über physische Elemente kontrolliert werden. Denn die haptische Komponente gibt ein direkteres Verständnis vom Prozess.

Neue Roboter mit eingebauten Kraft-Momenten-Sensoren ermöglichen neue Ansätze der Mensch-Maschine-Interaktion. Die eingebau-

ten Sensoren erlauben weitaus mehr als nur eine sichere physische Interaktion mit Nutzern. Diese Optionen werden im Projekt Dynamic Interactive robotic Assistant for Novel Applications DIANA in Zusammenarbeit mit dem Kybernetik-Cluster IMA/ZLW erkundet. Man will schnell und ohne große Datenmengen von digitalen Entwürfen zur Ausführung mit dem Roboter kommen. Das digitale Modell dient als Grundlage für parametrische Roboterprogramme. Wenn die Realität dann unweigerlich vom Modell abweicht, können Nutzer im wahrsten Sinne des Wortes eingreifen. Mit gezielter Weichschaltung der Achsen lässt sich der Roboter im relevanten Parameterraum führen und damit die Programmierung schnell anpassen. Diese neue Strategie eignet sich vor allem für Montageprozesse mit inhomogenen, natürlich gewachsenen Materialien wie zum Beispiel Holz. Bautoleranzen und Abweichungen des Materials können somit aktiv und adaptiv in den automatisierten Montageprozess integriert werden. Roboter werden zu intelligenten Hilfsassistenten in der Bauausführung.

Alte Bausubstanz wiederverwenden

Neben diesen Ansätzen zur Automatisierung der Baustelle ist ein Fokus in Lehre und Forschung die Untersuchung von Potenzialen der Dekonstruktion bestehender Gebäude. In enger Zusammenarbeit mit der Juniorprofessur für Rezykliergerichtetes Bauen entstehen am Lehrstuhl für Individualisierte Bauproduktion Entwurfsprojekte von Studierenden für das Projekt „Superlocal“ der niederländischen Baugesellschaft HEEMwonen in Kerkrade. Hier entwickeln die Studierenden Konzepte für alte Bausubstanzen, die nicht mehr den technischen Anforderungen entsprechen. In den Entwürfen sind moderne Wohnkonzepte entstanden, die mit rezyklierten Bauteilen gebaut werden können. Im Projekt „Superlocal“ soll die vorhandene

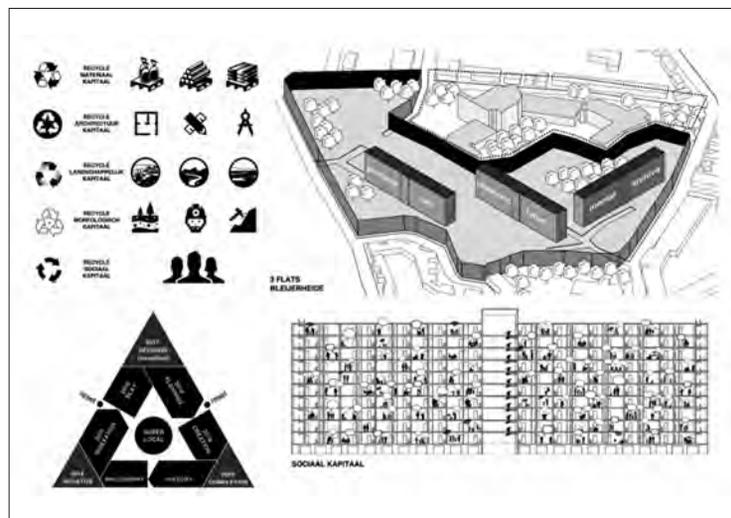


Bild 5: Neue Montage- und Demontagekonzepte für Superlocal/ HEEMwonen, oben als Modell, unten als Grafik. Grafik: HEEMwonen



Bild 6: Halbautomatisierter Materialauftrag zur Gestaltung von Schaumbetonoberflächen im Rahmen der Lehrveranstaltung „Production Processes for Architects“.

Foto: Peter Winandy



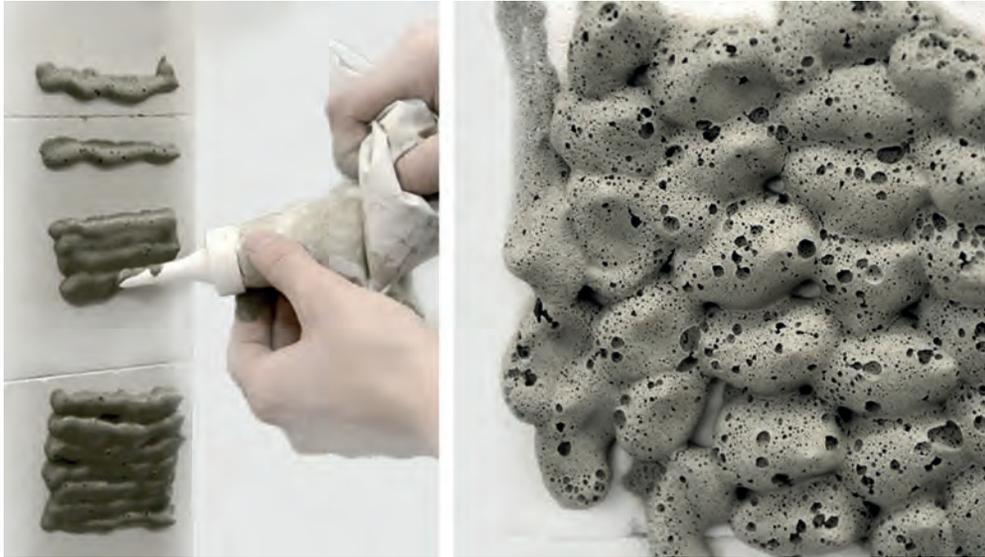


Bild 8: Durch Kraft-Momenten-Regelung sind völlig neue Konzepte einer Mensch-Maschinen-Interaktion möglich. Neue Robotertechnik erfüllt die korrekte Steckposition der Bauteile und die Bedienung der Materialbearbeitungsmaschine.

Foto: Peter Winandy



Bild 7: Tests zu Verarbeitungstechniken von wärmedämmendem Schaumbeton, entwickelt am Institut für Bauforschung ibac (oben). Auftragen des Schaumbetons mittels Spritztechnik auf mobiler Roboterplattform (unten).

Bausubstanz von zwei mehrgeschossigen Plattenbauten demontiert und wiederverwendet werden. Die Vision ist, das Einbringen von zusätzlichen Materialien auf die Baustelle zu vermeiden. Ein aufwändiger An- und Abtransport von alten und neuen Materialien, das Deponieren von mit Schadstoffen belastetem Bauschutt sollen so minimiert werden. Das ist eine Vision aus einem forschungsgeliteten Lehrformat, das ein großes Potenzial in der technischen Umsetzung verspricht. Erste Ansätze zur automatisierten Demontage von Hochhäusern sind in Japan bereits im Einsatz.

Teilaspekte dieser forschungsgeliteten Lehre werden zurzeit in verschiedenen Forschungsprojekten am Lehrstuhl für Individualisierte Bauproduktion in Zusammenarbeit

mit der Juniorprofessur für Rezykliergerichtetes Bauen betrachtet.

Erste Konzepte für Vollwärmedämmverbundfassaden sind zurzeit im Roboterlabor des Lehrstuhls im Rahmen des Forschungsprojekts Robotic Façade Disassembly and Refurbishment System RFDRS in der Testphase. Ein vorhandener Wandaufbau soll sicher, materialgerecht und qualitätskontrolliert auseinandergenommen werden. Des Weiteren soll in aktuellen Versuchen wärmedämmender Schaumbeton, der am Institut für Bauforschung ibac der Fakultät für Bauingenieurwesen entwickelt wird, mittels Spritztechnik oder 3D-Druckverfahren auf vorhandene Bausubstanzen als Ersatz von Wärmedämmverbundsystemen automatisiert aufgebracht werden. Hier werden unterschiedliche Verarbeitungstechniken auf ihre Automatisierungs-

potenzial überprüft und im Labor sowohl manuell, als auch mit prototypischen Endeffektoren auf mobiler Robotik erprobt.

Das spannende und neue Forschungsthema zur Automatisierung der „Baustelle der Zukunft“ ist ein interdisziplinäres Feld, das Forscher aus unterschiedlichsten Fakultäten und Fachbereichen an der RWTH Aachen zusammenführt, um das Thema Bauen zukunftsfähig zu machen.

Autoren

Univ.-Prof. Dr. techn. Sigrid Brell-Cokcan ist Inhaberin des Lehrstuhls für Individualisierte Bauproduktion.

Dipl.-Ing. Daniel Haarhoff ist Wissenschaftlicher Mitarbeiter am Lehrstuhl für Individualisierte Bauproduktion.



Kristian Arntz, Maximilian Wegener

Additive Fertigung löst Grenzen auf

Die wirtschaftliche Produktion von
individuellen Bauteilen ist möglich

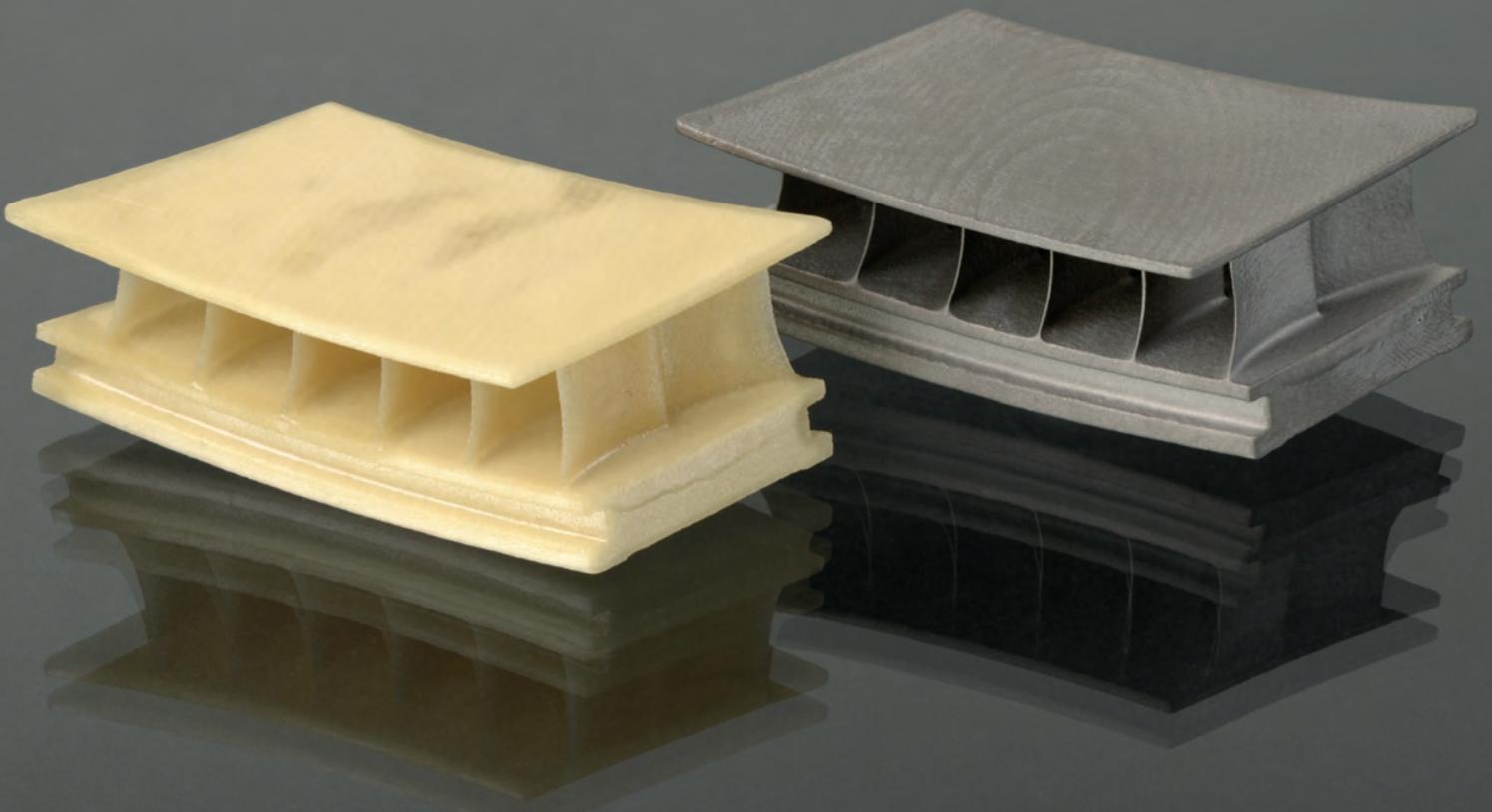


Bild 1: Turbinenschaufeln
Foto: Fraunhofer IPT

An heutige Produkte werden hohe Anforderungen hinsichtlich Komplexität und Individualisierung gestellt. Zusätzlich werden die Lebenszyklen der Produkte immer kürzer. Hieraus ergibt sich eine hohe Variantenvielfalt, woraus wiederum geringere Stückzahlen und eine Abkehr von klassischer Massenproduktion folgen. Gerade die Variantenvielfalt sowie der gestiegene und auch zukünftig weiter wachsende Bedarf an Komplexität führen bei klassischen Fertigungsverfahren zu höheren Kosten. Additive Fertigungsverfahren stellen einen vielversprechenden Lösungsansatz für diese Herausforderungen dar. Im Gegensatz zu konventionellen Verfahren,

die häufig Material abtragen, kann hier gezielt Material aufgetragen werden. So können auch komplexe Geometrien generiert werden. Hierfür wird Material schichtweise an Stellen aufgetragen, an denen das Bauteil entstehen soll, und mit bereits aufgebrachtem Material verbunden.

Durch dieses Verfahrensprinzip sind den Geometrien der Bauteile nahezu keine Grenzen gesetzt. Auch ist es problemlos möglich, die Geometrie eines Bauteils zum nächsten zu verändern, ohne dass dadurch zusätzlicher Aufwand entsteht. Daher sind additive Fertigungsverfahren hervorragend dafür geeignet, die stetig wachsende Nachfrage nach

Komplexität und Individualisierung zu erfüllen. Auf dem Weg zu einem industriell eingesetzten Fertigungsverfahren werden zurzeit neue Ansätze erforscht und bestehende weiterentwickelt, um die Prozessgeschwindigkeiten zu erhöhen und damit die Herstellungszeiten weiter zu verkürzen. Daneben werden die Fertigungsverfahren für immer mehr Werkstoffe angepasst, sodass das Bauteilspektrum stetig erweitert werden kann. Aufgrund der nahezu uneingeschränkten Geometriefreiheit und einem weiten Materialspektrum sind vollkommen neue Produkte denkbar, die derzeitige Produkte verdrängen, und vollkommen unbekannte Bedarfe erzeugen können, indem sie neue Funktionen ermöglichen.

Nicht nur schneller zum Prototyp

Die hohe Vielfalt der additiven Fertigungsverfahren ermöglicht es, verschiedene Produktlebenszyklen vom Entstehungsprozess bis hin zur Produktion sinnvoll zu verändern. Der Ursprung der additiven Verfahren liegt im Prototyping: In den frühen Phasen der Produktentwicklung können damit schnell realitätsnahe Prototypen gefertigt und so die Entwicklungszeiten verkürzt werden. Das Potenzial für diese Anwendung wird besonders deutlich, wenn berücksichtigt wird, dass häufig mehr als 25 Prozent der Produktentwicklungszeit auf die Herstellung von Prototypen und Mustern entfällt.

Die additiven Fertigungsverfahren wurden aber mittlerweile so weit entwickelt, dass sie nicht nur zur Herstellung von Prototypen genutzt, sondern auch für die Herstellung von Funktionsbauteilen eingesetzt werden können. Für die Produktion eignen sich die additiven Fertigungsverfahren besonders, wenn ihre Vorteile hinsichtlich verbesserter Eigenschaften der Produkte durch größere Geometriefreiheit, Leichtbaupotenzial oder hohe Verfügbarkeit genutzt werden.

Die großen Geometriefreiheiten werden durch das grundsätzliche Verfahrensprinzip der additiven Fertigungsverfahren möglich: Die Werkstücke werden schichtweise aus einzelnen Lagen aufgebaut. Je nach Größe, Position und Eigenschaften der Schichten entstehen mehr oder weniger sichtbare Aufbaustufen. Sie sind wesentlich von der gewählten Schichtdicke, der angewendeten Technologie und der Prozessstrategie abhängig. Typischerweise kommen die verfahrensspezifischen Stärken von additiven Fertigungsverfahren besonders dann zum Ausdruck, wenn komplexe Geometrien mit Gitterstrukturen oder Bauteile mit integrierter

Funktion hergestellt werden sollen. Hierin unterscheiden sich die additiven von konventionellen Fertigungsverfahren. Bei letzteren führt eine erhöhte Komplexität der Geometrie unvermeidlich zu höheren Kosten. Es sind einfach mehr Prozessschritte oder längere Prozesse erforderlich.

Neue Herausforderungen in der Produktion

Additive Fertigungsverfahren müssen in Abhängigkeit von der Phase des Lebenszyklus – von der Produktentwicklung bis zur Produktion – unterschiedlichen Anforderungen hinsichtlich des verarbeiteten Werkstoffs, der Stückzahl und der Funktionsmerkmale genügen. So werden beispielsweise Prototypen in der Vorentwicklungsphase für Design- und Ergonomiestudien sowie zur Verifikation der Konstruktion und Bauteilauslegung, aber auch zur Kommunikation mit Kunden genutzt. Währenddessen können mit Funktionsmustern und technischen Prototypen Funktion und Einsatztauglichkeit geprüft werden, sie eignen sich aber auch für grundsätzliche Beanspruchungstests sowie zur Planung der Fertigung und Überprüfung der Montage. Aber wie können additive Fertigungsverfahren in konventionelle Prozessketten eingebunden werden? Voraussetzung ist etwa eine hardwareseitige Durchgängigkeit in konventionelle Prozessketten und die Integration der Fertigungsverfahren in Technologieplattformen. Auch müssen das Design oder die Konstruktionsdaten, die in konventionellen CAD-Daten vorliegen, mittels konventioneller CAM-Programmierung in digitale Informationen überführt werden. Nur so entsprechen sie dem schichtweisen Prinzip der additiven Fertigungsverfahren. Nur basierend auf diesen Informationen kann eine durchgängige Prozesskette gewährleistet werden.

Für alle Branchen geeignet

Die fertigungstechnischen Randbedingungen der additiven Fertigungsverfahren, die charakteristische Stufenstruktur und die damit einhergehende Oberflächenqualität erfordern eine optimal abgestimmte Prozesskettengestaltung hinsichtlich der Prozessauswahl und -auslegung. Einerseits brauchen die häufig schmelzmetallurgisch hergestellten Bauteile eine nachgelagerte Wärmebehandlung, um die mechanischen Eigenschaften des Werkstoffs einzustellen. Andererseits ist eine trennende Nachbearbeitung durchzuführen, um die notwendige Oberflächenqualität zu erzielen.

Aus den jeweiligen Prozessstellgrößen aller verwendeten Fertigungsverfahren ergeben sich die Prozessergebnisgrößen. Für additiv hergestellte Bauteile sind dies die Bauteildichte, die Maß- und Formgenauigkeit sowie die Oberflächenqualität. Für die Wärmebehandlung sind es die mechanischen Eigenschaften, die in erster Linie durch den verarbeiteten Werkstoff und das vorliegende Gefüge bestimmt werden. Mit einer trennenden Nachbearbeitung wird eine verbesserte Oberflächenqualität erreicht, die den zuvor gestellten Anforderungen entspricht und damit die Einsatzfähigkeit des Bauteils sicherstellt.

Daher müssen nicht nur die Fertigungsverfahren weiterentwickelt werden, es sind insbesondere auch Analysen und Bewertungen hinsichtlich der Prozessergebnisse und Prozesszeiten aller Fertigungsverfahren notwendig. So wird es möglich, vor technologischem und wirtschaftlichem Hintergrund einer solchen Anwendung geeignete Prozesse auszuwählen und auszulegen, mit denen die Anforderungen und Bedarfe der Kunden vollständig erfüllt werden. Die Vorgehensweise und die Lösungen sind branchenübergreifend nutzbar und nicht auf einzelne Anwendungsfälle reduziert. So reichen die Anwendungen von der Fertigung von Turbinenschaufeln bis zu Produkten aus dem Automobilbereich, in dem sie zumeist im prototypischen Bereich eingesetzt werden.

All dies zeigt, vor welche Herausforderungen produzierende Unternehmen gestellt sind. Das beginnt schon bei der Frage nach einem sinnvollen Einsatz dieser Fertigungsverfahren. Verschiedene Institute der RWTH Aachen und auch An-Institute, wie zum Beispiel das Fraunhofer-Institut für Produktionstechnologie IPT und das Fraunhofer-Institut für Lasertechnik ILT oder die ACAM GmbH (Aachen Center for Additive Manufacturing), suchen darauf spezifische Antworten.

Autoren

Dr.-Ing. Kristian Arntz ist Abteilungsleiter Lasermaterialbearbeitung am Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik IPT.

Dipl.-Ing. Maximilian Wegener ist Gruppenleiter Additive Fertigungsverfahren und Laseroberflächenmodifikation am Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik IPT.

3D-Druck – Alles nur ein großer Hype?

Mit additiven Fertigungsverfahren, kurz AM, auch bekannt als 3D-Druck, erfährt die Produktion eine bemerkenswerte Innovation. Es besteht die Möglichkeit, konventionelle Fertigungstechniken zu ersetzen und der Produktion völlig neue Wege zu eröffnen. Die Möglichkeiten reichen vom Einsatz in der Industrie bis hin zum Erstellen individueller Produkte in den eigenen vier Wänden. Die Technologie könnte eine Revolution für Geschäftsmodelle, Produkte und Lieferketten bedeuten. Der Hype ist groß. Doch die Frage danach, wo der Weg wirklich hinführt, bleibt. Das Potenzial scheint eindeutig da zu sein, jedoch sind Aussagen über die Zukunft der additiven Fertigungsverfahren eher ungewiss und bisher eher spekulativer Natur. Die Studie „The Future of Additive Manufacturing: Trends and Developments for 2030“ sollte hier Abhilfe schaffen.

Was sind additive Fertigungsverfahren?

Anders als bei der konventionellen Fertigung wird hier kein Material weggenommen, sondern Schicht für Schicht aufgetragen. Dies geschieht durch einen 3D-Drucker, der das formlose oder formneutrale Material auf Basis von digitalen Dateien zu einem Objekt zusammenfügt. Der virtuelle Bauplan für das erstellte Objekt ist eine 3D-CAD-Datei. So können komplexe und individuelle Produkte hergestellt werden. Diese Technik wird bisher meist in der Entwicklung von Prototypen eingesetzt.

Große Medienpräsenz – warum?

Die Individualität und Flexibilität machen den 3D-Druck so attraktiv. Das Bedürfnis nach individualisierten Produkten wächst, spezifische Wünsche können umgesetzt werden.

Es müssen keine Kompromisse eingegangen werden. Die Etablierung additiver Fertigungsverfahren wäre die Antwort auf bestehende Kundenbedürfnisse dieser Art.

Weitere Vorteile bestehen in der Einsparung von Material und Energie, neuen Designmöglichkeiten, der Qualität der Produkte und der schnellen Herstellung komplexer Werkstücke. Außerdem könnte die Technik in bereits bestehenden Anwendungsbereichen wie der Medizintechnik, der Luft- und Raumfahrttechnik sowie im Automobilbau zum Einsatz kommen und dort Vorteile sichern. 3D-Druck könnte entscheidend die Wettbewerbsfähigkeit von Volkswirtschaften sicherstellen. Die Vielzahl an Vorteilen erklärt die starke Medienpräsenz. Jedoch gibt es noch viele offene Fragen bezüglich des Urheberrechts und des Verbraucherschutzes, fehlender Standards und Normen. Zudem gibt es einen deutlichen Unterschied in der Nutzung in der Industrie und durch Verbraucher.

Diese Visionen und auch die Frage darüber, inwiefern die AM-Technologie bestehende Muster tatsächlich beeinflussen kann, sind nicht neu. Es sind deutliche Parallelen zur Open-Source-Initiative des Internets erkennbar. Werden additive Fertigungsverfahren also eine ähnliche Revolution für die Produktion hervorrufen, wie es das Internet für die Informationsbranche getan hat?

Wie kann die Zukunft aussehen?

Zur Beantwortung dieser Frage sind fundierte Fakten und akademisch aussagekräftige Zukunftsprognosen vonnöten. Im Rahmen der Studie hat die TIME Research Area der RWTH Aachen Zukunftsszenarien für AM generiert. Mit dem Schwerpunkt Industrie wurden Schlüsseltreiber und Felder für die

Entwicklung additiver Fertigungsverfahren identifiziert. Hierbei wurden Experten mit wissenschaftlichem und professionellem Hintergrund im Rahmen einer Delphi-Studie – einer Methode zur systematischen Befragung von Meinungen und Einschätzungen hinsichtlich der Zukunft – befragt, um daraus Zukunftsszenarien abzuleiten.

Aus einer Vielzahl möglicher Trends für das Jahr 2030 wurden letztendlich 18 Zukunftsprojektionen ausgewählt. Sie dienten dazu, ein umfängliches Szenario in 2030 abzubilden. Insgesamt wurden diese Thesen inhaltlich in vier Felder der Entwicklung angeordnet, welche die künftige Gesellschaft ausmachen: „Produktion und Lieferketten“, „Geschäftsmodelle und Wettbewerb“, „Konsumenten und der Markt“, „Patente und Regulierung“.

Diese vier Felder beschäftigten sich inhaltlich mit unterschiedlichen Thesen. Beim Thema „Produktion und Lieferketten“ ging es um industrienahen Entwicklungen wie der Lokalisation von AM-Produktionskapazitäten. Werden die Unternehmen selber Kapazitäten besitzen oder sich doch zu so genannten Hubs zusammenschließen und Kapazitäten zugunsten einer möglichst hohen Maschinenauslastung teilen? Andere Fragen drehten sich um Produktionsstandorte beziehungsweise um die Deglobalisierung und um den Einfluss von AM auf den ökologischen Fußabdruck. Innerhalb des Feldes „Geschäftsmodelle und Wettbewerb“ wurden betriebswirtschaftliche Themen bearbeitet. Es ging unter anderem darum, wie Unternehmen in 2030 ihre Wettbewerbsvorteile generieren können, da hier oftmals ein Wechsel von Produktionsfähigkeiten hin zu Designfähigkeiten und dem Zugang zu Netzwerken vorhergesagt wird.



Eine wichtige Entwicklung in der Zukunft könnten natürlich von Grund auf neue Möglichkeiten für Geschäftsmodelle sein. Für Deutschland als eine Nation mit führenden Kompetenzen im Bereich der Produktion wird es wichtig sein, hier weiterhin ganz oben mit dabei zu sein.

Das dritte Feld befasste sich mit dem Kunden und möglichen Änderungen seiner Bedürfnisse. Hier ist es wichtig herauszufinden, wie groß der Markt rund um AM eigentlich sein wird. Weitere interessante Aspekte waren, ob Konsumenten Produkte zukünftig in Form von Design-Files an Stelle von physischen Produkten beziehen und einhergehend damit auch, ob sie privat 3D-Druckgeräte nutzen werden.

Das vierte und letzte Feld beschäftigte sich mit Patentrechten und Regulierungsaspekten und erörterte, inwieweit konventionelle Patente noch oder gerade nicht mehr anwendbar sind. Wie wird dies die Entwicklung von AM beeinflussen?

Beispiele einer Zukunftsprojektion:

„In 2030 wird, über alle Industrien hinweg, vermehrt zu einer lokalen Produktion übergegangen, welche durch AM ermöglicht wird. Globale Produktionsketten werden immer weniger werden und es wird zur Deglobalisierung von Wertketten kommen.“

„In 2030 wird Deutschland unter den Top5 führenden globalen Akteuren im Bereich der industriellen AM Technologien sein, da das bestehende Umfeld (entwickelnde sowie anwendende Unternehmen und Forschungsinstitute) und Know-how bereits heute vorhanden sind und eine gute Basis bilden.“

Nachdem die genannten 18 Zukunftsprojektionen recherchiert und gebildet worden sind, war der nächste Schritt die Befragung von Experten aus Wissenschaft und Industrie in der genannten Delphi-Studie hinsichtlich ihrer geschätzten Eintrittswahrscheinlichkeit sowie deren Einfluss sowohl auf die Industrie, als auch ihre gesellschaftlichen Einflüsse. Als Ergebnis sollen validierte Zukunftsszenarien für das gesamte gesellschaftliche System in 2030 gebildet werden.

Bild 1: Was bedeutet der Vormarsch von 3D-Druckern für Unternehmen und Start-Ups? Durch die technologischen Möglichkeiten entstehen schnell Prototypen und finale Produkte – das Start-Up Heelena entwickelt mit Hilfe des 3D-Drucks wandelbare High-Heels. Foto: Peter Winandy

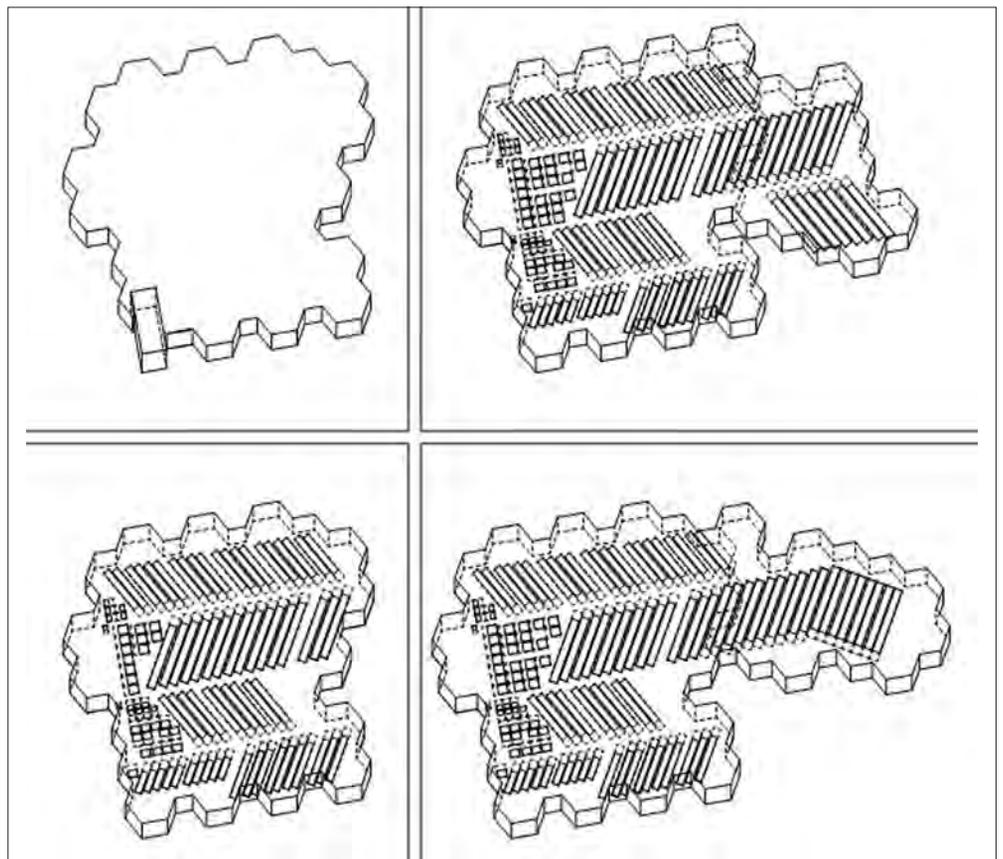
Autoren

Ruth Jiang, M. Sc., ist Wissenschaftliche Mitarbeiterin am Lehrstuhl für Betriebswirtschaftslehre, insbesondere Technologie- und Innovationsmanagement.

Univ.-Prof. Dr.rer.pol. Frank Thomas Piller ist Inhaber des Lehrstuhls für Betriebswirtschaftslehre, insbesondere Technologie- und Innovationsmanagement.

Visionen für die Fabrik der Zukunft

Studierende entwickeln zukunftsweisende, interdisziplinäre Gebäudekonzepte



Der Industriestandort Deutschland steht vor tiefgreifenden Veränderungen, die zu neuen Herausforderungen bei der Konzeption, Planung und Realisierung von Fabriken führen. Diese Aufgaben sind so komplex und weitreichend, dass eine monodisziplinäre Bearbeitung keine hinreichenden Lösungen hervorbringen kann. Deshalb arbeiten Wissenschaftler und Studierende der RWTH Aachen in interdisziplinären Teams aus Architekten, Bauingenieuren, Produktions- und Energietechnikern gemeinsam an der Entwicklung der Fabrik der Zukunft.

Die künftigen Veränderungen der industriellen Produktion in Deutschland werden maßgeblich von zwei starken Trends beeinflusst: der Industrie 4.0 und der Urbanisierung. Das von der Bundesregierung initiierte Zukunftsprojekt Industrie 4.0 soll vor allem die Wettbewerbsfähigkeit des Hochlohnstandortes Deutschland durch die Informatisierung und Digitalisierung der industriellen Produktion sichern. Die Smart Factory ist das zentrale Konzept dieser Zukunftsstrategie. Sie ist eine selbstorganisierende, intelligente Fabrik, in der Maschinen, Produkte und Dienste miteinander in Echtzeit kommunizieren. Sie zeichnet sich durch eine hohe Wandlungsfähigkeit und

Bild 1: Ein hexagonales Grundmodul ermöglicht eine kleinteilige und individuelle Erweiterung in sechs Richtungen.
Quelle: G. Volpicelli, A. Steffens, 2014

Flexibilität, einen effizienten Ressourceneinsatz, ergonomische Arbeitsumgebungen und eine starke Integration von Kunden in den Produktionsprozess aus. Wenngleich der Mensch im Mittelpunkt der Fabrik der Zukunft steht, spielen Industrieroboter in diesem Zusammenhang eine entscheidende Rolle, da sie durch ihre Flexibilität, Präzision und Schnelligkeit in der Lage sind, den zukünftigen Produktionsanforderungen gerecht zu werden. Zugleich unterstützen sie den Fabrikarbeiter optimal in seiner Arbeit.

Die Fabrik zieht in die Stadt

Doch nicht nur das Fabrikgebäude selbst, auch der Standort der Fabrik wird sich im Kontext der zunehmenden Urbanisierung Deutschlands wandeln. Bereits heute leben 74,6 Prozent aller Einwohner Deutschlands in Städten – Tendenz steigend. Die Nähe zu Endkonsumenten und hochqualifizierten Arbeitnehmern macht eine städtische oder stadtnahe Produktion für Industrieunternehmen attraktiv. Zunehmend siedeln sich Fabriken wieder in Städten an.



Bild 2: Anordnung von Oberlichtern in der Dachebene zur natürlichen Belichtung des Innenraums und als Träger von geneigten Solarpaneelen.

Quelle: A. Willam, M. Fernandez, 2015

Industrie 4.0 und die zunehmende Urbanisierung werden die Arbeitswelt sowie das Bild der Fabrik in Zukunft maßgeblich verändern. In diesem dynamischen Umfeld bedarf es innovativer, ganzheitlicher Fabrikkonzepte, die konsequent interdisziplinär geplant und integriert bearbeitet werden. Insbesondere die kohärente Abstimmung von Produktionsanlagen und baulichen Strukturen zur optimalen Ausnutzung der vorhandenen Ressourcen, sowie die Prognose zukünftiger Wandlungsbedarfe von Produktionsstätten lassen sich ausschließlich im interdisziplinären Dialog zielführend entwickeln.

An der RWTH wird dieser Austausch seit 2013 im Rahmen einer gemeinsamen Lehrveranstaltung gepflegt und fortlaufend erweitert. Hieran sind der Lehrstuhl für Tragkonstruktionen, der Lehrstuhl für Baubetrieb und Projektmanagement, der Lehrstuhl für Produktionssystematik des Werkzeugmaschinenlabors WZL und das Institute for Energy Efficient Buildings and Indoor Climate vom E.ON Energy Research Center beteiligt. Unter möglichst realitätsnahen Planungsbedingungen, zum Teil anhand konkreter Bauprojekte und in Zusammenarbeit mit Industriepartnern, entwickeln die studentischen Projektteams im Laufe eines Semesters Konzepte für Industriebauten, die die Aspekte der Industrie 4.0 sowie der urbanen Produktion aufgreifen. Ein Fokus liegt dabei auf baulichen Strategien für den Mittelstand, da hier bisher konkrete Handlungsanweisungen zur Umsetzung zukunftsfähiger Fabrikstrukturen und Beispiellarchitekturen fehlen. Der Einsatz von BIM – Building Information Modeling – im Pla-

nungsprozess ermöglicht die Zusammenarbeit aller Disziplinen in einem ganzheitlichen, digitalen Gebäudemodell und stellt daher eine vielversprechende Plattform für interdisziplinäre Planungsprojekte dar. Im Rahmen der Lehrveranstaltung werden BIM-Strategien genutzt, um relevante Daten aller beteiligten Planer im digitalen Gebäudemodell, der virtuellen Fabrik, zu speichern und miteinander zu verknüpfen. So werden Redundanzen vermieden und Kollisionspunkte frühzeitig sichtbar gemacht.

Die Fabrik passt sich an

Die Wandlungsfähigkeit von Fabrikgebäuden ist infolge der immer schneller werdenden Produktionszyklen ein wichtiger Indikator für die langfristige Nutzbarkeit von Produktionsstätten. Bauliche Komponenten wie das Tragwerk oder die Gebäudehülle haben signifikant längere Nutzungsdauern als die Produktionsanlagen im Innern einer Fabrik. Sie müssen daher in der Lage sein, sich an ständig neue Produktionslayouts anzupassen, um die langfristige Nutzung einer Fabrik zu ermöglichen. Da mit einer hohen Wandlungsfähigkeit oftmals auch hohe Kosten verbunden sind, liegt der Fokus beim Entwurf von Fabrikgebäuden auf einer bedarfsgerechten Wandlungsfähigkeit, die bauliche Veränderungen in einem realistischen Ausmaß ermöglichen und dabei möglichst keine Produktionsstopps verursachen soll. Additiv erweiterbare Tragstrukturen und modular aufgebaute Hüllsysteme ermöglichen eine bauliche Erweiterung mit geringem Aufwand sowie Störpotenzial. Und sie schaffen bei entsprechender Planung

auch die Voraussetzungen für eine unabhängige Erweiterung unterschiedlicher Produktionsbereiche.

Ein effizienter Ressourceneinsatz beim Bau und Betrieb von Fabrikgebäuden ist vor dem Hintergrund der Ressourcenknappheit von großer Bedeutung. Auf baulicher Ebene können durch eine Vielzahl an Parametern entlang aller Phasen der Fabrikplanung Maßnahmen zur Steigerung der Ressourceneffizienz getroffen werden. Dazu gehören neben einer effizienten Ausrichtung des Fabrikgebäudes zur Nutzung von Solarenergie und Optimierung der natürlichen Beleuchtung auch die Grundrissgestaltung und die Wahl der Bauweise und des Hüllmaterials sowie der gebäudetechnischen Anlagen.

In der Fabrik der Zukunft steht der Mensch als hochqualifizierter Träger von Fachwissen und zentraler Entscheider im Mittelpunkt der Betrachtung. Während die physische Beanspruchung des Fabrikarbeiters weiter sinken wird, werden die kognitive und organisatorische Anstrengung steigen. Diese neue Rolle des Fabrikarbeiters muss in ergonomischen, innovations- und kommunikationsfördernden Arbeitsumgebungen eine bauliche Entsprechung finden. Eine optimale Lösung: Zentral angeordnete Arbeitsbereiche in direkter Nähe zum Produktionsprozess, die gleichzeitig den Anforderungen an Lärmschutz und Beleuchtung genügen. Sie sollen ebenso ein angenehmes Raum- und Mikroklima bereitstellen und formelle sowie informelle Kommunikation fördern. Gleichzeitig soll das Fabriklayout flexibel bleiben. Die Anordnung von Zonen, die den Außenraum wie etwa begrünte Innenhöfe

Bild 3: Zentraler Arbeitsbereich flankiert von zwei Innenhöfen als Entscheidungs- und Steuerzentrale der Fabrik.
 Quelle: L. Wieloch, 2014

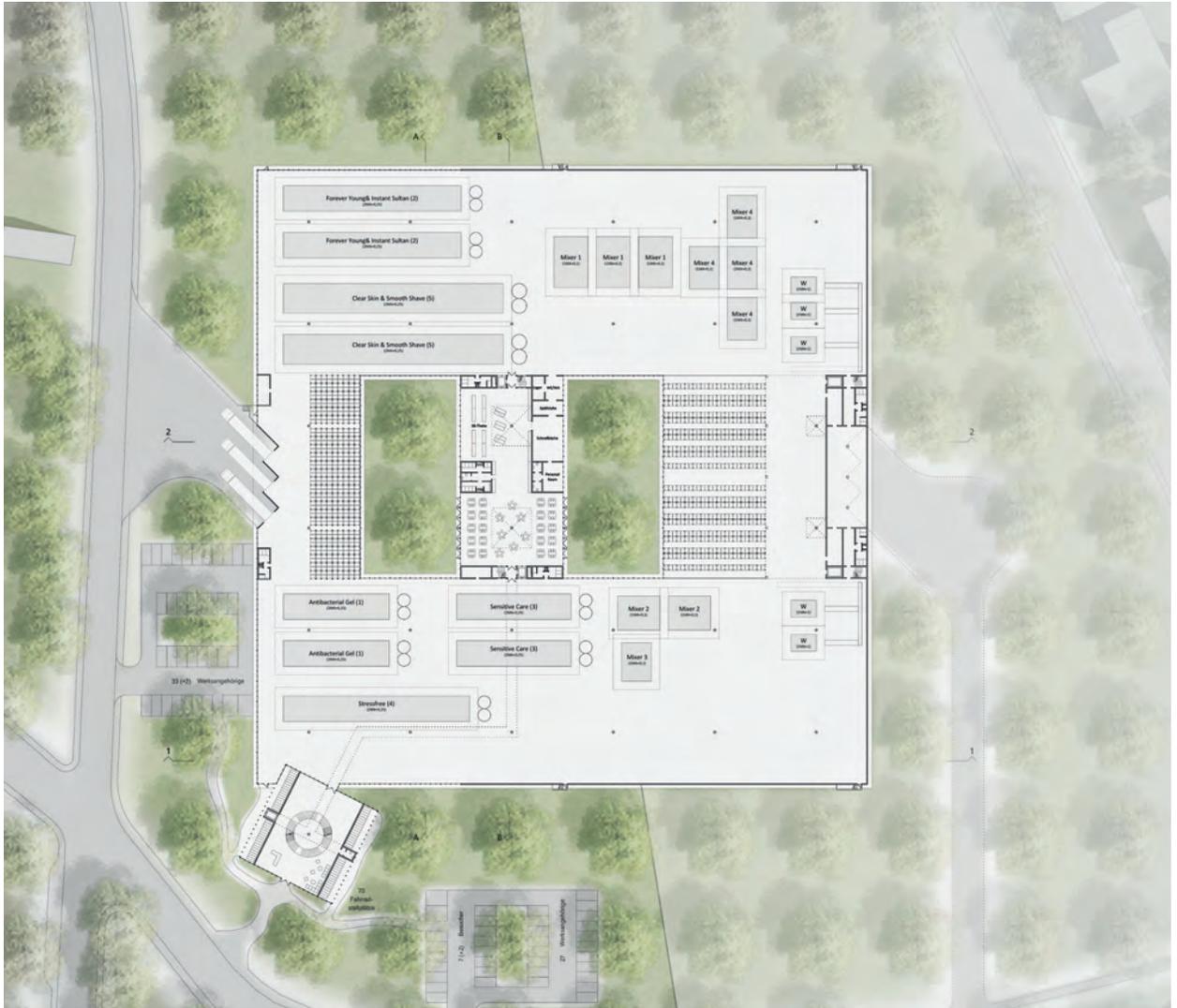
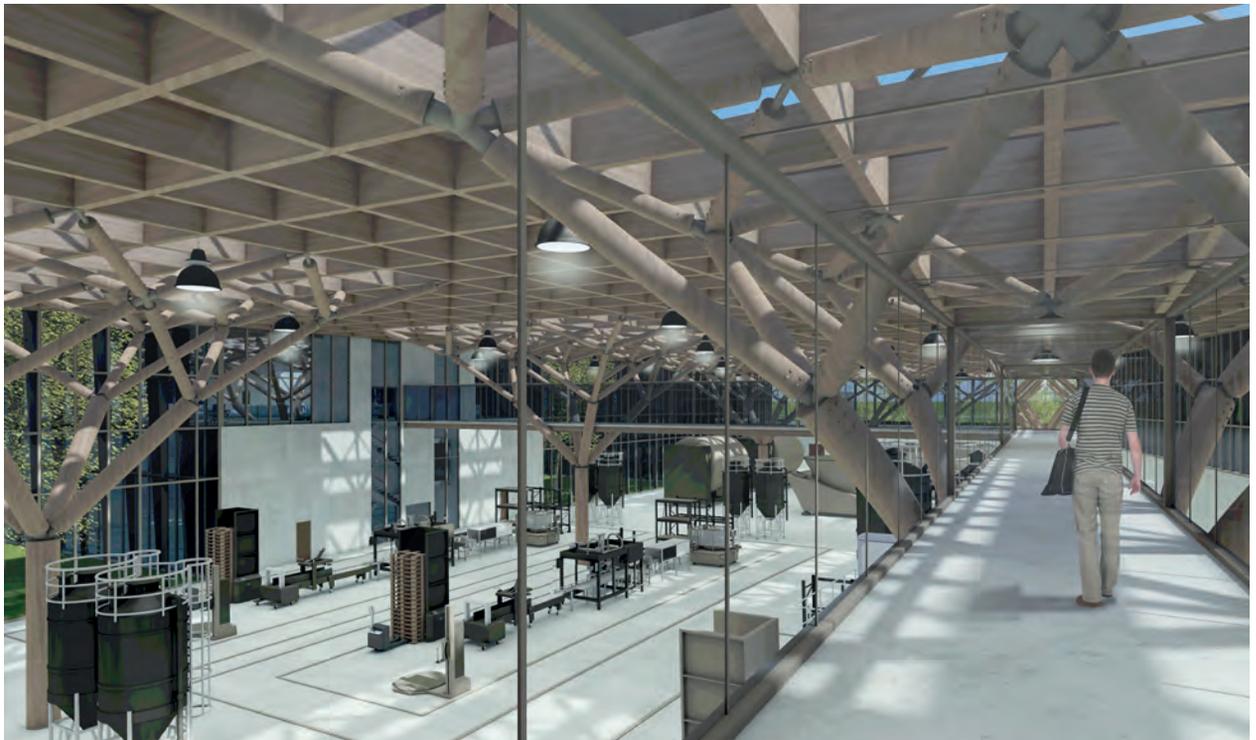


Bild 4: Vertikale Trennung von Produktion und Besucherebene mit Hilfe einer verglasten Galerie.
 Quelle: L. Wieloch, 2014



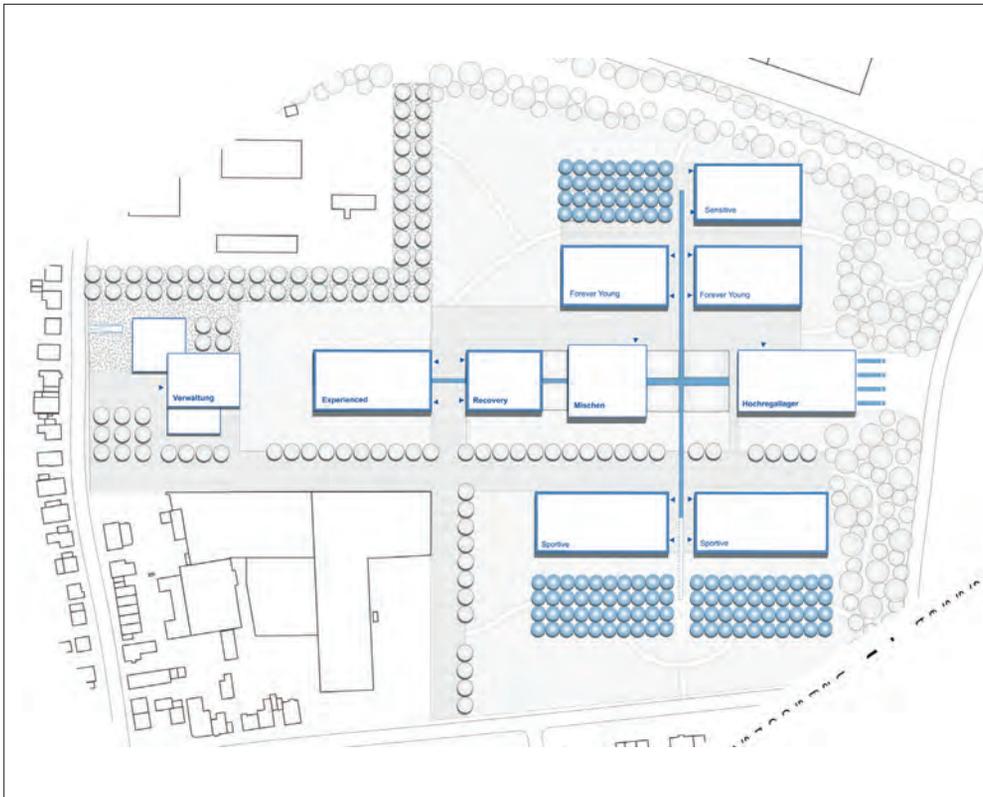


Bild 5: Fabrik-Campus mit öffentlicher Parkfläche.
Quelle: M. Ebberts, M. Modes, 2013

einbeziehen, können in kompakten, großvolumigen Fabrikstrukturen Arbeitsbereiche schaffen, die diesen Anforderungen entsprechen.

Der Kunde kommt in die Fabrik

Eine Öffnung der Fabrik für Kunden und Geschäftspartner ist im Zusammenhang mit Industrie 4.0-Prozessen von großer Bedeutung für die kontinuierliche Weiterentwicklung von Produkten und Produktionsprozessen. Die bauliche Herausforderung besteht darin, die Abläufe möglichst transparent zu gestalten, ohne dabei die Produktionsprozesse zu beeinträchtigen oder Besucher zu gefährden. Durch eine vertikale Trennung von Shopfloor und Laufwegen mit Hilfe von verglasten Galerien oder einer Wegführung über spezielle Besucherstege werden diese entgegengesetzten Interessen optimal miteinander verknüpft.

Die Integration von Produktionsstätten in kleinteilige, städtische Strukturen als Folge der zunehmenden Urbanisierung erfordert neuartige Implementierungsstrategien, um ein Nebeneinander von Wohnen und Produktion zu ermöglichen. Dies wird beispielsweise möglich, wenn einzelne Unternehmens- und Produktionsbereiche in einem so genannten Fabrik-Campus räumlich getrennt werden. In einer Campus-Struktur können große Bauvolumen aufgeteilt und so entstehende

Freiflächen für Anwohner nutzbar gemacht werden. Ist eine bauliche Trennung nicht möglich, lässt sich das Bauvolumen durch Versprünge in der Dachlandschaft oder der Fassade optisch verkleinern. So passt sie sich an die umgebende Bebauung an.

Die räumliche Nähe zum Kunden in städtischen Fabrikstandorten kann das Fabrikgebäude zum Werbeträger machen. Im Rahmen von Corporate Architecture Strategien wird das Fabrikgebäude dabei so gestaltet, dass es als Landmarke wirkt, die die Werte des Unternehmens widerspiegelt oder auf die produzierten Produkte verweist. Eine präzise durchdachte Corporate Architecture kann die emotionale Bindung von Kunden und Mitarbeitern an das Unternehmen signifikant erhöhen.

Die Fabrik der Zukunft als ausgesprochen komplexes Planungsobjekt kann aufgrund der vielschichtigen Einflüsse und Wechselwirkungen nur im interdisziplinären Kontext geplant werden. Diese interdisziplinäre Zusammenarbeit erfordert neuartige Denk- und Arbeitsformen, die idealerweise schon während des Studiums erlernt werden. Fachübergreifende Lehrangebote mit Projektcharakter und klarem Praxisbezug durch die Einbindung von Industriepartnern generieren eine Vielzahl von Visionen für die Fabrik der Zukunft und leisten einen wichtigen Beitrag zum wissenschaftlichen Diskurs.

Autoren

Franziska Moser, M. Sc., Dipl.-Ing. Susanne Hoffmann und Dipl.-Ing. Baris Cokcan sind Wissenschaftliche Mitarbeiter am Lehrstuhl für Tragkonstruktionen.

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Martin Trautz ist Inhaber des Lehrstuhls für Tragkonstruktionen.

René Huppertz, M. Sc., ist Wissenschaftlicher Mitarbeiter am Lehrstuhl für Baubetrieb und Projektmanagement,

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Rainard Osebold ist Inhaber des Lehrstuhls für Baubetrieb und Projektmanagement.

Dipl.-Ing. Katrin Ansorge und Dipl.-Ing. Tanja Osterhage sind Wissenschaftliche Mitarbeiterinnen am Institute for Energy Efficient Buildings and Indoor Climate des E.ON Energy Research Center.

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Dirk Müller ist Inhaber des Lehrstuhls für Gebäude- und Raumklimatechnik und leitet das Institute for Energy Efficient Buildings and Indoor Climate des E.ON Energy Research Center.

Dr.-Ing. Peter Burggräf und Dipl.-Wirt.-Ing. Alexander Marks sind Wissenschaftliche Mitarbeiter am Lehrstuhl für Produktionssystematik des Werkzeugmaschinenlabors WZL.



Bild 6: Diskussion der Entwurfsalternativen im interdisziplinären Team. Foto: Peter Winandy



Zwei Gewinner bei Logistik Masters 2015

Jan Brinker, Wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Getriebetechnik und Maschinendynamik, hat den Logistik Masters Wettbewerb 2015 gewonnen. Der 29-Jährige Wirtschaftsingenieur setzte sich gegen 1.600 Teilnehmer aus dem deutschsprachigen Raum durch. Brinker, der im Vorjahr Platz zwei erreichte, gewinnt ein Preisgeld in Höhe von 6.000 Euro.

Den zweiten Platz und ein Preisgeld von 2.500 Euro sicherte sich Sami Charaf Eddine. Auch er ist Absolvent im Wirtschaftsingenieurwesen, erreichte schon 2014 den ersten Platz bei Logistik Masters und promoviert aktuell ebenfalls am Institut für Getriebetechnik und Maschinendynamik unter Leitung von Univ.-Prof. Dr.-Ing. Dr. h.c. Burkhard Corves.

Neues Elektromobilitätslabor

Das Elektromobilitätslabor auf dem Campus Melaten wurde nach neun Monaten Bauzeit fertiggestellt. Das Land NRW sowie das Ziel 2-Programm des Europäischen Fonds für Regionale Entwicklung (EFRE) förderten die Errichtung des Gebäudes mit 3.600 Quadratmetern. Das Investitionsvolumen für Büroräume, eine Halle mit einem Batterieteststand sowie ein Maschinenpark inklusive der Einrichtungen liegt bei rund acht Millionen Euro. Über 60 Experten aus Wissenschaft und Wirtschaft werden im Elektromobilitätslabor tätig sein.

Das Labor legt den Fokus auf die Komponentenentwicklung und die Prototypenproduktion rund um den elektrischen Antriebsstrang: Batteriezellenproduktion, Batteriesystem, Leistungselektronik, Steuerung und Elektromotor. Primäres Ziel ist es, die deutsche Automobil-Zulieferindustrie zu unterstützen, Forschung und Entwicklung an einzelnen Komponenten für Elektrofahrzeuge zu betreiben und die Ergebnisse in marktfähige Produkte umzusetzen.

Internationales Qualitätssiegel

Die Association to Advance Collegiate Schools of Business (AACSB), die als weltweit renommierteste internationale Akkreditierungsagentur im Bereich Wirtschaftswissenschaften gilt, hat die Fakultät für Wirtschaftswissenschaften für weitere fünf Jahre reakkreditiert. Von allen Fakultäten für Wirtschaftswissenschaften und Business Schools weltweit dürfen weniger als fünf Prozent dieses internationale Qualitätssiegel führen. Das international besetzte Gutach-

terteam bescheinigte der RWTH-Fakultät eine konsequente Umsetzung ihres Leitbildes sowie ein kollegiales Arbeitsumfeld, in dem Entscheidungen unter erfolgreicher Mitwirkung aller Interessenvertreter erfolgen. Dies gilt insbesondere für die Einbeziehung der Studierenden. Auch wurden die umfangreichen Angebote im E-Learning besonders hervorgehoben.

Erfolg beim Qualitätspakt Lehre

Die RWTH ist in der zweiten Förderperiode des „Qualitätspakts Lehre“ wieder dabei: Der Antrag „RWTH 2020 Exzellente Lehre“ und der Verbundantrag ELLI gemeinsam mit der Ruhr-Universität Bochum und der TU Dortmund wurden positiv beschieden. Das beantragte Fördervolumen beträgt fast 20 Millionen Euro.

Mit dem Projekt „RWTH 2020 Exzellente Lehre“ soll erreicht werden, dass mindestens 75 Prozent der Studierenden eines Anfängerjahrgangs mit positiver Studienaufnahmeerfahrung zu einem erfolgreichen Abschluss geführt werden. Die schon ergriffenen und nun fortzuführenden Maßnahmen setzen schon bei der Studienwahl an. Hier bieten eine zentrale Schulprojektstelle, sechs Schülerlabore und Self Assessments Entscheidungshilfen. Um Studienabbrüche in den Anfangssemestern zu verhindern, gibt es 16 Mentoring-Stellen zur individuellen Betreuung, einen studienbegleitenden Brückenkurs Mathematik und zusätzliche Professuren in vier Grundlagenfächern. Neue Lehr- und Lernformen werden erprobt, Weiterbildungsangebote koordiniert und ein Qualifizierungsprogramm für alle Lehrenden angeboten. Grundlegend wurde im gesamten Prozess ein enormer Bedarf an hochwertigen Inhalten für das Blended Learning deutlich. Eine neue Serviceeinheit begleitet nun flächendeckend die Umsetzung moderner, mediengestützter Lehrformate von der Produktion bis zum Controlling. Das Projekt ELLI – Exzellentes Lehren und Lernen in den Ingenieurwissenschaften – hat die Ingenieurwissenschaften im Fokus und will deren Ausbildung optimieren. Wesentliches Merkmal ist die Beteiligung ingenieurwissenschaftlicher und hochschuldidaktischer Einrichtungen. ELLI 2 richtet sich auf die Anforderungen der kommenden Jahre aus: Berücksichtigt werden die Anforderungen der Industrie 4.0, das unternehmerische Denken, die Nutzung der Potenziale virtueller und augmentierter Lernwelten zur forschungs- und praxisnahen Ausbildung.

Eugen Beck und Tamer Alkhoulis ausgezeichnet

Mit einem „Google PhD Fellowship“ wurden zwei Wissenschaftliche Mitarbeiter vom Lehrstuhl für Informatik 6 (Sprachverarbeitung und Mustererkennung) ausgezeichnet: Eugen Beck und Tamer Alkhoulis gehören zu den 40 Graduierten aus Nordamerika, Europa und dem Nahen Osten, die aufgrund ihrer herausragenden Arbeiten in der Informatik, für drei Jahre durch ein Stipendium gefördert werden. Die Forschungsgebiete der beiden Wissenschaftler fallen in den Bereich maschinelles Lernen und im weiteren Sinne in die künstliche Intelligenz. Eugen Beck bringt dem Computer bei, gesprochene Sprache in Text umzusetzen. Dazu verwendet der 26-Jährige künstliche neuronale Netze und trainiert sie unter Verwendung großer Mengen an Audio-Beispieldaten sowie Textdaten mit dem Ziel einer möglichst integrierten Modellierung. Tamer Alkhoulis forscht an der Verbesserung maschineller Übersetzung, wie sie beispielsweise der Online-Dienst „Google Translate“ anbietet. Der Computer übersetzt Text von einer Quell- in eine Zielsprache. Der 28-Jährige verwendet als Methode das so genannte „Deep Learning“, um die Qualität der Übersetzungen zu verbessern.

Carl-Roth-Förderpreis für David Fabry

David Fabry hat den Carl-Roth-Förderpreis der Gesellschaft Deutscher Chemiker erhalten. Der 29-Jährige, der am Institut für Organische Chemie promoviert, wurde für seine umfangreichen und innovativen Arbeiten zur Photoredox-Katalyse, insbesondere der Entwicklung einer neuartigen oxidativen C-H-Aktivierung unter Nutzung des sichtbaren Lichts, ausgezeichnet. Den mit 5.000 Euro dotierten Carl-Roth-Förderpreis vergibt die GDCh an junge Chemikerinnen und Chemiker, die ressourcenschonende Synthesewege entwickeln oder Chemikalien innovativ einsetzen.

Förderung für zwei

RWTH-Fortschrittskollegs

Die RWTH-Fortschrittskollegs „ACCESS!“ und „VERBUND.NRW“ werden mit je 2,72 Millionen Euro gefördert.

Das unter der Leitung von Univ.-Prof. Dr. rer. pol. Grit Walther vom Lehrstuhl für Operations Management stehende Kolleg ACCESS! bearbeitet die Frage „Welche Mobilität werden wir uns zukünftig leisten?“. Die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler berücksichtigen dabei zukünftige technische und infrastrukturelle Möglichkeiten ebenso wie gesellschaftliche Ansprüche und globale Umweltziele. Über zwei Praxisprojekte wird den Herausforderungen in Großstädten (MetropoleRuhr) ebenso Rechnung getragen wie denen im ländlichen Raum (Kreis Heinsberg).

Das Fortschrittskolleg unter der Leitung von Univ.-Prof. Dr.-Ing. Peter Quicker vom Lehr- und Forschungsgebiet Technologie der Energierohstoffe hat die Untersuchung und Weiterentwicklung der Wertschöpfungskette für Verbundwerkstoffe und -konstruktionen im Baubereich zum Ziel. Dabei liegt besonderes Augenmerk auf Steigerung der Ressourceneffizienz und Rohstoffrückgewinnung. Am Kolleg VERBUND.NRW sind neben fünf RWTH-Fakultäten noch drei Professuren der Fachhochschule Münster beteiligt.

Wissenschaftspreis für Physiker

Der Breakthrough Prize for Fundamental Physics wurde für die bahnbrechende Entdeckung der Neutrino-Oszillationen verliehen, die das Standardmodell der Teilchenphysik revolutionieren könnten. Mit drei Millionen US-Dollar dotiert, geht der Preis zu gleichen Teilen an fünf internationale Forschergruppen. Darunter ist das T2K-Experiment, an dem das III. Physikalisches Institut beteiligt ist. Sieben Mitglieder des Instituts befinden sich unter den mehreren Hundert Ausgezeichneten. Der Preis wurde im Rahmen einer Gala im NASA Ames Research Center in Moffett Field, Kalifornien, an die Leiter der einzelnen Forschergruppen übergeben.

Prüfstand für Radialverdichter

Im Institut für Strahlantriebe und Turboarbeitsmaschinen unter Leitung von Univ.-Prof. Dr.-Ing. Peter Jeschke wurde ein neuer Prüfstand für Radialverdichter in Betrieb genommen. Mit einer Antriebsleistung von zwei Megawatt und herausragenden technischen Eigenschaften ist es eine der leistungsfähigsten Forschungsanlagen in Europa. Unter dem Dach der Forschungsvereinigung Verbrennungskraftmaschinen – kurz FVV genannt – haben RWTH-Wissenschaftler und FVV-Mitgliedsunternehmen aus der Turbomaschinenindustrie die Anlage in fünf Jahren gemeinsam entwickelt und aufgebaut. Die Deutsche Forschungsgemeinschaft leistete einen maßgeblichen Beitrag zur Finanzierung. Die Anlage ist in der Lage, die gesamte Bandbreite der industriellen Anwendungen abzudecken.

Namen & Nachrichten

ICT-Cubes eingeweiht

Die ICT Cubes, ein Gebäudekomplex in Form eines Doppelwürfels, die von sechs Instituten der Informations- und Kommunikationstechnik genutzt werden können, wurden eingeweiht. Über eine gläserne Brücke sind die Bauteile, die insgesamt über 9.000 Quadratmeter verfügen, miteinander verbunden. An dieser funktionalen und kommunikativen Schnittstelle werden die institutsübergreifend genutzten Servicebereiche wie Seminar-, Konferenz- und Sozialräume angeordnet. Eine außergewöhnliche Fassade soll die Wirkung der beiden „Würfel im Park“ unterstreichen: Aussagen berühmter Wissenschaftler werden in einen digitalen Zahlencode übersetzt. Dieser Code – bestehend aus den Ziffern 0, 1 und 2 – steht jeweils für einen von drei Lamellentypen in der Fassade. Der Sonnenschutz wird so zum Informationsträger für die vertretenen Lehrstühle und Institute. Ein abgebildetes Zitat ist das des Kodierungstheoretikers Richard Wesley Hamming (1915-1998): „It is better to do the right problem the wrong way than the wrong problem the right way“.

Förderung durch den Europäischen Forschungsrat ERC

Univ.-Prof. Dr.rer.nat. Hendrik Bluhm, Leiter des Lehrstuhls für Experimentalphysik, Dr. Andreas Walther vom DWI – Leibniz-Institut für Interaktive Materialien und Dr. Rafael Kramann von der Klinik für Nieren- und Hochdruckkrankheiten, rheumatologische und immunologische Erkrankungen an der Uniklinik RWTH Aachen erhalten je einen Starting Grant des Europäischen Forschungsrates. Mit diesen fördert der Europäische Forschungsrat junge Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler mit jeweils bis zu 1,5 Millionen Euro.

Hendrik Bluhm

Die Nutzung quantenmechanischer Effekte zur Informationsverarbeitung stellt einen grundlegenden Paradigmenwechsel dar. Verschiedene Anwendungen sind möglich, etwa eine starke Effizienzsteigerung in der Datenverarbeitung und eine abhörsichere Datenübertragung. Idee dabei ist, klassische Bits durch Quantenbits – kurz Qubits – als elementare Speicher- und Rechenbauelemente zu ersetzen. Zur Übermittlung von Quantendaten über größere Distanzen und zur Vernetzung zukünftiger Quantencomputer ist es von großem Interesse, den Zustand von stationären Qubits auf Photonen zu übertragen. Diese könnten in der Folge per Glasfaserkabel weitergeleitet werden. Ziel des ERC-Projekts von Bluhm ist, dies für die von ihm untersuchten Halbleiterqubits zu erreichen. Diese Quantenbauelemente zeigen bisher vielversprechende Eigenschaften als stationäre Qubits und haben aufgrund ihrer Kompatibilität mit der Halbleitertechnologie ein hohes Anwendungspotenzial. Die optische Ankopplung ist bislang jedoch weitgehend unerforscht.

Andreas Walther

Wenn Wissenschaftler ein Material mit einer bestimmten Funktion entwickeln möchten, optimieren sie zunächst die Struktur und Beschaffenheit des Materials. Walther geht einen Schritt weiter und betrachtet in seinem Projekt die zeitliche Kontrolle über Materialstrukturen. „Ein menschlicher Körper funktioniert durch das Zusammenspiel unendlich vieler molekularer Komponenten. Dabei spielt eine entscheidende Rolle, dass einzelne Komponenten im Laufe der Zeit neu entste-

hen, sich verändern oder sich auflösen“, so Walther. „Ich möchte künstliche Materialien entwickeln, denen das auf ähnliche Weise gelingt und die eine Art zeitlich vorgegebenes Programm absolvieren.“ Derartige Materialien könnten vielseitigen Einsatz finden – zum Beispiel als temporäre Datenspeicher, als Trägermaterialien für medizinische Wirkstoffe oder Biosensoren.

Rafael Kramann

In Projekt „Targeting perivascular myofibroblast progenitors to treat cardiac fibrosis and heart failure in chronic kidney disease“, kurz CureCKDHeart, sollen grundlegende pathophysiologische Vorgänge im Herzen von Patienten mit chronischer Niereninsuffizienz aufgeschlüsselt und neue Therapeutische Targets spezifisch auf den Zellen identifiziert werden, die Herzvernarbung verursachen. Kramann und sein Team wollen zielgerichtete Therapien entwickeln, die Herzvernarbung reduzieren oder sogar aufhalten können. Ziel ist es, ein besseres Verständnis der Pathophysiologie zu erreichen und mit der Entwicklung neuer Therapien plötzlichen Herztod zu vermeiden und chronische Herzinsuffizienz bei Patienten mit chronischer Niereninsuffizienz zu reduzieren.

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Heinz Pitsch, Leiter des Instituts für Technische Verbrennung, Univ.-Prof. Dr.-Ing. Hermann Ney, Leiter des Lehrstuhls für Informatik 6 (Sprachverarbeitung und Mustererkennung), und die Professoren Dr.rer.nat. Dr.h.c. Martin Möller und Dr.-Ing. Matthias Wessling, wissenschaftlicher Direktor und stellvertretender wissenschaftlicher Direktor des DWI – Leibniz-Institut für Interaktive Materialien, erhalten je einen Advanced Grant des Europäischen Forschungsrates, ERC. Univ.-Prof. Dr. Barbara Terhal vom Lehr- und Forschungsgebiet Theoretische Physik (kondensierte Materie) erhält einen Consolidator Grant. Außerdem ist die RWTH, vertreten durch Univ.-Prof. Dr.rer.nat. Jörg Pretz vom Lehrstuhl für Experimentalphysik III B, an dem ERC Advanced Grant von Professor Hans Ströher, Direktor des Instituts für Kernphysik am Forschungszentrum Jülich, beteiligt. Mit den Advanced Grants fördert der Europäische Forschungsrat herausragende sowie etablierte Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler mit jeweils bis zu 3,5 Millionen Euro über maximal fünf Jahre. Consolidator Grants mit einer Förderung bis zu 2,75 Millionen Euro erhalten Wissenschaftlerinnen und -wissen-

schaftler, deren Promotion höchstens sieben bis zwölf Jahre zurückliegt.

Heinz Pitsch

Die Bereitstellung sauberer Energiequellen ist eine der großen Herausforderungen unserer Zeit. Obwohl erneuerbare Energien einen immer größeren Beitrag hierzu leisten, gehen aktuelle Prognosen davon aus, dass der Energiebedarf auch in den kommenden Jahrzehnten durch die Verbrennung fossiler und biogener Brennstoffe gedeckt wird. Die Verbesserung turbulenter Verbrennungsprozesse ist daher ein essenzieller Faktor für eine umweltverträglichere Energieversorgung. Da die Verbrennung von einem Zusammenspiel chemischer und strömungsmechanischer Vorgänge auf unterschiedlichsten Zeit- und Längenskalen, so genannten Multiskalen, lebt, gestaltet sie sich sehr schwierig. Relevante Phänomene wie Zündung, Verlöschen und Schadstoffbildung lassen sich selbst unter Zuhilfenahme aufwändiger Experimente nur schwer verstehen und erklären. Ziel des ERC-Projekts von Pitsch ist es, durch numerische Simulationen unterschiedlicher Verbrennungsvorgänge unter Verwendung der leistungsfähigsten Supercomputer Daten zu generieren, die dann zur Analyse physikalisch-chemischer Prozesse verwendet werden sollen. Das erwartete Resultat ist eine Multiskalen-Beschreibung technologisch relevanter Verbrennungsvorgänge, die in Computersimulationen zur Entwicklung und Optimierung moderner Verbrennungssysteme verwendet werden kann. Pitsch hat an der RWTH studiert und promoviert und verbrachte einen einjährigen Postdoc-Aufenthalt an der UC San Diego. Von 2003 bis 2013 war er Professor an der Stanford University. Er leitet seit 2010 das Institut für Technische Verbrennung.

Hermann Ney

Gesprochene und geschriebene Sprache bilden die Basis sowohl für die menschliche Kommunikation als auch für die Übertragung und Speicherung von Wissen und Informationen. Dies gilt insbesondere in der global vernetzten und multilingualen digitalen Welt. Mit dem Aufkommen der Computer wurde es als eine der Kernaufgaben der künstlichen Intelligenz angesehen, automatische Systeme für die Sprachverarbeitung zu entwickeln. Typische Aufgaben sind das Erkennen und Verstehen gesprochener Sprache und die Übersetzung zwischen Sprachen. Die bisher erfolgreichsten Konzepte gehen davon aus,

dass der Computer aus Beispieldaten lernt und mit Plausibilitätsbewertungen statt mit vorgegebenen kategorischen Regeln arbeitet. Dies geschieht mit Verfahren der statistischen Entscheidungstheorie und des maschinellen Lernens, zu denen auch künstliche neuronale Netze gehören. Der Lehrstuhl Informatik 6 unter Leitung von Ney hat sich auf Spracherkennung und maschinelle Übersetzung spezialisiert. Mit dem ERC-Grant wird es möglich sein, die Forschungslücke zwischen den anwendungsorientierten Projekten der Sprachverarbeitung und den wissenschaftlichen Grundlagen zu schließen. Insbesondere ermöglicht die Laufzeit von fünf Jahren, die Ansätze zur Sprachverarbeitung auf eine breitere wissenschaftliche Grundlage zu stellen und neue, verbesserte Methoden zu entwickeln. Ney hat an der Universität Göttingen Physik studiert und an der TU Braunschweig in Elektrotechnik promoviert. Er war Mitarbeiter der Philips Forschungslaboratorien Hamburg und Aachen und ist seit 1993 Inhaber der Lehrstuhls Informatik 6 (Sprachverarbeitung und Mustererkennung).

Martin Möller

Ausgeklügelte Mikro- und Nanostrukturen und funktionelle Materialien sind das Spezialgebiet von Möller. Er möchte in seinem ERC-geförderten Projekt zur Entwicklung gelbasierter, lichtgetriebener Mikromotoren beitragen. Diese Gelmotoren sollen für neue, sich selbst bewegende Materialstrukturen eingesetzt werden. Damit zielt das Projekt vor allem auf biologische und medizinische Anwendungen zur biomechanischen Stimulation von Zellen und Geweben ab. Darüber hinaus bildet es eine Basis für gelbasierte mikrofluidische Pumpen und sich selbst bewegende Schwimmer und Transporter. Die Polymerchemiker um Möller setzten hier Hydrogele ein, die zu 80 bis 98 Prozent aus Wasser bestehen und die durch Aufnahme sowie Abgabe von Wasser ihre Form stark verändern können. Bisher kann solche Formveränderung durch einen kurzen Impuls mit Infrarotlicht ausgelöst und so erstaunlich schnelle Bewegungen der Gelstrukturen von bis zu 2000 Mikrometern pro Sekunde erreicht werden. Ziel ist ein selbst-oszillierendes System, das auch bei konstanter Bestrahlung mit Infrarotlicht sich wiederholende Bewegungsimpulse erzeugt, die insgesamt einen Bewegungsfluss ergeben. Möller übernahm 2002 nach Stationen an den Universitäten Twente und Ulm den Lehrstuhl für Textilchemie und Makromolekulare

Chemie. 2003 wurde er Direktor des DWI – Leibniz-Instituts für Interaktive Materialien.

Matthias Wessling

Das Forschungsfeld von Wessling ist die Membrantechnologie. Synthetische Membranen spielen in vielen industriellen Prozessen und in der Medizin eine wesentliche Rolle. Beispiele sind die Meerwasserentsalzung, die Reinigung von Abwasser und Abgas ebenso wie die Anwendung als künstliche Lunge oder Niere. Mit der Entwicklung neuer hochdurchlässiger und hochselektiver Werkstoffe kann die Membran nur dann ihre volle Leistungsfähigkeit entfalten, wenn die Transportwiderstände an der Grenzfläche von Membran und Flüssigkeit oder Gas minimiert werden. Wessling wird mit der ERC-Förderung neuartige Interaktionsmechanismen entwickeln, die derartigen Transportwiderständen entgegenwirken. Er möchte den Stofftransport insbesondere an der Membranoberfläche verbessern, wo der Flüssigkeits- oder Gasstrom auf die Membran trifft. Hierfür wird er sich intensiv mit der Oberflächengeometrie und der chemischen Struktur von Membranen beschäftigen und diese bis in den Mikro- und Nanometer-Bereich gestalten. Er wird darüber hinaus bei den Kanalstrukturen ansetzen, die den Flüssigkeits- oder Gasstrom an die Membran führen und die Strömungsverhältnisse optimieren. Wessling integriert Fragen der klassischen Membrantechnologie mit Methoden aus der Mikro- und Nanofluidik, generativer Nanofabrikation und fluidmechanischen Computersimulationen. Nach Karriereetufen bei Membrane Technology and Research Inc., bei Akzo Nobel und als Professor für Membrantechnologie an der Universität Twente wurde Wessling 2010 über eine Alexander von Humboldt-Professur auf den Lehrstuhl für Chemische Verfahrenstechnik berufen. Gleichzeitig wurde er Mitglied der Wissenschaftlichen Leitung im DWI – Leibniz-Institut für Interaktive Materialien, wo er seit 2015 stellvertretender wissenschaftlicher Direktor ist.

Barbara Terhal

Seit 20 Jahren arbeiten Wissenschaftler an der Implementierung der Grundbausteine für einen Quantencomputer. Die Herausforderung besteht darin, dass diese Grundbausteine, so genannte Qubits, nicht so robust sind wie klassische Bits. Das Erkennen und Korrigieren von Fehlern wird ein essenzieller Bestandteil zum Speichern und Manipulieren von Quanteninformation sein. Ziel des

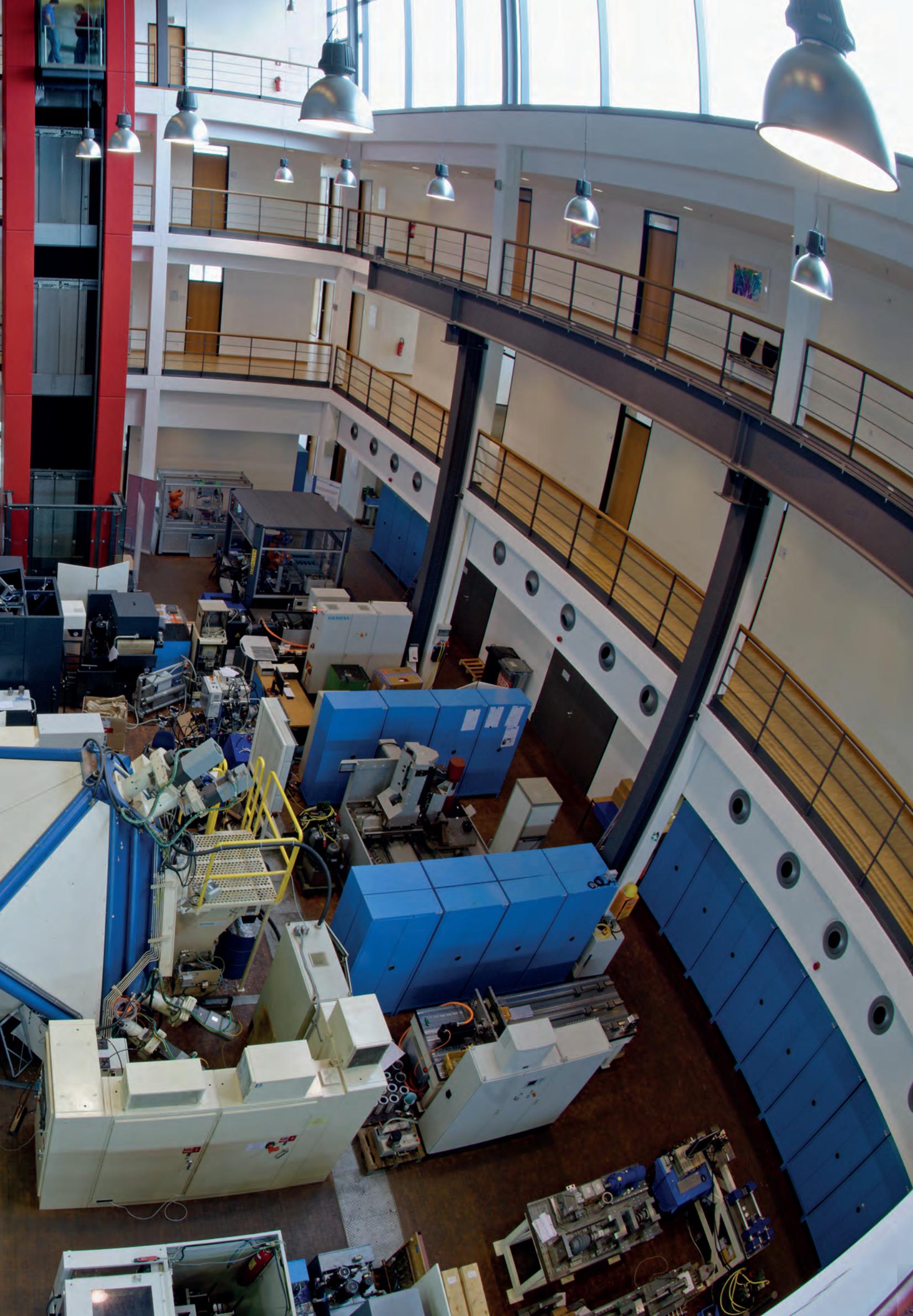
ERC-Projekts „Engineering Quantum Error Correction“ ist es, ein Design zur Implementierung eines Fehlerkorrekturmechanismus in supraleitenden Qubit-Systemen zu entwerfen. Das Projekt wird voraussichtlich zu neuen Hardwarearchitekturen und damit verbundenen Strategien zur Fehlerbekämpfung führen. Die Forschung wird am JARA-Institut für Quanteninformation stattfinden. Terhal hat an der Universität von Amsterdam Physik studiert und dort auch promoviert. Danach war sie wissenschaftliche Mitarbeiterin am IBM Research Center und am Caltech in den USA. Seit 2010 ist sie Universitätsprofessorin für das Fach Theoretische Physik.

Jörg Pretz

Bei der Entstehung unseres Universums entstanden gleichzeitig Materie und Antimaterie – und hätten sich eigentlich sofort gegenseitig vernichten müssen. Weshalb sie das nicht getan haben, ist eines der großen Rätsel der Physik. In dem Projekt „srEDM“ mit dem IKP des Forschungszentrums Jülich, der RWTH und der Universität Ferrara, Italien, erforschen Wissenschaftler den Grund für die Materie-Antimaterie-Asymmetrie des Universums. Professor Jörg Pretz vom Lehrstuhl für Experimentalphysik III B, der auch am Forschungsgebiet JARA-FAME der Jülich Aachen Research Alliance beteiligt ist, wird an dem Grant mitwirken. Ziel von „srEDM“ ist es, für die ersten Messungen den Jülicher Teilchenbeschleuniger COSY zu nutzen. Für die Messung mit höchster Präzision wird schließlich aber ein völlig neuartiger Speicherring benötigt, der mit zwei gegenläufigen Teilchenstrahlen betrieben werden soll. An diesem Projekt arbeiten mehr als 100 Forscher aus zehn Ländern in der Kollaboration JEDI – Jülich Electric Dipole Investigations – zusammen, eine der beiden Hauptsäulen von JARA-FAME.



Blick in die Versuchshalle des
Werkzeugmaschinenlabors WZL.
Foto: Peter Winandy



Die nächste Ausgabe 2/2016

Kompetenzbereich Rohstoffe und Recycling

Rohstoffe aus der Tiefsee –

Vision oder Illusion?

Wir gewinnen Kohle –

Hören Sie es?

Dünger oder Brennstoff? –

Untersuchungen zum Wert von Restabfall

Elektronikschrott –

Die Herausforderung 20 Metalle zu gewinnen

Unterschätzte Kosten- und Werttreiber –

Zyklische Kosten stofflicher Kreisläufe



Vorbereitung der Prüfkammer zur Materialcharakterisierung am Institut für Bildsamer Formgebung IBF.

Foto: Peter Winandy

Impressum

Herausgegeben im Auftrag des Rektors der RWTH Aachen
Dezernat 3.0 - Presse und Kommunikation
Templergraben 55
52056 Aachen
Telefon +49 241 80 - 93687
pressestelle@rwth-aachen.de
www.rwth-aachen.de

Redaktionsleitung:
Angelika Hamacher
Renate Kinny

Redaktionelle Mitarbeit:
Rauke Xenia Bornefeld
Nora Tretau

Titelbild: Visuelle Prüfung der Oberflächenqualität einer Verdichterstufe.
Rücktitel: Durch Kraft-Momenten-Regelung sind völlig neue Konzepte einer Mensch-Maschinen-Interaktion möglich.
Fotos: Peter Winandy

Anzeigen:
print'n'press, Aachen
jh@p-n-p.de

Anzeigenberatung:
Liz Rüster – Telefon +49 6132 43 44 38
liz.ruester@web.de

Gestaltung:
Kerstin Lünenschloß, Aachen

Druck:
Vereinte Druckwerke, Neuss

Gedruckt auf
chlorfrei gebleichtem Papier

Das Wissenschaftsmagazin
RWTH THEMEN erscheint einmal
pro Semester.

Nachdruck einzelner Artikel, auch auszugsweise, nur mit Genehmigung der Redaktion. Für den Inhalt der Beiträge sind die Autoren verantwortlich.

Sommersemester 2016
ISSN-Nummer 0179-079X



KUGA

Ford

SYNC 2 mit Hotelführer¹

Unterwegs spontan die nächstgelegene Wellnessoase mit fünf Sternen zu finden ist noch nie so einfach gewesen.

Abbildung zeigt Wunschausstattung gegen Mehrpreis.

¹Der Hotelführer ist nur mit SYNC 2 und einem Navigationssystem verfügbar und gilt für ausgewählte Unterkünfte.



Eine Idee weiter

