

## Schwerpunktthema Neue Werkstoffe

# lernen & lehren

Elektrotechnik – Informationstechnik  
Metalltechnik – Fahrzeugtechnik



Innovative Werkstoffe für neue Fertigungsverfahren

Potenziale für die berufliche Bildung durch neue metallische Werkstoffe

Neue Werkstoffe – Chancen für eine nachhaltige Technikgestaltung?

Innovative Werkstoffe als Herausforderung für die Instandsetzung

Einsatz und Kombination von Hochleistungsverbundwerkstoffen  
und Mikrosystemtechnik

Zur curricularen Verankerung neuer Werkstoffe und zugehöriger Technologien

# BAG

## 29. BAG-Fachtagung

CALL FOR PAPERS  
bis zum 31.12.2018

11./12. März 2019  
in Siegen

Bundesarbeitsgemeinschaften für Berufsbildung in den Fachrichtungen Elektrotechnik | Informationstechnik | Metalltechnik | Fahrzeugtechnik e.V.

Vorträge, Arbeitskreise und Präsentationen zu

# Digitalisierung mit Arbeit und Berufsbildung nachhaltig gestalten

in den Fachrichtungen Elektro-, Informations-, Metall- und Fahrzeugtechnik

- Standardisierung/Normierung in der Handwerksarbeit – Abschied von der Einzelfertigung nach Kundenwunsch
- Der hellblaue Kragen – elektro- und metalltechnische Berufe im Kontext der Gestaltung neuer Geschäftsmodelle
- Was passiert in der Berufsschule? Handling oder Handlung – Didaktische Transformation und smartes Lernen
- Informatik verändert die gewerblich-technische Berufsbildung
- Ressourcenfokussierte Facharbeit als Gegenstand beruflicher Bildung

20. Hochschultage Berufliche Bildung 2019  
Digitale Welt - Bildung und Arbeit in  
Transformationsgesellschaften



UNIVERSITÄT  
SIEGEN



20. HOCHSCHULTAGE BERUFLICHE BILDUNG

Fakultät II: Bildung · Architektur · Künste  
Berufs- und Wirtschaftspädagogik

Tagungsort:  
Spandauer Str. 40 • 57072 Siegen  
Anmeldung (Teilnahme kostenfrei):  
[www.htbb2019.uni-siegen.de](http://www.htbb2019.uni-siegen.de)



# Inhalt

## SCHWERPUNKT: NEUE WERKSTOFFE

- Editorial**
- 134 Neue Werkstoffe als Herausforderung und Chance für die berufliche Bildung  
*Torben Karges/Tim Richter*
- 136 Nachruf für Prof. Dr. Dr. h.c. A. Willi Petersen  
*Klaus Jenewein/Thomas Vollmer*
- Schwerpunkt**
- 137 Innovative Werkstoffe für neue Fertigungsverfahren Einsatzmöglichkeiten und Potentiale für nachwachsende Rohstoffe in der additiven Fertigung  
*Henning Zeidler/Dirk Wohlrabe*
- 144 Potenziale für die berufliche Bildung durch neue metallische Werkstoffe am Beispiel des Ausbildungsberufs „Zerspanungsmechaniker/-in“  
*Olga Zechiel*
- 151 Welche Bedeutung haben neue Werkstoffe in der Ausbildung im Bereich Metallverarbeitung? Interview mit Fred Grützner, Leiter Aus- und Weiterbildung der SKET GmbH Magdeburg  
*Olga Zechiel*
- 153 Neue Werkstoffe – Chancen für eine nachhaltige Technikgestaltung?  
*Thomas Vollmer*
- Praxisbeiträge**
- 161 Innovative Werkstoffe als Herausforderung für die Instandsetzung von Pkw-Karosserien  
*Helge Kiebach*
- 167 Neue Anforderungen an die berufliche Bildung durch den Einsatz und die Kombination von Hochleistungsverbundwerkstoffen und Mikrosystemtechnik  
*Stefan Brämer/Evelyn Matschuck/Linda Vieback/Christian Vogel*
- 173 Zur curricularen Verankerung neuer Werkstoffe und zugehöriger Technologien in ausgewählten Berufen  
*Marco Hjelm-Madsen/Torben Karges*
- Ständige Rubriken**
- I–IV BAG aktuell 4/2018  
176 Verzeichnis der Autorinnen und Autoren  
U3 Impressum



## Editorial

# Neue Werkstoffe als Herausforderung und Chance für die berufliche Bildung



TORBEN KARGES



TIM RICHTER

*“All things are made of atoms”*

Diese heute fast schon banale Feststellung bezeichnet der Physiker und Nobelpreisträger RICHARD FEYNMAN in seinen bekannten Lectures on Physics als wichtigste menschliche Entdeckung, die im Falle der Auslöschung aller wissenschaftlichen Erkenntnisse unbedingt an die nächste Generation von Lebewesen weitergeben werden sollte. Neben ihrer physikalisch grundlegenden Geltung bekommen Atome in der heutigen Materialwissenschaft eine ganz praktische Bedeutung, da neue Werkstoffe auf atomarer Ebene gedacht und hergestellt werden können.

Werkstoffe können verschiedenste Eigenschaften aufweisen, die von der chemischen Zusammensetzung, dem mikroskopischen Aufbau und dem Herstellungsprozess abhängig sind und bei der konstruktiven Gestaltung und zu erwartenden Beanspruchung der zu fertigenden Produkte Berücksichtigung finden müssen. Andersherum ermöglicht die Entwicklung spezifischer Werkstoffe erst die Herstellung bestimmter Bauteile oder Produkte. Damit sind Werkstoffe heute wie seit jeher eine der bedeutendsten Grundlagen für technologischen Fortschritt. Ganze Epochen wurden nach ihnen benannt (Steinzeit, Bronzezeit, Eisenzeit) und grundlegende Entwicklungsschritte der Menschheit – beginnend mit dem Einsatz von Steinwerkzeugen bis hin zur Metallbearbeitung, die Jahrhunderte später im Bau der Dampfmaschine und der ersten industriellen Revolution mündete – durch sie ermöglicht.

Neue Werkstoffe setzen auch heute noch Impulse für innovative Produkte und neue Entwicklungen der Werkstofftechnik versprechen erweiterte Optionen hinsichtlich Anforderungen, Funktionen, Ressourceneffizienz und Nachhaltigkeit. Besonders für Wachstums- bzw. Zukunftsfelder wie nachhaltige Mobilität, erneuerbare Energien oder Gesundheit sind neue Werkstoffe grundlegend. So wird ein verbesserter Korrosionsschutz von Offshore-Windenergieanlagen durch eine neuartige Kunststoffummantelung ermöglicht, Automobile können leichter und sicherer gestaltet sowie Abgasemissionen reduziert werden. Ebenso lässt sich die Energieeffizienz von Schienenfahrzeugen oder Flugzeugen verbessern. In der Medizintechnik werden durch neue Werkstoffe bspw. die Langlebigkeit von Implantaten erhöht und innovative Therapiemethoden ermöglicht. Dies sind nur einige Beispiele, um aufzuzeigen, dass die Entwicklung neuer und die Weiterentwicklung bereits bekannter Werkstoffe wesentlich dazu beitragen können, unsere Lebensqualität, aber auch die Wettbewerbsfähigkeit unserer Industrie zu erhöhen. Das Bundesministerium für Bildung und Forschung spricht im Rahmenprogramm zur Förderung der Materialforschung von materialbezogenen Innovationen als Schlüssel für die Lösung von Zukunftsaufgaben.

Anwendungsoptimierte Werkstoffe werden heute oftmals durch das Zusammenfügen mehrerer Materialien erreicht. Dadurch können erwünschte Eigenschaften erzeugt oder unerwünschte Eigenschaften

reduziert werden. So entstehen Verbund- bzw. Kompositwerkstoffe wie z. B. kohlenstofffaserverstärkter Kunststoff (CFK). Verbundwerkstoffe spielen aufgrund ihrer Eigenschaften in vielen Branchen, etwa in der Luft- und Raumfahrtindustrie, im Automobil-, Maschinen-, Schiff- und Windenergieanlagenbau, eine wichtige Rolle. Aber auch auf der Basis von „traditionellen“ Materialien entstehen neue, für bestimmte Anwendungsbereiche optimierte Werkstoffe. Dies zeigt sich u. a. in der Entwicklung von ultrahochfestem Beton (UHPC – Ultra High Performance Concrete) oder von holzbasierten Verbundwerkstoffen (z. B. WPC – Wood Plastic/Polymer Composites). Die Entwicklung innovativer Werkstoffe wird u. a. durch die Nanotechnologie weiter vorangetrieben, die als Schlüsseltechnologie des 21. Jahrhunderts gilt. Aufgrund der geringen Größe der Nanopartikel und ihrer besonderen Eigenschaften bestehen viele neue Anwendungsgebiete, möglicherweise aber auch Gefahren, die es zu untersuchen gilt.

Technologische Entwicklungen sind jedoch nicht nur von der Verfügbarkeit geeigneter Werkstoffe abhängig, sondern auch von den entsprechend benötigten Fertigungs- und Bearbeitungsverfahren. Immer kürzere Innovationszyklen – bspw. bei den additiven Fertigungsverfahren – verändern Produktionsstrukturen und die Eigenschaften neuer Werkstoffe bedingen neue Fügeverfahren sowie veränderte Instandhaltungs- bzw. Instandsetzungsmethoden. Auf (zukünftige) Fachkräfte in den Bereichen Produktion, Montage, Instandhaltung und -setzung kommen damit viele neue Anforderungen zu. Um es Auszubildenden sowie erfahrenen Fachkräften zu ermöglichen, Kompetenzen bzgl. neuer Werkstoffe zu entwickeln bzw. zu erhalten, müssen sie in angemessener Weise unterstützt werden. Diese wichtige Aufgabe kommt in der Erstausbildung und der Weiterbildung nicht zuletzt den Institutionen der beruflichen Bildung zu und sollte dort dementsprechende Aufmerksamkeit erfahren. Die vorliegende Ausgabe von „lernen & lehren“ möchte dazu einen Beitrag leisten und zeigt Trends in der Materialentwicklung und dem Materialeinsatz sowie Auswirkungen auf Fachkräfte in verschiedenen Tätigkeitsfeldern auf.

Im ersten Schwerpunktbeitrag zeigen HENNING ZEIDLER und DIRK WOHLRABE auf, wie innovative Werkstoffe und neue Technologien in der additiven Fertigung einen substantiellen Beitrag zur Ressourcenschonung leisten können, ohne auf Vielseitigkeit oder Wirtschaftlichkeit verzichten zu müssen, und sie arbeiten heraus, welchen Beitrag die Berufs- und

Hochschulbildung dazu leisten muss. Neue Entwicklungen im Bereich der metallischen Werkstoffe werden im Beitrag von OLGA ZECHIEL aufgezeigt und deren Auswirkungen auf die Aus- und Weiterbildung betrieblicher Fachkräfte am Beispiel des Berufs „Zerspanungsmechaniker/-in“ diskutiert. Das Schwerpunktthema wird mit einem Beitrag von Thomas Vollmer abgeschlossen, der einen Blick auf die Nachhaltigkeit von neuen Werkstoffen wirft und an ausgewählten Werkstoffbeispielen Chancen und Risiken aufzeigt.

Die Praxisbeiträge werden mit einem Beitrag von HELGE KIEBACH eröffnet, der die Herausforderungen durch innovative Werkstoffe in Pkw-Karosserien bei Reparaturmethoden, Informationsbeschaffung und Gesundheitsschutz aufzeigt. STEFAN BRÄMER, EVELYN MATSCHUCK, LINDA VIEBACK und CHRISTIAN VOGEL stellen im zweiten Praxisbeitrag die Entwicklung von Weiterbildungsmodulen vor, die Defizite im Bereich der Integration von Mikrosystemtechnik und Verbundwerkstoffen in der Aus- und Weiterbildung in Composite-Berufen frühzeitig verhindern sollen. Die Ordnungsmittel ausgewählter informations-, fahrzeug- und metalltechnischer Berufe stehen im Mittelpunkt des Beitrags von MARCO HJELM-MADSEN und TORBEN KARGES, die aufzeigen, dass neue Werkstoffe im Gegensatz zu Verfahren und Methoden dort in den Hintergrund treten und deren Integration als Element zur Gestaltung des Unterrichts damit in der Hand der Ausbilder und Lehrkräfte liegt.

Eine wichtige Botschaft überbringen alle Autoren dieses Heftes: Es wird auch in Zukunft die Ausnahme sein, dass neue Werkstoffe neue Berufsbilder hervorbringen werden. Vielmehr zu erwarten ist die Diffusion dieser Entwicklungen in die berufliche Facharbeit von der Konstruktion über die Fertigung bis hin zur Instandhaltung und der Kreislaufwirtschaft. Veränderungen müssen in den aktuellen Berufen aufgegriffen werden und führen durchweg zur Erweiterung der Tätigkeiten und der geforderten Fachkenntnisse.

In diesem Sinne tangiert das Thema uns alle.

## Wir trauern um unseren Kollegen A. Willi Petersen



Wir sind tief bestürzt. Überraschend hat uns die Nachricht erreicht, dass unser Kollege Prof. Dr. Dr. h.c. A. Willi Petersen mit nur 69 Jahren gestorben ist. Seit über 30 Jahren haben wir sein Engagement für die Weiterentwicklung der beruflichen Bildung teilweise aufs Engste miterleben können – sei es als Student im Schulpraktikum an der Beruflichen Schule Witzenhausen, wo er als betreuender Mentor den jungen Lehrernachwuchs dabei unterstützte, fruchtbare Praktikumserfahrungen zu sammeln, oder danach an der Gesamthochschule und späteren Universität Kassel, wo er als Pädagogischer Mitarbeiter und anschließend als Hochschuldozent das Fachgebiet Berufs- und Fachdidaktik Elektrotechnik aufbaute. Sein wissenschaftliches Fundament entwickelte er am Institut Technik und Bildung der Universität Bremen weiter; dies bildete eine wichtige Grundlage für die spätere Berufung als Professor an die Universität Flensburg. Es war ihm hier, wie auch im Rahmen seiner 20jährigen Tätigkeit am Flensburger Berufsbildungsinstitut Arbeit und Technik (biat), immer ein Anliegen, junge Nachwuchslehrerinnen und -lehrer durch eine fundierte berufswissenschaftliche Ausbildung zu fördern und damit auch das berufliche Schulwesen weiterzuentwickeln. Der Aufbau des biat, den Willi Petersen mit initiierte und aktiv betrieben hat, bildete einen wichtigen Beitrag zur Entwicklung und Konsolidierung der Berufsbildungsforschung sowie einer arbeitsprozessorientierten gewerblich-technischen Berufsbildung und Lehrerbildung in Deutschland.

Schon früh hat Willi Petersen sich mit den Unzulänglichkeiten der damals noch fachsystematisch strukturierten Berufsschul-Rahmenlehrpläne auseinandergesetzt. In einem von ihm 1994 maßgeblich verfassten Gutachten zur Evaluation der Hessischen Rahmenlehrpläne hat er Vorschläge für eine Lehrplangestaltung unterbreitet, die bereits Grundzüge des Lernfeldkonzeptes enthielten. Dieses sollte nicht disziplinäre Fachkenntnisse in den Mittelpunkt stellen, sondern Technik-, Arbeit-, Subjekt- und Gesellschaftsbezüge als Kern „Arbeitsorientierter Lernfelder“ verbinden. Mit seinen folgenden Forschungs- und Entwicklungsprojekten wie „Arbeitsorientierte Berufsbildung“ (ARBI) gehörte er zu den Pionieren einer Neuausrichtung der beruflichen Bildung, wie wir sie heute kennen und wie sie in vielen weiteren wissenschaftlichen Projekten, in denen wir z. T. mit Willi Petersen zusammenarbeiten durften, fortgeführt wurde. Dieses Engagement hat seinen Niederschlag gefunden in zahlreichen Publikationen und vor allem auch in seinen Beiträgen in dieser Zeitschrift.

Zudem hat Willi Petersen die Diskussionen um die Weiterentwicklung der Berufsbildung innerhalb der Bundesarbeitsgemeinschaft Elektrotechnik vorangetrieben, die er als Mitglied des Vorstands ebenso geprägt hat wie in seiner zehnjährigen Tätigkeit als Herausgeber der Zeitschrift lernen & lehren. Besonders anzuführen sind seine Arbeiten zur Entwicklung und Evaluation der IT-Berufe, mit denen er wie kein anderer Wissenschaftler auf die Entwicklung und den Ausbau dieser Berufsgruppe Einfluss genommen hat – u. a. mit dem Ergebnis, dass unsere BAG und unsere Zeitschrift heute die Informationstechnik in ihrem Namen tragen.

Mit Willi Petersen verlieren wir einen geschätzten Kollegen und Impulsgeber der beruflichen Bildung. Wir haben ihn immer als einen kritischen und manchmal sperrigen, aber in der Sache immer sehr engagierten Kollegen erlebt. Mit seinem Sachverstand, seinem Engagement für die Berufsbildung in den gewerblich-technischen Fachrichtungen und seinen hilfreichen und oft wegweisenden Impulsen wird uns Willi Petersen sehr fehlen. Im Namen der Mitglieder der Bundesarbeitsgemeinschaft und der Mitherausgeber der Zeitschrift lernen & lehren verbinden wir unser Gedenken mit unserem Dank, mit dem wir auf eine langjährige und fruchtbare Zusammenarbeit zurückblicken.

Klaus Jenewein  
(Herausgeber lernen & lehren)

Thomas Vollmer  
(BAG-Vorsitzender)

# Innovative Werkstoffe für neue Fertigungsverfahren

## Einsatzmöglichkeiten und Potentiale für nachwachsende Rohstoffe in der additiven Fertigung



HENNING ZEIDLER



DIRK WOHLRAHE

Innovative Werkstoffe und neue Technologien in der Fertigung können einen substantiellen Beitrag zur Ressourcenschonung leisten. In dem vorliegenden Beitrag wird beschrieben, wie durch die Anpassung von Prozessen der additiven Fertigung für die Nutzung nachwachsender Rohstoffe ein solcher Weg beschritten werden kann, ohne auf Attribute wie gestalterische Vielseitigkeit, hohe Eigenschaftsbreite oder Wirtschaftlichkeit bei technischen Produkten und Prozessen zu verzichten. Zum Ausschöpfen des Potentials muss auch die Berufs- und Hochschulbildung ihren Beitrag dazu leisten.

### **Einleitung**

Es ist evident, dass sich die Erde an einem kritischen Punkt ihrer Geschichte befindet. Der durch die Zivilisation verursachte Klimawandel ist präsent und ebenso ist klar, dass ein einfaches Fortführen der industriellen Ausbeutung der Ressourcen der Erde nicht denkbar ist.

Die Industrie muss sich nicht nur an ihrer allgemeinen Wirtschaftlichkeit, sondern auch an ihrer Effizienz im Hinblick auf Ressourcennutzung, ihrem ökologischen Fußabdruck und ihrer Nachhaltigkeit messen lassen. Der Schutz der Umwelt nimmt daher auch eine zentrale Rolle in den Bestrebungen der Forschung und Entwicklung ein, um neue Konzepte für die Produktion zu schaffen. Diese Zielstellung einer Kreislaufwirtschaft kann durch neue, effiziente Technologien, die kaum Reststoffe anfallen lassen oder diese sogar nutzen, unterstützt werden. Ebenso können Werkstoffe, die auf nachwachsenden Rohstoffen beruhen, einen weiteren Beitrag leisten.

Die Entwicklung der Produktion wird zudem durch die Digitalisierung, gern mit dem Schlagwort „Industrie 4.0“ versehen, vorangetrieben. Die Additive Fertigung, umgangssprachlich oft auch als „3D-Drucken“ bezeichnet, gilt hier als eine Schlüsseltechnologie. Prinzipiell kann sie neben einer verbesserten Materialausnutzung auch Möglichkeiten zur Lokalisierung der Produktion schaffen und somit auch zur Reduzierung von Transportwegen und Treibhausgasemissionen beitragen.

Die Verbindung beider Gebiete, die Nutzung innovativer, nachwachsender Rohstoffe bzw. lokal verfügbarer Reststoffe für die Additive Fertigung, ist eine logische Konsequenz. Neben der technischen Umsetzung, die hier andiskutiert werden soll, ist auch eine didaktische Komponente zu beachten; vielfach muss der Umgang mit diesen neuen Herausforderungen neu erlernt und gelehrt werden.

## ADDITIVE FERTIGUNGSVERFAHREN

### Begriffliche Einordnung

Additive Fertigungsverfahren (engl. Additive Manufacturing, abgekürzt AM) funktionieren „materialhin-zufügend“, d. h. „die Bauteile entstehen schichtweise durch Hinzufügen von Ausgangsmaterial oder durch Phasenübergang eines Materials vom flüssigen oder pulverförmigen in den festen Zustand.“ (VDI 2014, S. 6). Dadurch unterscheiden sie sich von subtraktiven Fertigungsverfahren (Abtragen definierter Bereiche aus Halbzeugen beispielsweise durch Zerspänung) und von formativen Fertigungsverfahren (Umformen unter Beibehaltung des Ausgangsvolumens, wie etwa beim Schmieden). Additive Fertigungsverfahren sind seit Anfang der 1980er Jahre bekannt. Zunächst wurden sie zur Herstellung von Prototypen eingesetzt (unter der Bezeichnung „Rapid Prototyping“), später, mit Weiterentwicklung der Technologie und Verfügbarkeit stabilerer Werkstoffe zur Fertigung von Werkzeugen („Rapid Tooling“) und seit den 2010er Jahren, wieder begründet auf einer Weiterentwicklung der Technik, zunehmend auch zur Herstellung von Endprodukten („Rapid Manufacturing“). Neben technischen Einsatzfeldern der Produkte kommen auch weitere in Betracht, wie Medizin – Stichwort patientenspezifische Implantate – oder auch Kunst. Kennzeichnend ist die heute vielfach anzutreffende Vermengung von generischen Verfahrensbezeichnungen mit Produkt- oder Herstellernamen, was eine Einordnung und Orientierung oftmals erschwert. Mit den VDI Richtlinien 3404/3405 wurde für den deutschsprachigen Raum vor kurzem nun erstmals eine einheitliche Definition geschaffen (vgl. VDI 2014, S. 2 f., GEBHARDT 2016).

### Charakteristika additiver Fertigung und Verfahrenseinteilung

Der Schichtaufbau additiv gefertigter Teile verleiht den Fertigungsprozessen und Anlagen besondere Merkmale. Es müssen keine Bauteil-spezifischen Werkzeuge eingesetzt werden. Die direkte Nutzung von 3D-CAD-Datensätzen ermöglicht eine Herstellung von Werkstücken ohne weitere Voraussetzun-

gen oder zusätzliche Umwege, wodurch ein spezifisches Anpassen oder customizing bis zur Stückzahl eins umsetzbar ist. Überdies sind die Daten im STL-Format auf allen marktüblichen Maschinen nutzbar. Die Herstellung bislang kaum – oder nur mit erheblichem Aufwand – herstellbarer Formelemente, z. B. mit komplexen Hinterschnitten, kann als weiteres Kennzeichen additiver Fertigungsverfahren sowie als Vorteil gegenüber Ur- und Umformen und trennenden Verfahren gelten (vgl. GEBHARDT 2016, S. 3 f.). Obwohl die Additiven Fertigungsverfahren verschiedene Ausprägungen mit unterschiedlichen Ausgangsmaterialzuständen einschließen – z. B. photochemische Reaktionen in Harzen (Stereolithographie, Digital Light Processing, Poly Jet Modeling), Schmelzen/Erstarren oder chemisches Binden von Pulver (Selective Laser Sintering, Selective Laser Melting, 3D Printing) oder Filament (Fused Filament Fabrication, Fused Deposition Modeling, Wire Arc Additive Manufacturing) u. v. m. – sind die prinzipiellen Abläufe weitgehend gleich.

Ein Fertigungsprozess lässt sich in drei Phasen gliedern (vgl. Abb. 1). Die Prozessvorbereitung deckt alle der direkten Erstellung des Werkstücks vorausgehenden Maßnahmen ab wie z. B. die Anlagen- und Daten-vorbereitung, das Konstruieren von Hilfsstrukturen (bspw. zum Stützen der Werkstücke), das Anordnen der Werkstücke im Bauraum und die Ableitung der Schichtpfade („slicen“). Während des eigentlichen Prozesses erfolgt die schichtweise Herstellung des Bauteils. Der „Post-Prozess“ schließlich umfasst Arbeiten wie gegebenenfalls die Entnahme bzw. das „Entpacken“ des Bauteils aus dem Bauraum, das Abtrennen von der Bauplattform, das Entfernen von Pulverrückständen und Stützkonstruktionen sowie weitere Tätigkeiten zur Herausbildung finaler Werkstückeigenschaften (vgl. VDI 2014, S. 6 f.).

### 3D-Drucken als Vertreter additiver Fertigungsverfahren

Das AM-Verfahren des 3D-Druckens (engl. 3D Printing, 3DP oder binder jetting) basiert auf einem in Pulverform vorliegenden Ausgangsstoff, in den selektiv über einen Tintenstrahl-Druckkopf ein Binde-

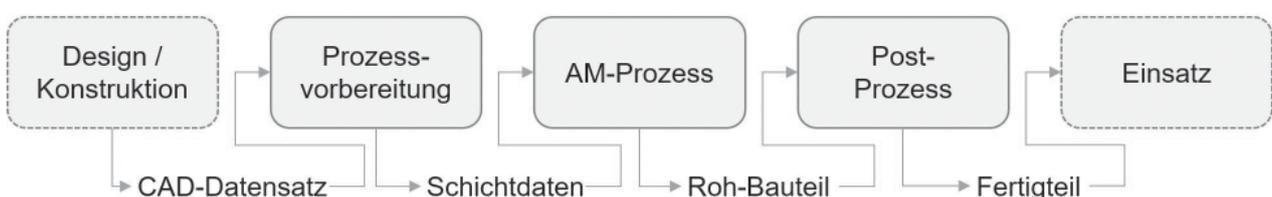


Abb. 1: Prozesskette der Additiven Fertigung

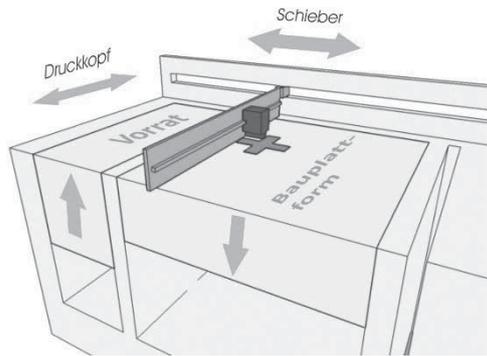


Abb. 2: Bewegungsablauf beim 3D Drucken zum Erzeugen eines 3D-Bauteils



Abb. 3: Gedruckte Bauteile auf der Bauplattform vor dem „Auspacken“; links ist die leere Reservoirkammer sichtbar

mittel eingebracht wird. Das Bindemittel löst eine chemische Reaktion aus, die zur lokalen Verfestigung der Partikel führt. Nach dem Bedrucken einer Schicht wird eine neue Schicht frischen Pulvers aufgetragen und der Prozess fortgesetzt (vgl. Abb. 2), wodurch dreidimensionale Körper erzeugt werden (vgl. auch KLOCKE 2015, S. 131). Durch die stützende Wirkung des Pulverbetts sind keine Stützstrukturen notwendig; der rasterbasierte Druckvorgang ist vielfach schneller als ein vektorbasiertes Abscannen anderer Pulverbettprozesse. Nach Abschluss des Druckvorgangs wird das feste Bauteil aus dem unverbinderten Pulverbett entnommen (vgl. Abb. 3); ggf. erfolgt zusätzlich ein Trocknen, Sintern oder Beschichten.

## KENNZEICHEN UND SPEZIFITÄTEN NACHWACHSENDER ROHSTOFFE

### Allgemeine Kennzeichen

Unter nachwachsenden Rohstoffen können organische Stoffe jenseits der Nahrungsmittel zusammengefasst werden, die aufgrund ihres Nachwachsens stets aufs Neue genutzt werden können – sei es als Material bzw. Werkstoff oder auch zum Energiegewinn. Sie stammen aus Land- oder Forstwirtschaft und umfassen dabei auch pflanzliche und tierische Reststoffe wie etwa Sägespäne, Stroh oder auch Rindertalk. Obgleich der Anteil neu nachwachsender Rohstoffe laut Annahmen weit mehr als 100 Milliarden Tonnen jährlich beträgt, werden tatsächlich nur etwa sechs Milliarden Tonnen davon genutzt. Die größten Vorkommen nachwachsender Rohstoffe bilden Cellulose und Lignin – beide Stoffe finden sich in Bäumen. Ebenfalls große Mengen an nachwachsenden Rohstoffen entfallen etwa auf Stärke oder Chitin. Seltener anzutreffen sind dagegen natürlich vorkommende Fette, Öle oder Proteine, deren besondere

Merkmale sie aber zugleich sehr wertvoll machen (vgl. BEHR/SEIDENSTICKER 2018, S. 2 ff.).

Natürliche Materialien weisen bemerkenswerte Eigenschaften auf und besitzen im Allgemeinen vielfältige, aus mehreren Stoffen bestehende, komplexe Strukturen. Die Festigkeiten von Chitinverbindungen und auch natürlich entstandenen Kalkverbindungen sind bemerkenswert. Perlmutter etwa weist dahingehend besondere Eigenschaften auf. Eingehgt in ein Chitingitter sind dort Kalkplättchen neben- oder aufeinander angeordnet. Auch die Knochen im menschlichen Körper vereinen besondere Eigenschaften, indem sie fest und belastbar sind, gleichzeitig aber auch leicht und flexibel (vgl. WEITZE/BERGER 2013, S. 44 ff.). Ähnliches gilt für pflanzliche Zellstrukturen wie z. B. in Gräsern und Hölzern, die zudem gute thermische Dämmung aufweisen.

In Verbindung mit nachwachsenden Rohstoffen ist oftmals auch von „Biokunststoffen“ die Rede. ARNOLD weist darauf hin, dass in diesem Zusammenhang unterschiedliche Verständnisse bestehen: Nicht alle biobasierten Werkstoffe sind bioabbaubar, wohl aber gibt es nicht-nachwachsende nicht-biobasierte Kunststoffe, die bioabbaubar sind (vgl. ARNOLD 2017, S. 258).

### Ausgewählte Beispiele nachwachsender Rohstoffe mit Reststoffcharakter

#### *Miscanthus*

Bei diesem, auch als Chinaschilf bezeichneten, Material handelt es sich um ein schnellwachsendes Gras mit nur geringen Ansprüchen an die Bodenqualität (vgl. Abb. 4). Zudem ist es besonders leicht und weist gute Dämpfungseigenschaften auf. Neben der energetischen Verwertung wird *Miscanthus* u. a. für die



Abb. 4: Miscanthus auf einer Anbaufläche

Herstellung von Produkten durch Fasergussverfahren genutzt. Üblicherweise wird das Material erst gemahlen und dann entsprechend der gewünschten Partikelgröße gesiebt. Für Anwendungen in der additiven Fertigung kann der dort anfallende Reststoff bzw. Filterstaub verwendet werden, da es für den 3D-Druck vornehmlich kleiner Partikelgrößen im Bereich von ca. 100 Mikrometern Länge bedarf (vgl. Abb. 5).

#### Holzmehl

Holzmehle können als Reststoffe in der verarbeitenden Industrie, wie etwa in Sägewerken, anfallen. Dabei entstehen neben langfaserigen Partikeln (u. a. zur Produktion von Pellets) auch kurzfasrige Partikel, die sich für die Verwendung in der additiven Fertigung eignen. Zu beachten sind in dem Kontext die je unterschiedlichen Materialeigenschaften abhängig von der gewählten Holzart. Bislang wurden Weide, Birke, Lärche, Ahorn, Eiche, Fichte und Linde im 3D-Druck erfolgreich eingesetzt.

#### Stein- und Kernobstmehle

Die nicht zum Verzehr geeigneten Samen diverser Steinfrüchte oder Kernobstsorten werden unterschiedlich genutzt. Weithin bekannt ist die Gewinnung von Ölen durch Auspressen der weichen Bestandteile von Steinen oder Kernen. Die als Reststoff übrigbleibenden harten Bestandteile können nach einem Vermahlen und Sieben einer Nutzung im Rahmen additiver Fertigung zugeführt werden. Im Vergleich zu Holzmehl und Schilf weisen diese Materialien eine relativ hohe Dichte auf, was den daraus erzeugten Werkstücken bessere Festigkeitseigenschaften verleiht sowie in Verbindung mit der geringen Partikelgröße

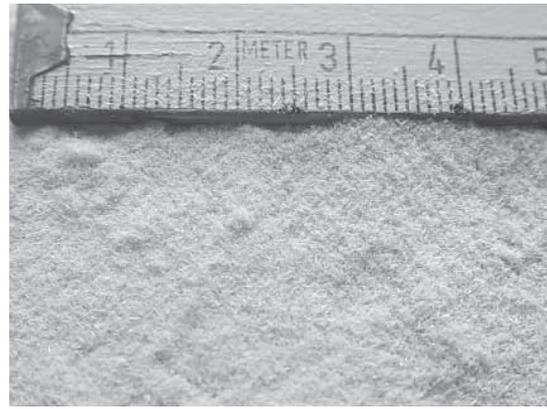


Abb. 5: Für den 3D-Druck gesiebte Miscanthuspartikel [Beckmann-Institut für Technologieentwicklung e.V.]

höhere Fertigungsgenauigkeiten ermöglicht. Bislang wurden erfolgreiche Untersuchungen mit Aprikosenkernmehl durchgeführt.

#### Muschelkalk

In bestimmten Erdregionen sind Muschelschalen reichlich vorhanden bzw. fallen in der Nahrungsmittelindustrie an. Teilweise werden sie gemahlen für kosmetische Produkte verwendet, für eine wirtschaftliche Nutzung in größerem Stile fehlen dagegen bislang ausgereifte Konzepte. Die Materialeigenschaften machen sie jedoch für eine Verwendung im Rahmen von additiver Fertigung hoch interessant.

### VERARBEITUNG NACHWACHSENDE ROHSTOFFE IN ANLAGEN UND VERFAHREN ADDITIVER FERTIGUNG

Bekannt ist, dass der 3D-Druck neue Möglichkeiten zur Gestaltung von Objekten eröffnet und zudem einen entscheidenden Beitrag zu Industrie 4.0 durch Individualisierung und Digitalisierung von Prozess- und Produktgestaltung leistet. Leichtbau und Ressourceneffizienz durch AM-spezifische Topologieoptimierung und damit geringeren Materialbedarf sind heute etablierte Werkzeuge in der Produktion. Während Forschung und Entwicklung in traditionell ge-



Abb. 6: Ausgangsmaterial für das 3D-Drucken [AMtopus GmbH & Co. KG]

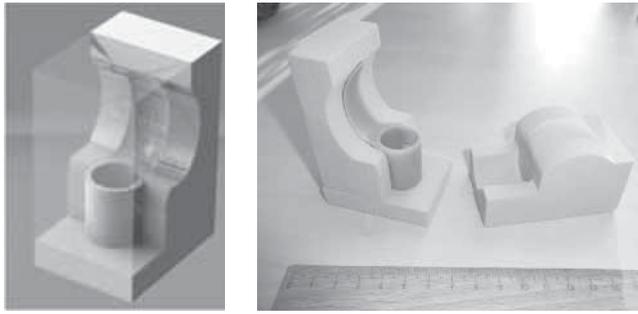


Abb. 7: 3D-CAD Datensatz und 3D-gedrucktes Verpackungsteil für einen empfindlichen Wachsrohling [Beckmann-Institut für Technologieentwicklung e. V.]

nutzten Materialgruppen wie Metallen, Kunststoffen und Keramiken, die für AM angepasst und speziell hergestellt werden, zügig voranschreitet, bietet AM durch den additiven Charakter ein weitaus höheres, bislang ungenutztes Potential zur Verwendung von in Partikel- oder Faserform vorliegenden Reststoffen und damit ungeahnte Möglichkeiten zur Einsparung von fossilen Rohstoffen sowie CO<sub>2</sub>. Insbesondere biobasierte und bioabbaubare Reststoffe wie Holzmehl, (Frucht-) Kernmehl, Reisspelzen usw. stellen eine wichtige, zu adressierende Rohstoffgruppe mit einzigartigen Eigenschaften dar (vgl. Abb. 6). Es wird der Ansatz verfolgt, diese bislang der Entsorgung oder im besten Fall energetischen Nutzung (Verbrennung) zugeführten Rohstoffe zu hochwertigen, umweltfreundlichen und kosteneffizienten Produkten und Bauteilen zu verarbeiten (vgl. ZEIDLER u. a. 2018a).

Dafür ist unabdingbar, Maschinenkonzepte umzusetzen, die die große Eigenschaftsbandsbreite natürlicher Rohstoffe tolerieren und sich an sie anpassen können.

Es ist notwendig, dabei an der Schnittstelle von Material, Maschine und Technologie zu arbeiten. Die individuelle oder auch kundenspezifische Herstellung von Produkten bedingt die Verwendung ebenso individueller Verpackungen für diese, was eine für AM geeignete Spezialität der Anwendung darstellt. Die entwickelten Verpackungslösungen als Erstanwendung unter Nutzung von nachwachsenden

Rohstoffen schützen in perfekter Passform die Bauteile, da sie direkt aus dessen 3D-Daten generiert werden (vgl. Abb. 7). Sie dämpfen Temperatur und Schock gleich oder besser als Kunststoffverpackungen (z. B. Schaum) und können je nach Kundenwunsch durch Zerkleinern (z. B. Mahlen) mehrfach recycelt oder aber problemlos direkt kompostiert werden. Die 3D-gedruckten Verpackungen sind sehr leicht und können nahezu beliebig komplex sein, was dem Versand auch im Hinblick auf Volumenoptimierung entgegenkommt.

Die angewandte Technologie des Inkjet-3D-Drucks (vgl. Abb. 8) zeichnet sich durch ein großes Material/Zeit-Volumen aus. Der Prozess ist deshalb preiswert und zudem in der Lage, feste Werkstoffe einer großen Materialvielfalt zu verarbeiten. Der gegenwärtige Stand der Technik kann den industriellen Anforderungen an Bauteilgröße und Druckgeschwindigkeit (hoher Durchsatz und individuelle Geometrie Anpassung) dagegen noch nicht genügen, daher ist die Anpassung von Anlagentechnik und Druckkopf/Rakel an das Material auf Basis nachwachsender Rohstoffe ein entscheidender Schwerpunkt der Entwicklung (vgl. ZEIDLER u. a. 2018b).

Forschungs- und Entwicklungsvorhaben innovativer StartUps optimieren dazu Maschinenkonzepte, die großvolumig (> 1 m<sup>3</sup>) und schnell (mehrere mm/min) fertigen. Ebenfalls verfolgt werden Ideen mobiler Maschinen, die on-site/on-demand produzieren, um den logistischen Aufwand weiter zu minimieren.

Basierend auf diesen Pilotanwendungen sind für die Materialien ökologisch und ökonomisch sinnvolle Anwendungen in saisonalen oder kurzlebigen Produkten (z. B. Möbel für Events/Festivals, Terrassen/Gartenmöbel, Designobjekte, Kulissen/Props etc.) in der Vorbereitung bzw. Umsetzung begriffen (vgl. Abb. 9).

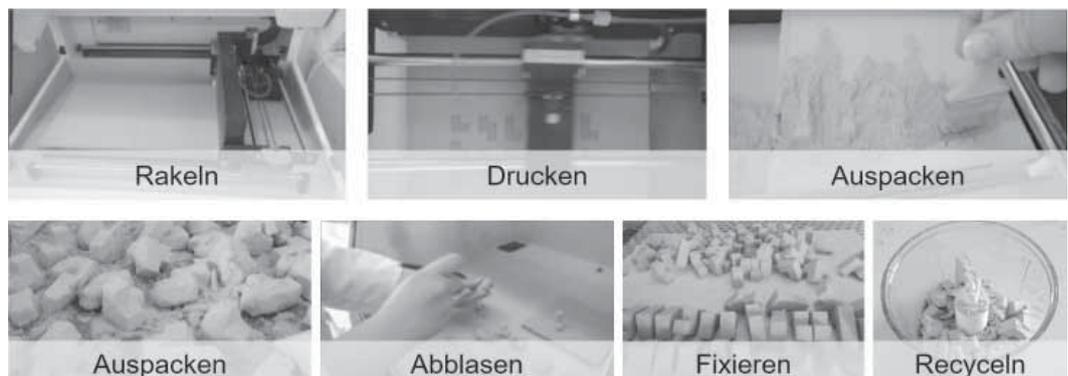


Abb. 8: Prozesskette des 3D-Druckens von Produkten aus Aprikosenkernmehl [AMtopus GmbH & Co. KG]

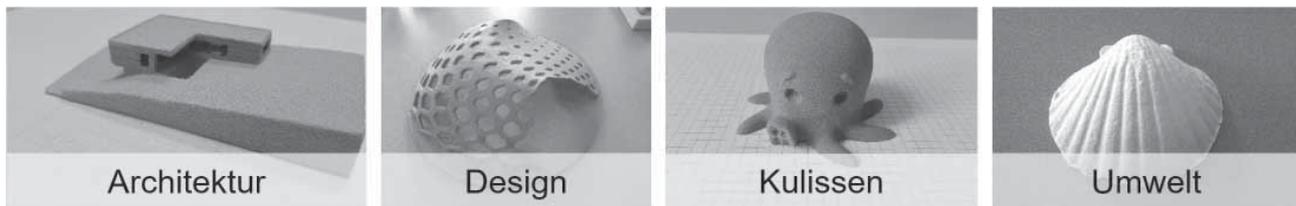


Abb. 9: Beispiele für 3D-gedruckte Teile aus v.l.n.r. Aprikosenkernmehl, Miscanthus, Aprikosenkernmehl, Muschelkalk [Beckmann-Institut für Technologieentwicklung e. V.]

Der 3D-Druck von nachwachsenden Rohstoffen trägt in vielfältiger Weise zum Klimaschutz bei. Zum einen wird durch den präzisen Prozess unter dem Motto „das richtige Material an der richtigen Stelle“ per se eine erhebliche Materialmenge in der Produktion eingespart. Darüber hinaus sind die erzeugten Bauteile im Vergleich zu bisherigen Lösungen nur halb so schwer, bei angepasster Konstruktion teilweise noch leichter. Dies führt vor allem bei mobiler Verwendung (insbesondere beim Einsatz als Verpackungsmaterial) zu enormen Einsparungen an CO<sub>2</sub>. Durch die Kompostierbarkeit der Produkte wird zusätzlich Müll vermieden, wobei die Rezyklierbarkeit der Verpackungen die Umweltfreundlichkeit des Prozesses weiterhin sehr stark erhöht. Nach dem Ende des Lebenszyklus des gedruckten Bauteils kann dieses wieder in Pulverform gemahlen und danach erneut verdruckt werden. Da es sich bei den Basismaterialien um nachwachsende Rohstoffe handelt, wird Erdöl und Energie nebst gefährdenden Stoffen zur Aufbereitung bzw. Umsetzung fossiler Rohstoffe zu Kunststoffen und CO<sub>2</sub> eingespart.

Die Verbindung innovativer Technologien und natürlicher Rohstoffe bietet ein großes Potential zur ökologischen aber auch ökonomischen Fertigung; erste Ansätze, wie hier beschrieben, müssen konsequent weiterverfolgt werden. Dafür ist eine interdisziplinäre Zusammenarbeit aller Akteure zwingend notwendig.

### HERAUSFORDERUNGEN FÜR DIE BERUFLICHE UND HOCHSCHULISCHE BILDUNG

So schnell sich die Technologien der Additiven Fertigung ent- und weiterentwickelt haben, so vielfältig sind die sich dadurch ergebenden neuen Möglichkeiten, aber auch Herausforderungen hinsichtlich konstruktiver Auslegung der damit fertigmachen Bauteile. Ebenso relevant ist die fertigungsseitige Umsetzung auf der Maschine, da hier üblicherweise die Prozessvorbereitung – u. a. die Platzierung und Ausrichtung der Teile im Bauraum, die entscheidend für die mechanischen Eigenschaften der späteren Bauteile ist – erfolgt. Für beide Bereiche ist Expertenwissen

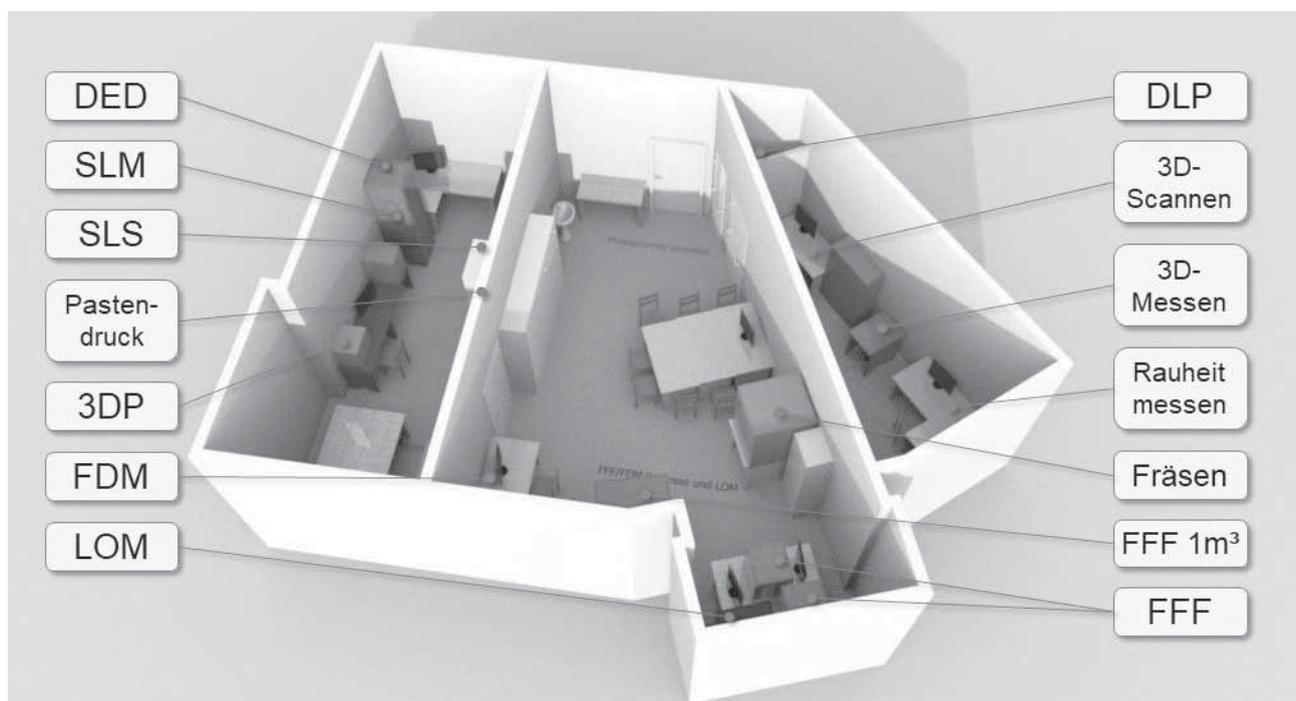


Abb. 10: Lehlabor zur AM am Lehrstuhl Additive Fertigung der TUBAF

notwendig, welches sich von dem für die konventionelle Fertigung grundlegend unterscheidet. Dennoch sind zurzeit nur wenigen Orts umfassende, zumal curricular verfasste und verbindliche Inhalte sowie methodische Umsetzungen für diese wachsenden Anforderungen verfügbar. Während erste Ansätze als Aufbauqualifikation existieren (z. B. Anwendungstechniker Additive Verfahren ATAV, HS Schmalkalden, seit 2017), muss an der Einbindung allgemeiner AM-Grundlagen in die berufliche und hochschulische Bildung weiterhin umfassend gearbeitet werden. Oftmals stehen die industriell relevantesten, Metall- oder Kunststoffpulver verarbeitenden Anlagen für die Ausbildung aus Kostengründen nicht zur Verfügung. Die gemeinsame Nutzung von AM-Lehr-Laboren, die alle Verfahrensgruppen der AM abbilden, wie sie z. B. an der TU Bergakademie Freiberg für die Studierenden der Additiven Fertigung umgesetzt wird (vgl. Abb. 10), kann ein Ansatz sein.

## LITERATUR

ARNOLD, B. (2017): Werkstofftechnik für Wirtschaftsingenieure. 2. überarbeitete und ergänzte Auflage, Berlin

BEHR, A./SEIDENSTICKER, T. (2018): Einführung in die Chemie nachwachsender Rohstoffe. Vorkommen, Konversion, Verwendung, Berlin

GEBHARDT, A. (2016): Additive Fertigungsverfahren. Additive Manufacturing und 3D-Drucken für Prototyping – Tooling – Produktion. 5., neu bearbeitete und erweiterte Auflage, München

KLOCKE, F. (2015): Fertigungsverfahren. 5., Heidelberg, Berlin

VDI – VEREIN DEUTSCHER INGENIEURE (2014): VDI 3405 – Additive Fertigungsverfahren. Grundlagen, Begriffe, Verfahrensbeschreibungen (Dezember 2014, Düsseldorf)

WEITZE, M.-D./ BERGER, C. (2013): Werkstoffe. Unsichtbar, aber unverzichtbar, Berlin und Heidelberg

ZEIDLER, H./ KLEMM, D./ BÖTTGER-HILLER, F. (2018b): 3D-Druck mit nachwachsenden Rohstoffen: Stand und Perspektiven, In: Schriftenreihe Holz- und Papiertechnik, Band 23, Tagungsband des 18. Holztechnologischen Kolloquiums Dresden, 12.-13. April 2018, Dresden, S. 26-34

ZEIDLER, H./ KLEMM, D./ BÖTTGER-HILLER, F./ FRITSCH, S./ LE GUEN, M./ SINGAMNENI, S. (2018a): 3D printing of biodegradable parts using renewable biobased materials. In: Procedia Manufacturing, Volume 21, S. 117-124

## Liebe Leserinnen und Leser,

die Zeitschrift „lernen & lehren“ möchte sehr gern vor allem den Fachleuten an den Lernorten die Möglichkeit einräumen, die vielfältigen Erfahrungen gut funktionierender Ausbildungs- und Unterrichtspraxis in Beiträgen der Zeitschrift zu veröffentlichen. Daher möchten wir Sie ermuntern, sich mit der Schriftleitung in Verbindung zu setzen. Wir streben wie bisher an, pro Heft zwei vom Themenschwerpunkt unabhängige Beiträge zu veröffentlichen.

Wenn Sie Interesse haben, an einem Themenschwerpunkt mitzuwirken, setzen Sie sich bitte rechtzeitig mit uns in Verbindung, da die Herstellung der Zeitschrift einen langen zeitlichen Vorlauf benötigt.

Ab dem zweiten Quartal 2019 sind derzeit folgende Themenschwerpunkte geplant:

- Durchlässigkeit
- Lernen unter dem Aspekt der Vernetzung
- Neue Entwicklungen beim Lernen in der Fahrzeugtechnik
- Automatisierungstechnik

Wir freuen uns auf Ihre Rückmeldung!

*Herausgeber und Schriftleitung*

# Potenziale für die berufliche Bildung durch neue metallische Werkstoffe

## am Beispiel des Ausbildungsberufs „Zerspanungsmechaniker/-in“



OLGA ZECHIEL

Nicht nur neue Technologien oder Fertigungsverfahren verlangen nach unkonventionellen Werkstoffen. Werkstoff-Start-ups benötigen spezielle Werkzeuge, Bearbeitungsstrategien und neue Einsatzgebiete. Moderne Prozessabläufe, Anwendungsfelder und Werkstoffentwicklung bedingen sich gegenseitig. Zu den herkömmlichen technologischen Anforderungen (härter, leichter, temperaturbeständiger usw.) gesellt sich ein nachhaltiger Umgang mit den Ressourcen entlang des gesamten Produktlebenszyklus. Dies fordert ein neues Verstehen des Werkstoffs und damit verbundener Prozessabläufe. Der Beitrag zeigt neue Entwicklungen im Bereich der metallischen Werkstoffe auf und diskutiert deren Auswirkungen auf die Aus- und Weiterbildung der betrieblichen Fachkräfte am Beispiel des Berufs „Zerspanungsmechaniker/-in“.

### TRENDS IN DER WERKSTOFFENTWICKLUNG

Die raschen Entwicklungen moderner Technologien in der Fertigungs- und Werkstofftechnik sind kaum in einem Beitrag zu erfassen. Schrittmachertechnologien von heute sind morgen bereits Schlüsseltechnologien. Die steigenden Anforderungen an neue Produkte, die nicht nur in wegweisenden Bereichen wie Luft- und Raumfahrt, Medizin- und Energietechnik, sondern auch in konventionellen Gebieten entstehen, fordern den raschen Transfer von Forschungsergebnissen aus der Werkstofftechnik in die Industrie und die Zusammenarbeit zwischen Forschung, Entwicklung und Produktion.

In diesem Zusammenhang stellt sich die Frage nach dem Stellenwert konventioneller Fertigungsverfahren, Anlagen und Werkstoffe. Der Beitrag geht von der Einschätzung aus, dass diese Prozesse – mit dem damit verbundenen Einsatz von gebräuchlichen Werkstoffen – weiterhin eine sehr große Bedeutung

haben werden. Trends in der Werkstoffentwicklung müssen jedoch auch in der beruflichen Bildung verfolgt und in Lernprozesse sowohl in der Berufsschule als auch in den ausbildenden Betrieben integriert werden. Einige der neuen Werkstoffentwicklungen sollen im Folgenden verbunden mit den einhergehenden Herausforderungen bei der spanenden Bearbeitung exemplarisch aufgezeigt werden.

### Werkstoffzusammenhalt, Pulvermetallurgie und additive Verfahren

Als selbständige Branchen sind Pulverbeschaffung, -herstellung, -metallurgie und additive Fertigungsverfahren miteinander stark verbunden und nutzen wechselseitig die neuesten Entwicklungen sowie vorhandene Erfahrungen. Zwar bleibt Urformen aus flüssigem Zustand (Gießen) und aus dem plastischen Zustand (Pressen) weiterhin wichtig, jedoch werden pulvermetallurgische Verfahren in den letzten Jahren verbreitet eingesetzt. Beispielweise bekommt die

Entwicklung von Ein- oder Mehrkomponentenpulver durch die additive Fertigung im metallischen Sektor einen neuen Aufschwung.

Für die additive Fertigung von metallischen Bauteilen eignen sich unter anderem selektives Sintern oder Schmelzen einer Pulverschicht durch Laser- bzw. Elektronenstrahltechnologien. Auf dem Markt werden Pulverbett- und freiraumbasierte Verfahren (z. B. Pulverdüseverfahren) angewendet. Beide Arten können selbstständig, aber auch als Hybridverfahren angeboten werden. Ein Beispiel hierfür ist die Kombination von Laser- und Fräs-Drehbearbeitung in einer Anlage, wobei ein Halbzeug als Grundgeometrie gefräst wird, komplexe Geometrielemente aufgetragen und anschließend durch 5- bis 6-Seitenbearbeitung zerspanend nachbearbeitet werden (vgl. Abb. 1). Als Beispiel ist hier die Entwicklung von DMG MORI im Bereich ADDITIVE MANUFACTURING (DMG 2018) und anderen Anbietern zu nennen.



Abb. 1: Hybride Komplettbearbeitung: Additive Manufacturing (Auftragen des Pulvers auf die Oberfläche des Halbzeuges durch das Pulverdüseverfahren) und Fräsen auf einer Maschine (DMG 2018)

Zum Einsatz kommen sowohl genormte metallische als auch firmenspezifische Werkstoffe. Theoretisch lassen sich beliebige Gemische von metallischen, keramischen und polymeren Komponenten verarbeiten. Die breit eingesetzte Palette von den metallischen Pulvern reicht von Edelmetallen über Stähle und stahlähnliche Werkstoffe bis hin zu Aluminium-, Titan-, Kobalt-Chrom-Legierungen und Wolframcarbid. Eine Steuerung der mechanisch-technologischen Eigenschaften (z. B. Gradientenwerkstoffe) der gefertigten Teile ist durch unterschiedliche Belichtungs- und Auftragsstrategien möglich. Nach den additiven Verfahren, die die Form- und Maßgenauigkeiten konventioneller Technologien bisher nicht erreichen, werden die Bauteile durch Post-Prozesse nachbearbeitet. Diese werden von der Bauplattform meistens durch

Drahterodieren abgetragen sowie Stützkonstruktionen – falls vorhanden – entfernt (bspw. abgefeilt oder abgefräst). Insbesondere die Oberflächenqualität muss je nach Anforderungen durch Strahlen, Schleifen oder Polieren verbessert werden. Applikationsspezifische Oberflächenstrukturen und -eigenschaften sind durch angepasste Bearbeitungsstrategien möglich. Ein weiterer großer Mehrwert der additiven Technologien liegt in der Konstruktionsfreiheit hinsichtlich der Geometriekomplexität, verbunden mit den Möglichkeiten von topologieoptimierten Bauteilen (z. B. Freiform-Bohrungen etc.).

Additive Verfahren sind durch eine nahezu abfallfreie Produktion charakterisiert, da z. B. die Pulver bis zu 95 % wiederverwendet werden. Allerdings müssen diese Verfahren hinsichtlich der Nachhaltigkeit und Ökobilanz anwendungsspezifisch betrachtet werden.

Traditionelle pulvermetallurgische Verfahren (z. B. Sintern) spielen weiterhin bei der Fertigung von metallischen Produkten, insbesondere bei hitzebeständigen Legierungen, eine wichtige Rolle. Die konventionellen Titan- und Nickelbasislegierungen für die Luft- und Raumfahrtindustrie werden zwar weiterhin modifiziert und eingesetzt, stoßen jedoch an ihre Grenzen. Die neuesten Entwicklungen gehen in Richtung intermetallischer Titanaluminide auf Basis der geordneten  $\gamma$ -TiAl Phase und hochschmelzender Refraktärmetallsilizide für die Anwendung in Flugzeugtriebwerken und Verbrennungsmotoren. Weitere Neuheiten sind die Modifikation von weichmagnetischen Verbundwerkstoffen (SMCs) mit einzigartigen dreidimensionalen magnetischen und elektrischen Eigenschaften, Nano-Pulver-Verfahren, Herstellung von Hochleistungs-Metallsulfiden usw.

### Werkstoffe mit komplexer Zusammensetzung

Das Bild der Legierungen, die aus einem Hauptelement und zahlreichen weiteren Komponenten bestehen und genormte Eigenschaften aufweisen, ändert sich. So wie sich die Individualisierung der Produkte weiter verbreitet, stehen insbesondere anwendungsspezifische mechanisch-technologische Eigenschaften der Werkstoffe im Fokus aktueller Entwicklungen. Deswegen wurde von der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG) im Jahr 2016 das Schwerpunktprogramm SPP 2006 „Legierungen mit komplexer Zusammensetzung - Hochentropielegierungen (CCA - HEA)“ zur Erforschung von neuartigen Metalllegierungen, die eine hohe Beständigkeit ge-

gen Korrosion und Temperatur aufweisen, ins Leben gerufen (DFG17).

Neuartige Werkstoffe wie Multi-Element-Legierungen (MPEAs), Hochentropie-Legierungen (High Entropy Alloys – HEA) oder Legierungen mit komplexer Zusammensetzung (Compositionally Complex Alloys – CCA) unterscheiden sich grundsätzlich von herkömmlichen Metall-Legierungen. Es gibt kein Hauptelement (wie Ti, Ni, Fe, Cr, Mo), sondern diese Legierungen werden aus einer Vielzahl von Elementen zusammengesetzt, die alle in ähnlich starken Anteilen vorliegen (vgl. GAO et al. 2016), als Beispiel AlXCoCrFeNiTi (vgl. LINDNER et al. 2017). Dabei ergeben sich nahezu uneingeschränkte Spielräume hinsichtlich der chemischen Zusammensetzung eines gesteuerten Werkstoffgefüges und folglich der Eigenschaften generell. Interessant bleibt zu beobachten, welche Bearbeitungsverfahren bei der Fertigung von Bauteilen aus diesen Werkstoffen in der Zukunft eingesetzt werden.

### Werkstoffe mit gesteuerten atomaren Verbindungen

Das Werkstoffengineering auf atomarem Niveau sowie die Entwicklung komplexer Legierungen werden sehr oft zusammen betrieben. Dank moderner Simulations- und Prüftechnik ist die Vorhersage der Werkstoffeigenschaften im Vorfeld möglich. Moderne Beschaffungstechnologien gewährleisten die Herstellung von neuen metallischen Werkstoffen mit gesteuerten atomaren Verbindungen aus den ausgewählten Komponenten. Dies führt zu gezielten Werkstoffeigenschaften, was beispielsweise im Bereich hochfester und gleichzeitig duktiler, d. h. unter

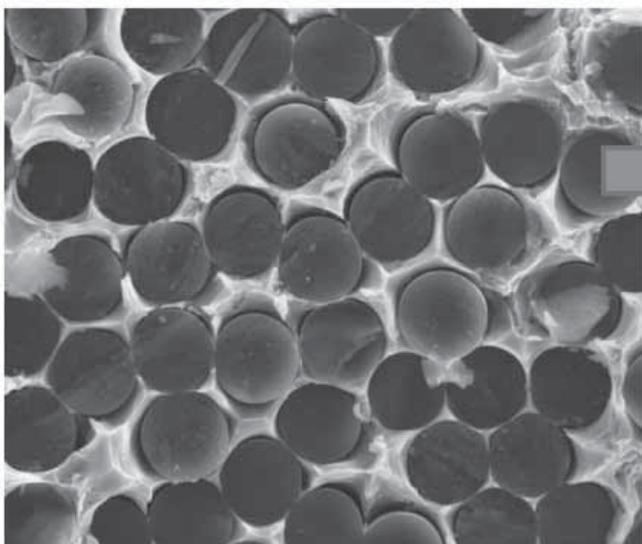
Belastung plastisch verformbarer, Werkstoffe festzustellen ist. Das Max-Planck-Institut für Eisenforschung GmbH entwickelt Hoch-Entropie-Legierungen (s. Werkstoffe mit komplexer Zusammensetzung) auf atomarem Niveau (RAABE 2017) für Anwendungen in der Luft- und Raumfahrtindustrie und dem Energiesektor. Eine Vielzahl an Entwicklungen zur Strukturierung finden sich bei folgenden Werkstoffen: Eisen-, Niob-, Titanoxid usw.

### Superlegierungen

Weiterhin bleiben die Werkstoffentwicklungen auf Basis von metallischen Hauptelementen (Fe, Ni, Ti/Ta, Cr oder Co) sowohl für Hochtemperaturanwendungen als auch für Prothetik bestehen. Durch unterschiedliche Anteile von weiteren Legierungselementen besteht die Möglichkeit, die Eigenschaften eines Werkstoffs verwendungsorientiert zu gestalten. Auf dem Markt werden oft firmenspezifische, nicht genormte Sonderlegierungen oder Modifikationen angeboten. Die Erweiterung von Werkstoffeigenschaften ist nach den schmelzenden oder pulvermetallurgischen Verfahren durch die Wärmebehandlungsstrategien möglich, erschwert jedoch die Nachbearbeitungsprozesse.

### Metallmatrix-Verbundwerkstoffe (MMC) und Multimaterialkombinationen

Das Streben nach einem leichten und verschleißfesten Werkstoff führte zur Entwicklung von faser- und partikelverstärkten Werkstoffen mit metallischer Matrix. Als Verstärkung können Kohlenstofffasern (Abb. 2), Keramikstäbe und -partikel, Silizium- und



#### Herausforderungen beim Zerspanen:

- Die Schneidkante der Werkzeuge wird durch verschiedene wechselnde Verschleißmechanismen belastet
- Einsatz von teuren (diamant-) beschichteten Werkzeugen mit angepasster Schneidkanten geometrie
- Staubbildung während der Zerspanung

Abb. 2: Bruchfläche eines Kohlenstofffaser-verstärkten Metalls mit den besonderen Herausforderungen für die Zerspanungstechnik (Foto: IFKB - Universität Stuttgart, UNIVERSITÄT STUTTGART 2017)

Wolframcarbide verwendet werden. Als Metallmatrix werden Stahl, Titan-, Aluminium-, Magnesiumlegierungen, sowie leichtschmelzende Werkstoffe wie Kupferlegierungen verwendet.

Wenngleich die bisherigen Ausführungen neueste Trends in der Wärmebehandlung, Beschichtung und Strukturierung von Oberflächen metallischer Bauteile ausklammern, ist bereits so erkennbar, dass die Vielfalt neuer Werkstoffe praktisch uneingeschränkt ist. Sowohl neue Entwicklungen als auch Modifizierungen von konventionellen Werkstoffen (Stahl, Gusseisen, Aluminium-, Titanlegierungen) führen zur Erweiterung des Spektrums zu bearbeitender Werkstoffe. Die Mehrzahl der neuartigen Legierungselemente wird noch nicht genutzt oder ist noch nicht industriereif. Das Vorhersagen von Werkstoffeigenschaften durch innovative Simulationsprogramme ermöglicht zukünftig jedoch eine genaue Anpassung der Werkstoffkomponenten an die konkreten Anwendungsanforderungen des zu fertigenden Erzeugnisses.

Weiterhin dominiert jedoch Stahl die Wertschöpfungskette in vielen Branchen. Die größten Abnehmer von Stahlerzeugnissen bleiben die Bauindustrie mit 35 %, die Automobilbranche mit 26 % und der Maschinenbau mit 11 % (WIRTSCHAFTSVEREINIGUNG STAHL 2017). Es ist davon auszugehen, dass Stahl auch in Zukunft eine große Rolle spielen wird. Hinsichtlich der Berufsausbildung kann mit Sicherheit behauptet werden, dass weiterhin „im Stahl“ gefertigt und ausgebildet wird. Allerdings müssen die Prognosen der IKB Deutsche Industriebank hinsichtlich Eisen-, Stahl- und Tempereguss berücksichtigt werden, nach denen die Nachfrage für diese Werkstoffe ab 2020 einen Rückgang verzeichnen soll (vgl. BÜCHNER 2018). Aktuell bleiben Eisen- und Aluminiumlegierungen für den Maschinen- und Fahrzeugbau jedoch von großer Bedeutung.

### **AUS- UND WEITERBILDUNG ZUR/ZUM ZERSPANNUNGSMECHANIKER/-IN**

Der Einsatz von innovativen Fertigungstechnologien wie additive Verfahren, Präzisionsgießen (z. B. Metallspritzguss-Verfahren) und Präzisionsschmieden sowie pulvermetallurgische Verfahren ermöglichen die Fertigung von Produkten mit komplexer Geometrie und gleichzeitig hohen Qualitätsanforderungen. Durch diese Tendenzen verschiebt sich in einigen Branchen der Fokus bei den zerspanenden Verfahren in Richtung der Nach- und Endbearbeitung. Konventionelle Fertigungsverfahren werden durch die ad-

ditiven Technologien aber nur in Nischenbereichen verdrängt und haben weiterhin eine feste Position in der Prozesskette. Zwar sind die neuesten Trends in der Zerspanungstechnik für die Betriebe nicht weniger wichtig als die der Werkstoffentwicklung, jedoch tangiert dieser Wandel die konventionellen Fertigungsverfahren (Drehen, Fräsen, Schleifen) nur marginal und wird an deren Präsenz im Maschinenbau nichts ändern.

Die Auswirkungen dieser Entwicklung sollen am Beispiel des Ausbildungsberufs „Zerspanungsmechaniker/-in“ diskutiert werden. Dieser Beruf wird durch die Digitalisierung und neueste Entwicklungen von Werkstoffen und Verfahren beeinflusst und muss sich aktuellen Veränderungen stellen. Allerdings bleibt das Verstehen grundlegender Zusammenhänge zwischen Werkstoff, Werkstück, Maschine, Werkzeug und Qualität sowie der Reihenfolge der Bearbeitungsschritte entscheidend.

Laut Ausbildungsreport 2017 gehört der Beruf „Zerspanungsmechaniker/-in“ zu den Berufen mit den besten Bewertungen der Auszubildenden hinsichtlich der Ausbildungsqualität. Der Beruf ist männlich dominiert, allerdings versuchen Firmen, neue Zielgruppen wie technikinteressierte Frauen oder Studienabbrecher/-innen für die Berufsausbildung zu akquirieren (DGB 2017). Zerspanungsmechaniker/-innen werden ausgebildet, um Bauteile, auch aus nichtmetallinen Werkstoffen (Kunststoff, Verbundwerkstoffe usw.), durch spanende Verfahren wie Drehen, Fräsen, Bohren oder Schleifen in höchster Präzision zu fertigen. Auszubildende erlernen den gesamten Produktionsprozess, angefangen mit dem Lesen und Verstehen von technischen Unterlagen und Zeichnungen über die Vorbereitung der Bearbeitung auf einer CNC-Werkzeugmaschine, das Überwachen des Fertigungsprozesses sowie die Kontrolle der Fertigungsergebnisse einschließlich einer Qualitätsanalyse.

### **Entwicklung der Ausbildungsinhalte**

Für zukünftige Zerspanungsmechaniker/-innen sind die Anforderungen bereits beim Einstieg in die Ausbildung relativ hoch. Zum Beispiel wird von den Auszubildenden in der Berufsschule erwartet, dass sie über gutes schulisches Wissen im naturwissenschaftlich-technischen Bereich verfügen und somit Grundkenntnisse von der Mechanik und den Eigenschaften der Werkstoffe mitbringen.

Der Rahmenlehrplan ist in 13 Lernfelder gegliedert (LSA 2011):

- LF 1: Fertigen von Bauelementen mit handgeführten Werkzeugen,
- LF 2: Fertigen von Bauelementen mit Maschinen,
- LF 3: Herstellen von einfachen Baugruppen,
- LF 4: Instandhalten (Warten) technischer Systeme,
- LF 5: Herstellen von Bauelementen durch spanende Fertigungsverfahren,
- LF 6: Warten und Inspizieren von Werkzeugmaschinen,
- LF 7: Inbetriebnehmen steuerungstechnischer Systeme,
- LF 8: Programmieren und Fertigen mit numerisch gesteuerten Werkzeugmaschinen,
- LF 9: Herstellen von Bauelementen durch Feinbearbeitungsverfahren,
- LF 10: Optimieren des Fertigungsprozesses,
- LF 11: Planen und Organisieren rechnergestützter Fertigung,
- LF 12: Vorbereiten und Durchführen eines Einzelauftrags,
- LF 13: Organisieren und Überwachen von Fertigungsprozessen in der Serienfertigung.

Alle Lernfelder erfordern werkstofftechnische Kenntnisse. Die neuesten Lehrbücher greifen aktuelle Entwicklungen der Fertigungs- und Messtechnik auf und weisen auf die Zusammenhänge in dem zerspanenden Prozess hin. Es ist schwierig, alle Inhalte während der Ausbildung sowohl in der Schule als auch im Betrieb im gleichen Maß zu erläutern. Eine mögliche Lösung ist die selbständige Arbeit der Auszubildenden und das Wecken des Interesses hinsichtlich der Weiterbildung.

### **Ausbildungspraxis**

Oft ist die in Ausbildungsbetrieben zur Verfügung stehende Technik der Faktor, weswegen die Inhalte der Ausbildung von den Vorgaben abweichen. Es ist wichtig, dass die Betriebe den Auszubildenden eine sorgfältige und systematische Vorgehensweise bei der Herstellung von Bauteilen und -gruppen, dem fachgerechten Einsatz von Werkzeugen, Prüf-, Arbeits- und Betriebsmitteln sowie einer dem Umwelt- und Arbeitsschutz gerechten Arbeitsweise beibringen.

Unternehmen versuchen heute, eine Balance zwischen der Ausbildung auf konventionellen Anlagen und CNC-Anlagen zu halten. Dies betrifft nicht nur Werkzeugmaschinen sondern auch die Messtechnik. Große Betriebe wie die Volkswagen AG nutzen digitale Lernformate in der Ausbildung von Zerspanungsmechanikerinnen und Zerspanungsmechanikern. Unter anderem wurde in Zusammenarbeit mit einem Werkzeughersteller ein ToolScout entwickelt, der beim Fräsen die Auswahl der Werkzeuge und Schnittparameter unterstützt. Insbesondere sind solche Kooperationen hinsichtlich der Bearbeitung neuer Werkstoffe von Bedeutung. Die Auszubildenden bedienen hochkomplexe CNC-Fünf-Achs-Bearbeitungszentren und lernen additive Verfahren sowie den Robotereinsatz in der Fertigung kennen (HEIMANN 2017).

Aktuell stehen die Betriebe vor den Herausforderungen des demografischen Wandels und suchen nach multitalentierten Nachwuchsfachkräften. Die geforderten Alleskönner sollten sich mit den gängigen Trends der hochautomatisierten und digitalisierten Fertigung bestens auskennen und den wechselnden Anforderungen des Arbeitslebens (Mobilität, lebenslanges Lernen usw.) standhalten. Leider ist die Personaldecke im industriellen Bereich zu gering und die Nachfrage nach Nachwuchs übertrifft in vielen Bereichen das Angebot.

Insbesondere bei den Unternehmen, die vorrangig metallische Werkstoffe u. a. für die Automobilindustrie verarbeiten, ist die Flexibilität in der Bearbeitung einer breiten Palette von Werkstoffen essentiell. Die Betriebe mit dem High-Tech-Image haben oft bessere Chancen, talentierte jüngere Nachwuchskräfte abzuwerben. Fehlen diese, müssen die Ausgangsqualifikationen und Potenziale älterer Mitarbeiter/-innen besser genutzt werden. Für die Weiterqualifizierung müssen in den Firmen gewisse Anreize geschaffen und Mitarbeiter/-innen sowie Auszubildende in die Lernprozesse im Betrieb stärker eingebunden werden.

Ein weiterer Aspekt ist die Nutzung der Digitalisierung und der Vernetzung durch den Einsatz von innovativen, kollaborierenden Datenmanagementsystemen, die Informationen über Werkstoffe, Verfahren oder Werkzeuge sowie Erfahrungsberichte betreffen. Von solchen Plattformen können auch kleine und mittelständische Unternehmen profitieren. Bereits laufende Kooperationen zu ähnlichen Themen sind in Veröffentlichungen des BMBF (2018a) zu finden. An dieser Stelle ist exemplarisch das Projekt „Vernetz-

te interaktive LearningWorld“ des Metallhandwerks (DigiWorld) hervorzuheben. Ein weiteres Beispiel für Vernetzung und Datenerfassung zu Materialien und Werkstoffen entlang der gesamten Wertschöpfungskette bietet die Fraunhofer Gesellschaft (FRAUNHOFER 2018). Die Internetgestützte Plattform „Wertstoffe in der Fertigung – Das Portal für die Fertigungswelt von morgen“ (HW 2018) ist ein weiteres Beispiel dafür. Die Deutsche Gesellschaft für Materialkunde e. V. (DGM) operiert mit dem Begriff „Werkstoff 4.0“ und präsentiert ein Strategiepapier zur Digitalisierung der MatWerk-Welt (Materialwissenschaft und Werkstofftechnik) (DGM 2018a).

### „WERKSTOFFE“ ALS THEMA DER WEITERBILDUNG

Die betriebliche Weiterbildung erhält einen steigenden Stellenwert. Aus dem Trendmonitor Weiterbildung (KIRCHGEORG et al. 2018) folgt, dass nahezu alle befragten Betriebe die Weiterbildung als wichtig für den langfristigen Unternehmenserfolg betrachten. 70 % antizipieren eine weitere Steigerung des Stellenwerts betrieblicher Weiterbildung in den kommenden Jahren. Dabei kommt insbesondere dem Wissenstransfer zwischen Hochschulen, Forschungseinrichtungen, Unternehmen und Bildungsakteuren bzw. Teilnehmern von Weiterbildungsprogrammen eine besondere Bedeutung zu (BLANK et al. 2015).

Die Hochschulen und wissenschaftlichen Verbände reagieren auf die Nachfrage mit unterschiedlichen Programmen (BMBF 2008, BMBF 2018b). Neben Themen wie Digitalisierung (u. a. auch digitales Lernen) und Nachhaltigkeit finden auch Werkstoffe Berücksichtigung. Beispielhaft bieten das VDI-Wissensforum (VDI 2018) und die Deutsche Gesellschaft für Materialkunde e. V. (DGM 2018b) umfangreiche Angebote zum Thema Produktentwicklung und Werkstoffe an (Grundlagen der Werkstofftechnik, Aufbau, die optimale Verarbeitung und Einsatzmöglichkeiten

von modernen Werkstoffen wie Hochleistungswerkstoffe oder korrosionsbeständige Stähle, additive Fertigungsverfahren u. a. m.). Ein wichtiger Aspekt dabei ist der Praxisbezug: Ein Werkstoff muss von der Entwicklung über die Beschaffung, Konstruktion, Fertigung, Prüfung bis hin zur Entsorgung verstanden werden. Vor diesem Hintergrund werden Kenntnisse in Bezug auf neue Werkstoffe eine Bedeutung in unterschiedlichen Berufen und Tätigkeitsfeldern erlangen (vgl. Abb. 3).

### AUSBLICK

Die Verantwortung der Berufsbildungsakteure, auf neue Inhalte und Entwicklungen in Ausbildung und Unterricht einzugehen, bleibt auch durch die Entwicklungen in der Werkstofftechnik unbenommen. Dabei vertritt die Autorin die Position, dass die aufgezeigten Entwicklungen nicht vorwiegend zu gravierenden Veränderungen in den Berufsbildern führen werden, sondern im lebenslangen Lernen der betrieblichen Fachkräfte zu neuen Anforderungen und Angeboten führen müssen.

Eine besondere Rolle spielt daher die Weiter- und Fortbildung nicht nur der Ausbilderinnen und Ausbilder in den Betrieben bzw. der Lehrerinnen und Lehrer in den Berufsschulen, sondern auch der Fachkräfte in den Betrieben. Ein konzeptionelles Verständnis von Partizipation ist die Grundlage für den Sprung von konventionellen Kenntnissen zu neuen Innovationen in dem Gebiet neuer Werkstoffe und Verfahren. Durch die Kooperation zwischen Betrieben und Berufsschule, die fortlaufende Aktualisierung der Curricula und deren Implementierung in die Ausbildungs- und Unterrichtspraxis können sowohl die Qualität der Ausbildung als auch die Attraktivität des Ausbildungsberufs „Zerspanungsmechaniker/-in“ aufrechterhalten werden.

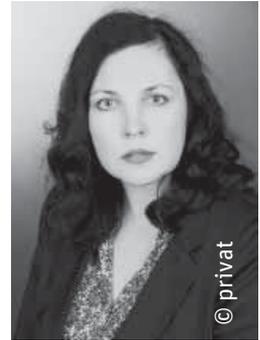
Werkstoffe in der Aus-, Fort- und Weiterbildung				
Forschung und Zulassung	Konstruktion und Simulation	Fertigung	Qualitätssicherung	Entsorgung und Weiterverwendung
<p>Neue Beschaffungsverfahren. Werkstoffzusammensetzungen mit höheren Anforderungen: Festigkeit, Korrosionsresistenz, Temperaturbelastbarkeit. Zulassung für die Produktion.</p>	<p>Konstruieren von den Komponenten mit spezifischen Eigenschaften, gekoppelt mit Simulation. Bewusster Einsatz der Werkstoffvielfalt.</p>	<p>Anpassung von Fertigungsverfahren an spezifische Werkstoffeigenschaften. Erarbeitung neuer Bearbeitungsstrategien und Prozessketten. Weiterentwicklung von Werkzeugkonzepten.</p>	<p>Überprüfung der Werkstoffeigenschaften vor, während und nach der Fertigung des Produktes. Integration von neuen Prüfverfahren.</p>	<p>Sicherer Umgang mit Werkstoffen. Dekarbonisierung der Prozesse. Reduzierung der Gefahrstoffe. Energieeffiziente und ressourcenschonende Technologien. Nachhaltigkeit und Recycling.</p>

Abb. 3: Werkstoffbezogene Kompetenzen in verschiedenen Stufen der Prozesskette

**LITERATUR**

- BLANK, J.; WIEST, M.; SÄLZLE, S. (2015): Öffnung der Hochschulen durch wechselseitigen Wissenstransfer im Kontext wissenschaftlicher Weiterbildung. In: Zeitschrift für Weiterbildungsforschung, Vol. 38, Nr. 3, S. 365–379
- BMBF (2008): Bund-Länder-Wettbewerbs „Aufstieg durch Bildung: offene Hochschulen“, Bundesministerium für Bildung und Forschung, Referat 416 Wissenschaftlicher Nachwuchs, wissenschaftliche Weiterbildung, <https://www.wettbewerb-offene-hochschulen-bmbf.de/>, Abruf 05.06.2018
- BMBF (2018a): eQualification 2014 - Lernen und Beruf digital verbinden – BMBF, Projektband des Förderbereichs „Digitale Medien in der beruflichen Bildung“, Herausgeber: Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF), Referat Digitaler Wandel in der Bildung, Stand 2018, [https://www.bmbf.de/pub/eQualification\\_2018\\_Projektband.pdf](https://www.bmbf.de/pub/eQualification_2018_Projektband.pdf), Abruf 05.06.2018
- BMBF (2018b): Trendbericht zum Monitoring im Wettbewerb „offene Hochschulen“ 1. Quartal 2018, Die Förderprojekte im Rahmen des Bund-Länder-Wettbewerbs „Aufstieg durch Bildung: offene Hochschulen“, Bundesministerium für Bildung und Forschung Referat 416 Wissenschaftlicher Nachwuchs, wissenschaftliche Weiterbildung, <https://www.wettbewerb-offene-hochschulen-bmbf.de/ergebnisse/dokumente/trendbericht-zum-monitoring-1-quartal-2018>, Abruf 05.06.2018
- BÜCHNER, H.-J. (2018): Gießerei-Industrie 2025: Zukünftige Herausforderungen durch veränderte Marktbedingungen. Erschienen in Giesserei Heft 3|2018, <https://www.giesserei.eu/magazin/fachartikel/2018/giesserei-industrie-2025/>, Abruf 07.05.2018
- DGM (2018a): DGM präsentiert Strategiepapier zur Digitalisierung der MatWerk-Welt, Deutsche Gesellschaft für Materialkunde e.V., Stand 2018, [https://www.dgm.de/nachrichten/artikel/news/auf-dem-weg-zum-werkstoff-40-dgm-praesentiert-strategiepapier-zur-digitalisierung-der-matwerk-welt/?tx\\_news\\_pi1%5Bcontroller%5D=News&tx\\_news\\_pi1%5Baction%5D=detail&cHash=2018dbcf1d1ced01b282cbb8b7058ba5](https://www.dgm.de/nachrichten/artikel/news/auf-dem-weg-zum-werkstoff-40-dgm-praesentiert-strategiepapier-zur-digitalisierung-der-matwerk-welt/?tx_news_pi1%5Bcontroller%5D=News&tx_news_pi1%5Baction%5D=detail&cHash=2018dbcf1d1ced01b282cbb8b7058ba5), Abruf 05.06.2018
- DFG (2017): Deutsche Forschungsgemeinschaft. SPP 2006: Legierungen mit komplexer Zusammensetzung - Hochentropielegierungen (CCA - HEA), Herausgeber: DFG Deutsche Forschungsgemeinschaft, Stand 2017, <http://gepris.dfg.de/gepris/projekt/313773923>, Abruf 04.06.2018
- DGB (2018): Ausbildungsreport 2017, Herausgeber: DGB-Bundesvorstand, Abteilung Jugend und Jugendpolitik, <http://www.dgb.de/presse/++co++bde418c2-8d84-11e7-ac05-525400e5a74a>, Abruf 05.06.2018
- DGM (2018b): DGM-Fortbildungsangebot, DGM - Deutsche Gesellschaft für Materialkunde e.V., Stand 2018, <https://www.dgm.de/veranstaltungen/fortbildungen/>, Abruf 05.06.2018
- DMG (2018): DMG MORI Global Marketing GmbH (Hg.), ADDITIVE MANUFACTURING, Technologie Beschreibung. <https://de.dmgmori.com/produkte/maschinen/advanced-technology/additive-manufacturing>, Abruf 04.06.2018
- FRAUNHOFER (2018): Materials Data Space - Der Werkstoff wird digital, Fraunhofer-Verbund MATERIALS, <https://www.fraunhofer-materials-data-space.de/>, Abruf 05.06.2018
- GAO, M.; YEH, J.-W.; LIAW, P.; ZHANG, Y. (2016): High-Entropy Alloys: Fundamentals and Applications. Springer International Publishing, 2016
- HEIMANN, K. (2017): Berufliche Bildung 4.0. Herausforderungen und gute Praxis 12/2017, Friedrich-Ebert-Stiftung, Herausgeberin: Abteilung Wirtschafts- und Sozialpolitik, <http://library.fes.de/pdf-files/wiso/13645-20171102.pdf>, Abruf 07.06.2018
- HW (2018): Werkstoffzeitschrift - Das Portal für die Fertigungswelt von Morgen, HW-Verlag, Mering, <https://werkstoffzeitschrift.de/>, Abruf 05.06.2018
- KIRCHGEORG, M.; PFEIL, S.; GEORGI, T.; HORNDASCH, S.; WISBAUER, S. (2018): Trendmonitor Weiterbildung. Ausgabe 2018, Essen: Edition Stifterverband 2018, <https://www.stifterverband.org/trendmonitor-weiterbildung-2018>, Abruf 05.06.2018
- LINDNER, T.; LÖBEL, M.; MEHNER, T.; DIETRICH, D.; LAMPKE, T. (2017): The Phase composition and microstructure of Al CoCrFeNiTi alloys for the development of high-entropy alloy systems. Metals 2017, 7(5), 162; MDPI, Basel, Switzerland
- LSA (2011): Anregungen zur Umsetzung der Lernfelder der Rahmenlehrpläne in Mischklassen: Beispiel für ein schulinternes Curriculum im Berufsbereich Metalltechnik/Berufsgruppe Metalltechnik I. Herausgeber: Kultusministerium des Landes Sachsen-Anhalt, 1. Auflage – 2011, [https://www.bildung-lsa.de/files/b347b4def871088ff3a7c7af19c70999/RGA\\_Metalltechnik\\_17\\_11\\_2011k.pdf](https://www.bildung-lsa.de/files/b347b4def871088ff3a7c7af19c70999/RGA_Metalltechnik_17_11_2011k.pdf), Abruf 05.06.2018
- RAABE, D. (2017): Nanostrukturierte Materialien für die Energiewende: Auf dem Weg zum atomaren Design neuer metallischer Legierungen, im Forschungsbericht 2017 - Max-Planck-Institut für Eisenforschung GmbH, [https://www.mpg.de/10839436/mpi-e\\_jb\\_2017](https://www.mpg.de/10839436/mpi-e_jb_2017), Abruf 04.06.2018
- UNIVERSITÄT STUTTGART (2017): Metallmatrix-Verbundwerkstoffe (MMC). Eine Evolution der monolithischen Metalle für Hochleistungsanwendungen. <https://www.ifkb.uni-stuttgart.de/forschung/verbund/metallverbund/>, Abruf 05.06.2018
- VDI (2018): Weiterbildungen im Bereich Produktentwicklung und Werkstoffe: Moderne Werkstoffe ermöglichen neue Wege in der Produktentwicklung, VDI Wissensforum GmbH, Stand 2018, <https://www.vdi-wissensforum.de/weiterbildung-maschinenbau/produktentwicklung-werkstoffe/>, Abruf 05.06.2018
- WIRTSCHAFTSVEREINIGUNG STAHL (2017): Fakten zur Stahlindustrie in Deutschland 2017, Herausgeber: Wirtschaftsvereinigung Stahl, [http://www.stahl-online.de/wp-content/uploads/2017/12/Fakten\\_Stahlindustrie\\_2017\\_rz\\_web.pdf](http://www.stahl-online.de/wp-content/uploads/2017/12/Fakten_Stahlindustrie_2017_rz_web.pdf), Abruf 05.06.2018

# Welche Bedeutung haben neue Werkstoffe in der Ausbildung im Bereich Metallverarbeitung?



OLGA ZECHIEL



---

Wer abwartet, kann  
nur verlieren...

---

## **Interview mit FRED GRÜTZNER, Leiter Aus- und Weiterbildung der SKET GmbH Magdeburg**

Das Unternehmen SKET in Magdeburg ist ein führender industrieller Dienstleister im Bereich des allgemeinen Maschinen- und Anlagenbaus. Der Betrieb arbeitet im Kundenauftrag, ist Generalist und bedient international zahlreiche Branchen vom Walzwerks- bis zum Turbinenbau. Sein Kerngeschäft ist die hochpräzise Fertigung besonders großer und schwerer Komponenten. In den Werkstätten werden rotations-symmetrische Werkstücke bis 15 m Durchmesser und 6 m Höhe und prismatische Teile bis 27 m Länge, 6 m Breite und 6 m Höhe bearbeitet. Durchschnittlich 40 Auszubildende in vier Jahrgängen lernen im SKET Berufsausbildungszentrum. Mit seiner Spezialkompetenz ist er Teil des Fertigungsverbunds von ENERCON, einem der weltweit führenden Anbieter von Windenergieanlagen.

*Herr Grützner, Sie bilden in den industriellen Metallberufen aus. In welcher Weise ist die Facharbeit in Ihrem Unternehmen von neuen Werkstoffen betroffen?*

In jedem Betrieb gibt es eine Hauptgruppe von Werkstoffen, die man bearbeitet. Bei uns werden hauptsächlich Guss mit Kugelgraphit und Baustahl zerspannt. Da wir unter anderem als Dienstleister auf dem Markt tätig sind, kommen zudem – oft in kleinen Mengen – auch Werkstoffe, die wir im Betrieb noch nie bearbeitet haben. Probleme bekommen wir immer dann, wenn wir Bauteile aus schwer zerspanbaren Werkstoffen fertigen, die eine besondere Härte und Zähigkeit aufweisen.

*Wie wird in der betrieblichen Ausbildung reagiert?*

In der Ausbildungswerkstatt zerspanen wir mit den Auszubildenden vor allem Eisen-, Aluminium- und Kupferlegierungen. Bereits beim Zerspanen von Gusswerkstoffen, die spezifische Besonderheiten haben (Veränderung der Eigenschaften von außen nach innen, Sandeinschlüsse, Lunker u. a. m.), lernen unsere Auszubildenden sehr schnell, mit kompliziertem Material umzugehen.

Für den Anfänger ist eigentlich von dem ersten Tag seiner Ausbildung an jeder Werkstoff, den er zum ersten Mal bearbeitet, ein neuer Werkstoff. Wir bringen den Auszubildenden eine systematische Herangehensweise bei: Als erstes über den Werkstoff informieren (mechanische Eigenschaften, Zerspanbarkeit usw.) und Fragen bearbeiten, wie: Wo kann ich die notwendigen Informationen finden? Welche Faktoren beeinflussen die Zerspanbarkeit eines Werkstoffes? Er soll selber ein Gefühl für spezifische Werkstoffe bekommen. Als zweites geht es in die Vorbereitung der Bearbeitung: Schneidplatten und Schneidwerkstoff auswählen, Schnittwerte anpassen u. a. m. Es kommt zudem durchaus vor, dass wir für neue Werkstoffe in der Ausbildungswerkstatt Versuchsreihen fahren, oft unter der Regie der Arbeitsvorbereitung. Neue Bearbeitungsstrategien oder Werkzeuge werden teilweise in der Ausbildungswerkstatt zuerst ausprobiert.

Wichtig ist das selbständige Informieren: Schon seit Jahren stehen unseren Auszubildenden Tablets und Laptops zur Verfügung. Mit dem Tablet lernen die Auszubildenden, schnell Informationen zu gewinnen, etwa hinsichtlich der DIN und ISO-Normen. Außerdem sind Lernprogramme auf Laptops installiert: Für das Fachliche beispielweise Lernprogramme von Christiani, für den Übergang Schule-Beruf eine Lernplattform des BIBB, zudem auch eigene Programme.

Über neueste Entwicklungen im Werkzeugsektor werden sowohl Ausbilder als auch Auszubildende durch die Arbeitsvorbereitung informiert. Oft bekommen wir Besuch von Vertretern der Werkzeughersteller, die ständig Neuheiten mitbringen. Wir sind natürlich interessiert, Neues zu erfahren, weil mittlerweile ein Produktivitätsgewinn immer über das Werkzeug kommt: neue Schneidstoffe, neue Anschliffe und ähnliches.

*Bilden die aktuellen Metallberufe für solche Anforderungen eine gute Voraussetzung?*

Wir haben in diesen Berufen ein riesiges Problem: Der fachliche Anspruch wird durch technologische Entwicklung immer höher. Außerdem bekommen wir selten genug Bewerber, die den bei uns gefragten Voraussetzungen entsprechen. Oft müssen wir mit Auszubildenden arbeiten, die wir erst hinsichtlich der Grundkenntnisse aufbauen müssen. Zudem wachsen Anforderungen an die Selbständigkeit: Man begreift die Prozesse nicht durch auswendig lernen, sondern durch Ausprobieren und Verstehen.

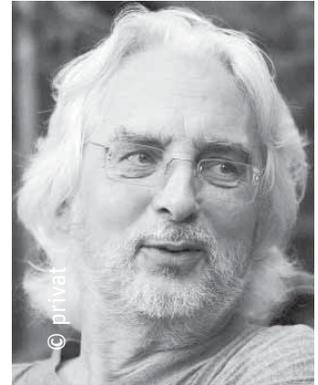
Allerdings lassen die Ordnungsmittel Freiräume in der Gestaltung von Bildungsprozessen sowohl in der Schule als auch in dem Betrieb zu. Wenn wir als Ausbilder merken, dass es etwas Neues auf dem Markt gibt (etwa neue Erkenntnisse, Werkzeuge oder Prozesse), warten wir nicht drauf, dass die Ausbildungsordnung angepasst wird. Wir versuchen stets, neue Entwicklungen in die Ausbildung zu integrieren, sofern das zu unserem Unternehmen passt. Ein Beispiel: Wir führen den Ausbildungsnachweis seit 5 Jahren digital und beschäftigen uns seit Jahren mit dem Thema Digitalisierung der Ausbildung und Industrie 4.0.

Wer abwartet, kann nur verlieren...

*Das Interview führte Frau Dr.-Ing. Olga Zechiel.*

# Neue Werkstoffe

## Chancen für eine nachhaltige Technikgestaltung?



THOMAS VOLLMER

Neue Werkstoffe bilden eine wesentliche Grundlage für gesellschaftlichen Fortschritt mit Innovationspotentialen für alle Lebensbereiche, etwa für die Fahrzeugkonstruktion, für den Maschinen- und Anlagenbau, für Haushaltsgeräte, für Medizinprodukte oder für die Energiegewinnung. Es werden ganz neue Fertigungsverfahren und Anwendungen möglich, Produkte können preiswerter, leichter, energiesparender, langlebiger und umweltverträglicher werden. Es ist Anliegen des Beitrags, das Thema „Neue Werkstoffe“ durch die „Nachhaltigkeitsbrille“ zu betrachten und Gesichtspunkte zu beleuchten, die dazu beitragen, übermäßigen Ressourcenverbrauch zu reduzieren und naturverträglicher auszurichten. An ausgewählten Werkstoffbeispielen werden Chancen und Risiken aufgezeigt.

### AUSGANGSLAGE – WIR LEBEN AUF PUMP

Am 1. August 2018 waren die Ressourcen, die die Erde für das Leben in diesem Jahr bereithält, erschöpft. Die restlichen Monate des Jahres leben wir quasi „auf Pump“, weil die Menschheit alle Ressourcen aufgebraucht hat, die auf der Erde innerhalb eines Jahres nachwachsen können und uns damit nachhaltig zur Verfügung stehen. Dieser sogenannte Erdüberlastungstag wird vom Global Footprint Network seit geraumer Zeit errechnet. Der ökologische Fußabdruck ist ein Flächenmaß, das weltweit, aber auch national und lokal die Inanspruchnahme der Biosphäre durch die Menschen erfasst und den Ressourcenverbrauch ins Verhältnis setzt zu der regenerativen Kapazität des Planeten, der Biokapazität. Damit wird eindrucksvoll veranschaulicht, dass die Weltbevölkerung – vor allem die Menschen in den Industrienationen – zurzeit auf Kosten der zukünftigen

Generationen und der ärmeren Länder wirtschaftet. Wir leben derzeit so, als würden 1,7 Erden zur Verfügung stehen. Wenn die gesamte Weltbevölkerung auf dem hohen Konsumniveau von Deutschland leben wollte, wären sogar drei Erden erforderlich (vgl. UBA 2018). Bereits 1972 hatte der Club of Rome mit seinem Bericht „Grenzen des Wachstums“ auf dieses Problem hingewiesen (MEADOWS u. a. 1972). Auch wenn die Ressourcenverknappung nicht wie damals prognostiziert erfolgte, besteht die Problematik weiterhin. Die Erschließung weiterer Energie- und Rohstoffquellen und die technischen Fortschritte zur Verbesserung der Ressourcenproduktivität haben diesen Prozess lediglich verzögert, nicht verhindert. Bis Mitte der 1970er Jahre lag der globale Ressourcenverbrauch noch im Rahmen der Regenerationsfähigkeit des weltweiten Ökosystems, seitdem ist er jedoch kontinuierlich angestiegen. Bis Anfang der 1970er Jahre ließ die weltweite Ressour-

ceninanspruchnahme noch Reserven übrig, seitdem übersteigt der jährliche Verbrauch die global zur Verfügung stehenden Ressourcen. Lag der Erderschöpfungstag seinerzeit noch im Dezember, fiel er nun, 35 Jahre später, auf den 1. August (vgl. Abb. 1). Der Deutsche Erdüberlastungstag war dieses Jahr sogar schon am 2. Mai (vgl. UBA 2018).

Insofern hat die Bundesrepublik – wie andere Industrienationen auch – aufgrund des sehr hohen „Erdverbrauchs“ im Vergleich zu anderen Ländern eine besondere Verantwortung für eine deutliche Reduktion der Ressourceninanspruchnahme. Diese Verantwortung liegt auch darin begründet, dass Deutschland als rohstoffarmes Land auf Importe angewiesen ist. Der Konsum zahlloser Produkte, bspw. Elektronikartikel, Haushaltsgeräte und Fahrzeuge, basiert überwiegend auf Rohstoffen, die in anderen Ländern gewonnen werden. „Dies bedeutet, dass der zunehmende internationale Handel zu einer Verlagerung der Rohstoffentnahme ins Ausland geführt hat. Im Jahr 2011 lag der ausländische Anteil am Rohstoffkonsum bereits bei 71 %, mit weiter ansteigender Tendenz“ (UBA 2016, S. 46 f.). Mit diesen Rohstoffentnahmen sind in den Ländern u. U. auch soziale und ökologische Probleme verbunden, die hier kaum wahrgenommen werden. Diese Zusammenhänge werden an dem Beispiel des europäischen Aluminiumkonsums als Ursache für die Rodung des Amazonas deutlich (s. Themenkasten).

**Der europäische Aluminiumkonsum als Ursache für die Rodung des Amazonas**

„Weltweit ist Brasilien der drittgrößte Produzent von Bauxit, das als Rohstoff für die Herstellung von Aluminium verwendet wird. Parallel zur globalen Entwicklung stieg die Aluminiumerzeugung in Brasilien kontinuierlich an und erreichte im Jahr 2013 knapp 38 Millionen Tonnen. Die Aluminiumproduktion in Brasilien ist größtenteils in der Hand ausländischer multinationaler Konzerne. Während das Land also durch den Export von Rohertz und daraus hergestellten Primärgütern verdient, wird der größte Teil des Mehrwerts durch die Weiterverarbeitung außerhalb Brasiliens erzielt.

Die Bauxitgewinnung und die Produktion von Aluminium nehmen in Brasilien rund 16.000 Quadratkilometer Fläche in Anspruch. Diese Zahlen sind umso alarmierender, wenn man bedenkt, dass die Bauxitvorkommen im Regenwald des Amazonas liegen. Der Bauxitabbau verursacht daher gravierende Umweltschäden, neben der Rodung des Regenwaldes kommt es zur Verschmutzung von Böden und Wasser. Dadurch werden indigene Gemeinschaften ihrer Lebensgrundlage beraubt und sind gezwungen, ihre traditionelle Lebensweise aufzugeben. Da große Mengen des in Brasilien abgebauten Bauxits indirekt im europäischen Konsum landen, wäre es von großer Bedeutung, in Kooperation zwischen Produzenten- und Konsumenten-Ländern ein nachhaltiges Zulieferketten-Management sicherzustellen und dadurch die negativen Auswirkungen auf Mensch und Umwelt auf ein Mindestmaß zu reduzieren.“ (UBA 2016, S. 49)

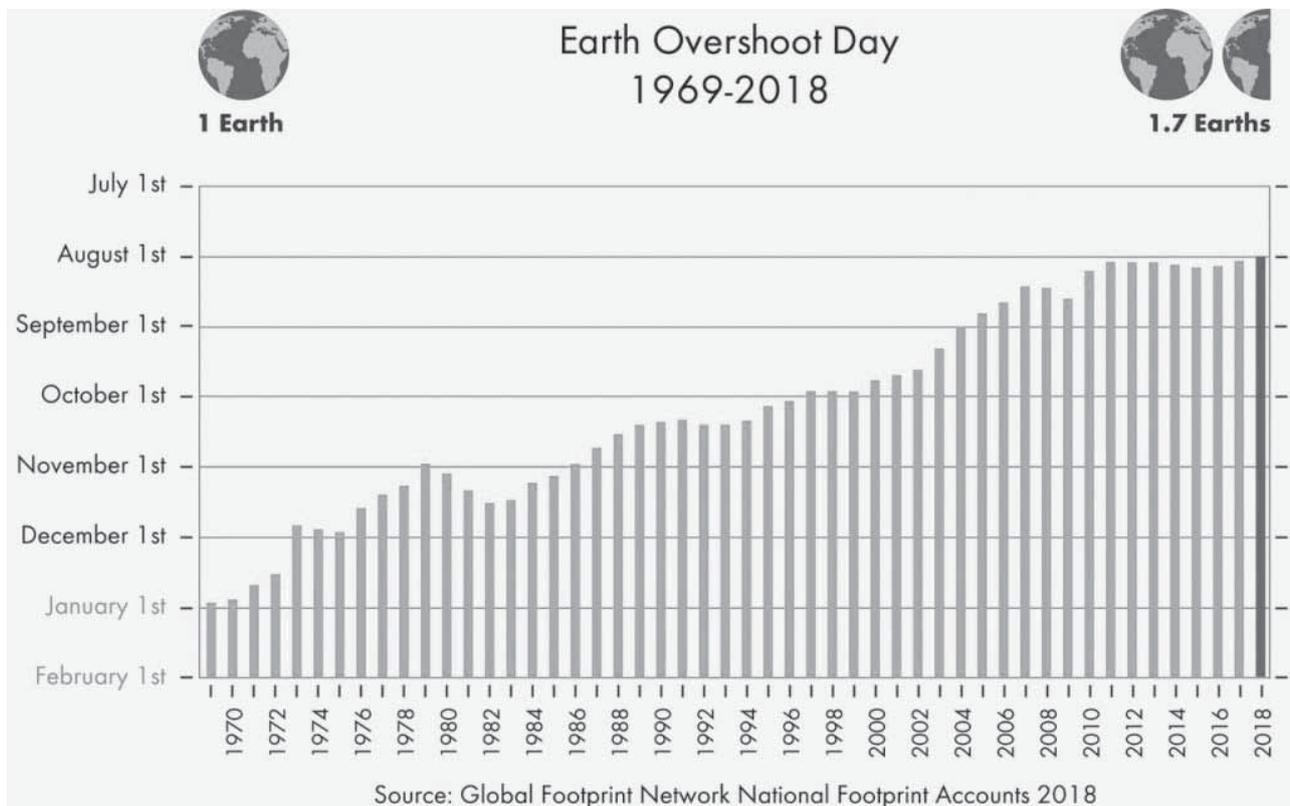


Abb. 1: Globaler Erderschöpfungstag 1969 bis 2018 (factory vom 01.08.2018)

weiter auf Seite 155

## Smart Factory – Industrie 4.0 in der Ausbildung

Die Vermittlung der komplexen Zusammenhänge von Industrie 4.0 in der Ausbildung stellt neue Anforderungen an das Ausbildungspersonal und macht moderne Unterrichtskonzepte notwendig. In der BBS 2 – der „Berufsbildenden Schule 2“ – in Wolfsburg führte das zu einer konzeptionellen Wende in der Berufsausbildung von Automatisierungstechnikern und Mechatronikern.

Bei diesem deduktiven Ansatz (vom Allgemeinen zum Besonderen) steht am Anfang der Ausbildung ein digitales Gesamtsystem, das Modellcharakter für das berufliche Handeln hat. Systemzusammenhänge, Aufbau, Funktionsweisen, Störungen und Problemlösungen können am Modell einer Smart Factory exemplarisch gelehrt, gelernt und entdeckt werden. Davon ausgehend lassen sich dann die Einzelkomponenten und Teilsysteme verstehen und innerhalb des Gesamtsystems nachvollziehen. Im Unterricht werden die komplexen Technologien und Prozesse von Industrie 4.0 im wahren Sinne des Wortes greifbar. Hier haben Auszubildende für Automatisierungstechnik und dual Studierende eine kompakte Smart-Factory-Abfüllanlage selbst entwickelt und gebaut. Sie funktioniert mit den gleichen technischen Komponenten wie eine Produktionsanlage in der Industrie.

Um das selbstständige Lernen der Jugendlichen zu unterstützen, haben die Auszubildenden eine Lernplattform entwickelt, die gleichzeitig der Kooperation zwischen Ausbildung, Schule, Produktion und Industriepartnern dient.

Das Video zeigt anschaulich, wie in Wolfsburg das didaktisch-methodische Konzept umgesetzt wird und möchte Auszubildenden Anregungen für deren eigene Ausbildungspraxis geben. Link zum Video: [https://www.foraus.de/html/foraus\\_8601.php](https://www.foraus.de/html/foraus_8601.php) (Quelle: [https://www.foraus.de/html/foraus\\_8601.php](https://www.foraus.de/html/foraus_8601.php))

### „Zeitenwende für die berufliche Bildung“

„Die berufliche Bildung steht durch die Digitalisierung der Arbeitswelt vor einer Zeitenwende.“ Dies betont der Präsident des Bundesinstituts für Berufsbildung (BIBB), Friedrich Hubert Esser, in seinem Vorwort zum jetzt erschienenen BIBB-Jahresbericht 2017. „Die berufliche Bildung

## INTRO

Berufsorientierung und Berufswahl ist für viele junge Menschen an der Schwelle des Übergangs von der Schule in den Beruf ein zumeist herausforderndes Thema. Eine falsche Entscheidung führt zu Frust in der Ausbildung oder gar zum Ausbildungsabbruch. Auch Unternehmen aus gewerblich-technisch orientierten Branchen der Industrie und des Handwerks leiden zunehmend darunter, dass sie nicht mehr den „richtigen“ Nachwuchs finden und fahren kontinuierlich ihre Ausbildungsbereitschaft herunter. Ein probates Mittel, um Bewerber/-innen und Unternehmen zusammenzubringen, sind seit langem schon Berufsbildungsmessen. Neu ist jedoch eine bestimmte Form der Kommunikation zwischen diesen beiden Parteien im Rahmen solcher Messen, das sog. Azubi-Speeddating. Abgeleitet vom Speeddating, bei dem man ein paar Minuten lang flirtet, um herauszufinden, ob man zueinander passt, prüfen beim Azubi-Speeddating der Ausbildungsbetrieb und der beziehungsweise die Auszubildenden-Kandidat/-in, ob es beruflich und zwischenmenschlich funktionieren könnte. Diese Form des Kennenlernens – wohl ein Kind unserer Zeit – ist z.Zt. hipp und wird entsprechend auch vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) im Rahmen eines entsprechenden Internetauftritts zur Berufsorientierung unter dem Label „Per Speeddating zum Ausbildungsplatz“ beworben (<https://www.praktisch-unschlagbar.de/de/per-speeddating-zum-ausbildungsplatz-1904.html>). Bedauerlicherweise führen die von dieser zunächst informativ erscheinenden Webseite angebotenen weiterführenden Informationen ins Datennirvana, so dass man leider auf der schnellen Suche nach Erhellendem zum Thema Azubi-Speeddating zumindest an dieser Stelle des Internets kläglich scheitert.

*Michael Sander*

hat jedoch in der Vergangenheit schon oft ihre Wandlungs- und Anpassungsfähigkeit bewiesen – und ich bin zuversichtlich, dass dies auch angesichts der aktuellen Herausforderungen geschehen wird“, so Esser weiter. „Denn die Digitalisierung birgt vor allem Chancen für die berufliche Bildung, die es klug zu nutzen gilt.“

Wie sich die berufliche Bildung im vergangenen Jahr angesichts dieser Herausforderungen und Chancen weiterentwickelt hat und welchen Beitrag das BIBB hierzu leistete, zeigt der Jahresbericht exemplarisch auf. So wurden zum Beispiel auf einer Fachkonferenz vom BIBB und dem Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) im November 2017 in Leipzig erste Ergebnisse der gemeinsamen Initiative „Berufsbildung 4.0“ präsentiert. Sie zeigen unter anderem in Form eines durchgeführten „Berufscreenings“ in

zwölf Berufen und Berufsfeldern, wie das Berufsbildungssystem für die Anforderungen einer digitalisierten Arbeitswelt zukunftsfest gemacht werden kann. Beispiel Ausbildungsmarkt und Beschäftigungssystem: Die erneute Zunahme der Besetzungsprobleme von Ausbildungsplätzen und das nahezu unveränderte Ausmaß der Versorgungsprobleme von Bewerberinnen und Bewerbern führten dazu, dass sich die Passungsprobleme auf dem Ausbildungsmarkt im vergangenen Jahr weiter verschärften. Wie die BIBB-Studien und Analysen zeigen, liegen die Ursachen hierfür vor allem in regionalen und beruflichen Ungleichheiten.

Der Jahresbericht 2017 kann im Internetangebot des BIBB kostenlos heruntergeladen werden unter [www.bibb.de/veroeffentlichungen](http://www.bibb.de/veroeffentlichungen). (Quelle: BIBB-Pressemittteilung 38/2018 vom 18.07.2018).

## WAS UND WANN?

20 Jahre BOP – 10 Jahre Rückblick und 10 Jahre Ausblick; <https://www.berufsorientierungsprogramm.de/jahrestagung2018>

03./04.12.2018 in Berlin

Online Educa Berlin 2018; <https://oeb.global/>

05.12.2018 in Berlin

Berufsbildung 2018  
<http://www.bbk.bayern.de/>

10.–13.12.2017 in Nürnberg

## GTW VERGIBT WISSENSCHAFTSPREIS 2018 „GEWERBLICH-TECHNISCHE WISSENSCHAFTEN“

Die Arbeitsgemeinschaft Gewerblich-Technische Wissenschaften und ihre Didaktiken (gtw) in der Gesellschaft für Arbeitswissenschaft e. V. (GfA) zeichnet alle zwei Jahre wissenschaftliche Arbeiten aus, die wichtige Beiträge zur Entwicklung des Erkenntnisstandes in den gewerblich-technischen Wissenschaften und ihren Didaktiken leisten. Im Rahmen ihrer Herbstkonferenz 2018 in Magdeburg wurde der von Christiani gesponserte Wissenschaftspreis „Gewerblich-technische Wissenschaften“ an vier Preisträger verliehen. Ausgewählt wurden zwei Studienabschlussarbeiten und zwei Dissertationen, die alle einen thematischen Schwerpunkt im Bereich der Arbeits-, Bildungs- und Technikwissenschaften haben.

Nach Beratung und Beschlussfassung einer von der gtw gebildeten Auswahlkommission\* wurden die folgenden Arbeiten ausgezeichnet:

*Preisträger 2018 im Bereich  
Studienabschlussarbeiten:*

**Benjamin Appold:** „Zur Relevanz mathematischer Kompetenzen in der Ausbildung und in der Facharbeit von Industriemechanikerinnen und Industriemechanikern“

Betreuer: Prof. Schlausch, Europa Universität Flensburg

**Julia Arnold:** „Studienmotive, Problemlagen sowie Stärken und Defizite beruflich qualifizierter Studierender in der Studieneingangsphase ingenieurpädagogischer Studiengänge“

Betreuer: Prof. Jenewein, Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg

*Preisträger 2018 im Bereich  
Dissertationen:*

**Dr. Tina Haase:** „Industrie 4.0: Technologiebasierte Lern- und Assistenzsysteme für die Instandhaltung“

Betreuer: Prof. Schenk / Prof. Jenewein, Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg

**Dr. Torben Karges:** „Wissensmanagement und Kommunikationsprozesse im Kfz-Service – Bedeutung und Perspektiven für die Facharbeit in Kfz-Werkstätten“

Betreuer: Prof. Becker, Universität Hannover; Prof. Schlausch, Europa Universität Flensburg



Vergabe des gtw-Wissenschaftspreises 2018 am 4. Oktober 2018 im Rathaus der Stadt Magdeburg anlässlich der gtw-Herbstkonferenz an der Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg. Von links nach rechts: Benjamin Appold, Dr. Tina Haase, Julia Arnold, Dr. Torben Karges (Preisträger); Lars Hartwig (Christiani)

Bildnachweis: Harald Krieg/Uni Magdeburg

Neben der Exzellenz der Arbeiten war Entscheidungskriterium u. a. auch der Aspekt, dass durch die ausgewählten Arbeiten charakteristische Arbeits- und Forschungsschwerpunkte der gewerblich-technischen Wissenschaften und ihrer Didaktiken repräsentiert werden. Das als „Einschlägigkeit“ benannte Kriterium ist nach Auffassung der gtw insbesondere in Hinblick auf die Bildungsbedeutung von Analysen betrieblicher Arbeitsprozesse und gewerblicher Technikfelder zu gewichten. Die ausgezeichneten Arbeiten befassen sich in diesem Sinne mit dem gesamten Spektrum aus stärker technikwissenschaftlichen, berufswissenschaftlichen und berufsdidaktischen Themenstellungen.

Besonderer Dank der gtw geht an die Dr.-Ing. Paul Christiani GmbH & Co. KG, die im Bereich der beruflichen Aus- und Weiterbildung ein hohes Renommee besitzt und die Preisverleihung auch finanziell unterstützt. Der gtw-Wissenschaftspreis wird regelmäßig im Rahmen der alle zwei Jahre stattfindenden Herbstkonferenzen vergeben.

Die gtw ruft alle Absolventen eines gewerblich-technischen oder berufspädagogischen Studiums sowie Promovenden deutschsprachiger Universitätsstandorte auf, sich auch in Zukunft mit Vorschlägen exzellenter und innovativer Dissertationen und Studienabschlussarbeiten (Staatsexamens-, Diplom- und Masterarbeiten) an dem Auswahlverfahren zu beteiligen. Gutachter und Betreuer von geeigneten Arbeiten ab Mitte 2018 werden jetzt schon gebeten, auf den gtw-Wissenschaftspreis 2020 hinzuweisen.

\*) Prof. Dr. Matthias Becker, Uni Hannover (gtw-Sprecher); Prof. Dr. Martin Frenz, RWTH Aachen (gtw-Sprecher); Prof. Dr. Klaus Jenewein, Uni Magdeburg Prof. Dr. Werner Kuhlmeier, Uni Hamburg; Prof. Dr. Manuela Niethammer, Uni Dresden; Prof. Dr. Georg Spöttl, Uni Bremen (gtw- Ehrenpräsident); Prof. Dr. Lars Windelband, PH Schwäbisch-Gmünd (gtw-Sprecher)

Technische Bildung im Kontext von ‚Digitalisierung‘/‚Automatisierung‘ – Tendenzen, Möglichkeiten, Perspektiven

## WEGE ZU TECHNISCHER BILDUNG

Donnerstag 23. Mai 13 Uhr – Samstag 25. Mai 13 Uhr Universität Bremen, ITB

Arbeitswelt und technische Bildung verändern sich im Kontext von ‚Digitalisierung‘/‚Automatisierung‘ zunehmend. Unter anderem stehen der klassische Fächerkanon, die Inhalte und Curricula der Ingenieurfächer zur Diskussion. Neue Konzepte der Ingenieurbildung werden weltweit entwickelt und international erprobt. Durch die Integration digitalisierter Lehr-/Lernelemente ändert sich die Rolle der Dozierenden und die Bedeutung der Präsenzlehre wird neu diskutiert. In Aus- und Weiterbildung eröffnen sich somit Möglichkeiten eines sinnvollen Wechsels zwischen Präsenz- und Selbststudium. Welche Fähigkeiten im Umgang mit (digitalen) Medien sind nötig, welches Verständnis zielführend und welche didaktischen Settings sind erfolgsversprechend?

Fachlich qualifizierte und auch im Sinne nachhaltiger Entwicklung verantwortlich handelnde Fachleute auszubilden bleibt dabei immer das Ziel technischer Bildung. Schwerpunkte der Tagung sind:

- Veränderung der Anforderungen der Arbeitswelt an Ingenieure\*innen und Facharbeiter\*innen
- Medienkompetenz
- Lehrpersönlichkeit und Medieneinsatz in der Lehre
- Zielgruppenadäquate Lehr-Lernkonzepte
- Nationale und internationale Best-Practice-Beispiele in der technischen Bildung
- Diversität und Heterogenität im Kontext mediengestützter Aus- und Weiterbildung

In Fortführung der Schwerpunkte und Diskussionen früherer Regionaltagungen sind gerne auch Beiträge zu folgenden Themenkreisen willkommen:

- Grundsatzfragen der Ingenieurpädagogik
- Anforderungen an die Ingenieurinnen und Ingenieure in der Zukunft – welche Kompetenzen sind gefragt?
- Ethische Fragen in der technischen Bildung
- Women in technical careers
- Best Practice-Beispiele innovativer Konzepte in Lehre und Studium
- Ziele der Sustainable Development Agenda 2030 der UN sowie der 2030 Education Agenda der UNESCO und deren Beitrag zur technischen Bildung

Die 14. Ingenieurpädagogische Regionaltagung lädt ein, sich mit aktuellen Forschungs- oder Lehrbeiträgen, Berichten und Praxisbeispielen zu beteiligen.

Alle weiteren Informationen und Hinweise, wie Sie sich beteiligen können, finden Sie unter <http://www.itb.uni-bremen.de>

Anmeldung unter [www.conftool.org/ipw2019/](http://www.conftool.org/ipw2019/)

Druckformatvorlage für das Einreichen von Abstracts unter <http://ipw-edu.org/tagungen.html>

Sie wollen mehr über die IPW, Ingenieurpädagogische Wissenschaftsgesellschaft wissen? <http://www.ipw-edu.org>

WIR SUCHEN...

- Mitglieder und/oder Schulen, die sich vorstellen möchten
- Informationen aus den Arbeitskreisen
- Informationen aus den Regionen
- Informationen aus der Forschung
- Hinweise und Informationen aus Ihrer fachrichtungsspezifischen Bildungspraxis
- Informationen zu Fachtagungen

Schicken Sie Ihre Beiträge bitte an die Geschäftsstelle ([kontakt@bag-elektrometall.de](mailto:kontakt@bag-elektrometall.de)) oder direkt an Michael Sander ([michael.sander@uni-bremen.de](mailto:michael.sander@uni-bremen.de)).

## BAG IN KÜRZE

Plattform zu sein für den Dialog zwischen allen, die in Betrieb, berufsbildender Schule und Hochschule an der Berufsbildung beteiligt sind – diese Aufgabe haben sich die Bundesarbeitsgemeinschaften gestellt. Ziel ist es, die berufliche Bildung in den jeweiligen Fachrichtungen Elektro-, Informations-, Metall- und Fahrzeugtechnik auf allen Ebenen weiterzuentwickeln.

Die Zeitschrift „lernen & lehren“ – als wichtigstes Organ der BAG – ermöglicht den Diskurs in einer breiten Fachöffentlichkeit und stellt für die Mitglieder der BAG regelmäßig wichtige Informationen bereit, die sich auf aktuelle Entwicklungen in den Fachrichtungen beziehen. Sie bietet auch Materialien für Unterricht und Ausbildung und berücksichtigt abwechselnd Schwerpunktthemen aus der Elektrotechnik und Informationstechnik sowie der Metalltechnik und Fahrzeugtechnik. Berufsübergreifende Schwerpunkte finden sich immer dann, wenn es wichtige didaktische Entwicklungen in der Berufsbildung gibt, von denen spürbare Auswirkungen auf die betriebliche und schulische Umsetzung zu erwarten sind.

Eine mittlerweile traditionelle Aufgabe der Bundesarbeitsgemeinschaften ist es, im zweijährlichen Turnus die Fachtagungen Elektrotechnik und Metalltechnik im Rahmen der HOCHSCHULTAGE BERUFLICHE BILDUNG zu gestalten und so einer breiten Fachöffentlichkeit den Blick auf Entwicklungstendenzen, Forschungsansätze und Praxisbeispiele in den Feldern der elektro-, informations- sowie metall- und fahrzeugtechnischen Berufsbildung zu öffnen. Damit geben sie häufig auch Anstöße, Bewährtes zu überprüfen und Neues zu wagen.

Die Bundesarbeitsgemeinschaften möchten all diejenigen ansprechen, die in der Berufsbildung in einer der Fachrichtungen

Elektro-, Informations-, Metall- oder Fahrzeugtechnik tätig sind, wie z. B. Ausbilder/-innen, (Hochschul-)Lehrer/-innen, Referendare und Studierende, wissenschaftliche Mitarbeiter/-innen sowie Vertreter/-innen von öffentlichen und privaten Institutionen der Berufsbildung. Sie sind herzlich eingeladen, Mitglied zu werden und die Zukunft mitzugestalten.

## BAG IN IHRER NÄHE

Baden-Württemberg	Lars Windelband	<a href="mailto:lars.windelband@ph-gmuend.de">lars.windelband@ph-gmuend.de</a>
Bayern	Peter Hoffmann	<a href="mailto:p.hoffmann@alp.dillingen.de">p.hoffmann@alp.dillingen.de</a>
Berlin/Brandenburg	Bernd Mahrin	<a href="mailto:bernd.mahrin@alumni.tu-berlin.de">bernd.mahrin@alumni.tu-berlin.de</a>
Bremen	Olaf Herms	<a href="mailto:oharms@uni-bremen.de">oharms@uni-bremen.de</a>
Hamburg	Wilko Reichwein	<a href="mailto:reichwein@gmx.net">reichwein@gmx.net</a>
Hessen	Uli Neustock	<a href="mailto:u.neustock@web.de">u.neustock@web.de</a>
Mecklenburg-Vorpommern	Christine Richter	<a href="mailto:ch.richter.hro@gmx.de">ch.richter.hro@gmx.de</a>
Niedersachsen	Matthias Becker	<a href="mailto:becker@ibm.uni-hannover.de">becker@ibm.uni-hannover.de</a>
Nordrhein-Westfalen	Reinhard Geffert	<a href="mailto:r.geffert@t-online.de">r.geffert@t-online.de</a>
Rheinland-Pfalz	Stephan Repp	<a href="mailto:mail@repp.eu">mail@repp.eu</a>
Saarland	Dieter Schäfer	<a href="mailto:d.schaefer@hwk-saarland.de">d.schaefer@hwk-saarland.de</a>
Sachsen	Martin Hartmann	<a href="mailto:martin.hartmann@tu-dresden.de">martin.hartmann@tu-dresden.de</a>
Sachsen-Anhalt	Klaus Jenewein	<a href="mailto:jenewein@ovgu.de">jenewein@ovgu.de</a>
Schleswig-Holstein	Reiner Schlausch	<a href="mailto:reiner.schlausch@biat.uni-flensburg.de">reiner.schlausch@biat.uni-flensburg.de</a>
Thüringen	Matthias Grywatsch	<a href="mailto:m.grywatsch@t-online.de">m.grywatsch@t-online.de</a>

### Hinweis für Selbstzahler:

Bitte nur auf das folgende Konto überweisen!

IBAN:

DE30 290 501 01 0080 9487 14

SWIFT-/BIC-Code:

SBREDE22XXX

## BAG-MITGLIED WERDEN

[www.bag-elektrometall.de/pages/BAG\\_Beitritt.html](http://www.bag-elektrometall.de/pages/BAG_Beitritt.html)

[www.bag-elektrometall.de](http://www.bag-elektrometall.de)

Tel.: 04 21/218-66 301

Konto-Nr. 809 487 14

IBAN: DE30 290 501 01 0080 9487 14

[kontakt@bag-elektrometall.de](mailto:kontakt@bag-elektrometall.de)

Fax: 04 21/218-98 66 301

Sparkasse Bremen (BLZ 290 501 01)

SWIFT-/BIC-Code: SBREDE22XXX

## IMPRESSUM

Bundesarbeitsgemeinschaften für Berufsbildung in den Fachrichtungen

Elektro-, Informations-, Metall- und Fahrzeugtechnik e. V.

c/o ITB – Institut Technik und Bildung

Am Fallturm 1

28359 Bremen

04 21/218-66 301

[kontakt@bag-elektrometall.de](mailto:kontakt@bag-elektrometall.de)

Redaktion

Layout

Gestaltung

Michael Sander

Brigitte Schweckendieck

Winnie Mahrin

## VERBESSERUNG DER RESSOURCENEFFIZIENZ

Angesichts der vorgenannten Probleme hat das Bundesumweltministerium 2012 ein „Deutsches Ressourceneffizienzprogramm (ProgRess)“ und 2016 ein Folgeprogramm „ProgRess II“ mit dem Ziel der nachhaltigen Nutzung und des Schutzes natürlicher Ressourcen aufgelegt (BMU 2016). Handlungsfelder sind u. a. die Sicherung einer nachhaltigen Ressourcengewinnung, die Steigerung der Ressourceneffizienz in der Produktion, die ressourcenschonendere Produktgestaltung und der Ausbau einer ressourceneffizienten Kreislaufwirtschaft (ebd., S. 44 ff.). Ein wichtiges Leitziel ist die „globale Verantwortung als zentrale Orientierung unserer nationalen Ressourcenpolitik“ (ebd., S. 7). Mit der Steigerung der Ressourceneffizienz ist die Absicht einer stärkeren Entkoppelung der wirtschaftlichen Entwicklung von der Inanspruchnahme natürlicher Ressourcen verbunden.

Mit dem Leitindikator Rohstoffproduktivität der deutschen Nachhaltigkeitsstrategie wird das preisbereinigte Bruttoinlandsprodukt (BIP) in Beziehung zum hierfür genutzten Materialverbrauch gesetzt. Der Materialverbrauch umfasst sowohl die Entnahme nichtbiologischer inländischer Rohstoffe und

die Rohstoffimporte (Metalle, Industrie- und Baumineralien, fossile Rohstoffe) als auch die Importe von Halb- und Fertigwaren (vgl. UBA 2015, S. 6). Die Entwicklung dieses Produktionsfaktors verdeutlicht, wie effizient eine Volkswirtschaft diese Materialien im Zeitverlauf nutzt. Die Bundesregierung hat das Ziel gesetzt, die Rohstoffproduktivität bis zum Jahr 2020 ggü. 1994 zu verdoppeln (vgl. Abb. 2).

Zwar sind diesbezüglich gesamtgesellschaftliche Fortschritte erreicht worden. Allerdings ist zu berücksichtigen, dass dieser Indikator nicht den jeweiligen „ökologischen Rohstoffrucksack“ erfasst (vgl. SCHMIDT-BLEEK 2004).<sup>1</sup> Außerdem werden zunehmend importierte Halb- und Fertigwaren eingesetzt, rohstoffintensive Produktionsschritte also zunehmend im Ausland stattfinden. Ob die Verdoppelung der Ressourcenproduktivität bis 2020 ausreicht, um die Naturinanspruchnahme für das menschliche Leben auf der Erde in nachhaltige Dimensionen zu bringen, wird bezweifelt. Wissenschaftliche Studien belegen, dass größere Produktivitätssteigerungen nötig und möglich sind. Das Spektrum reicht von Faktor 5 (vgl. v. WEIZSÄCKER u. a. 2010) bis zu Faktor 10 (vgl. SCHMIDT-BLEEK 1998).

### Rohstoffproduktivität

Rohstoffentnahme und Importe im Verhältnis zum Bruttoinlandsprodukt

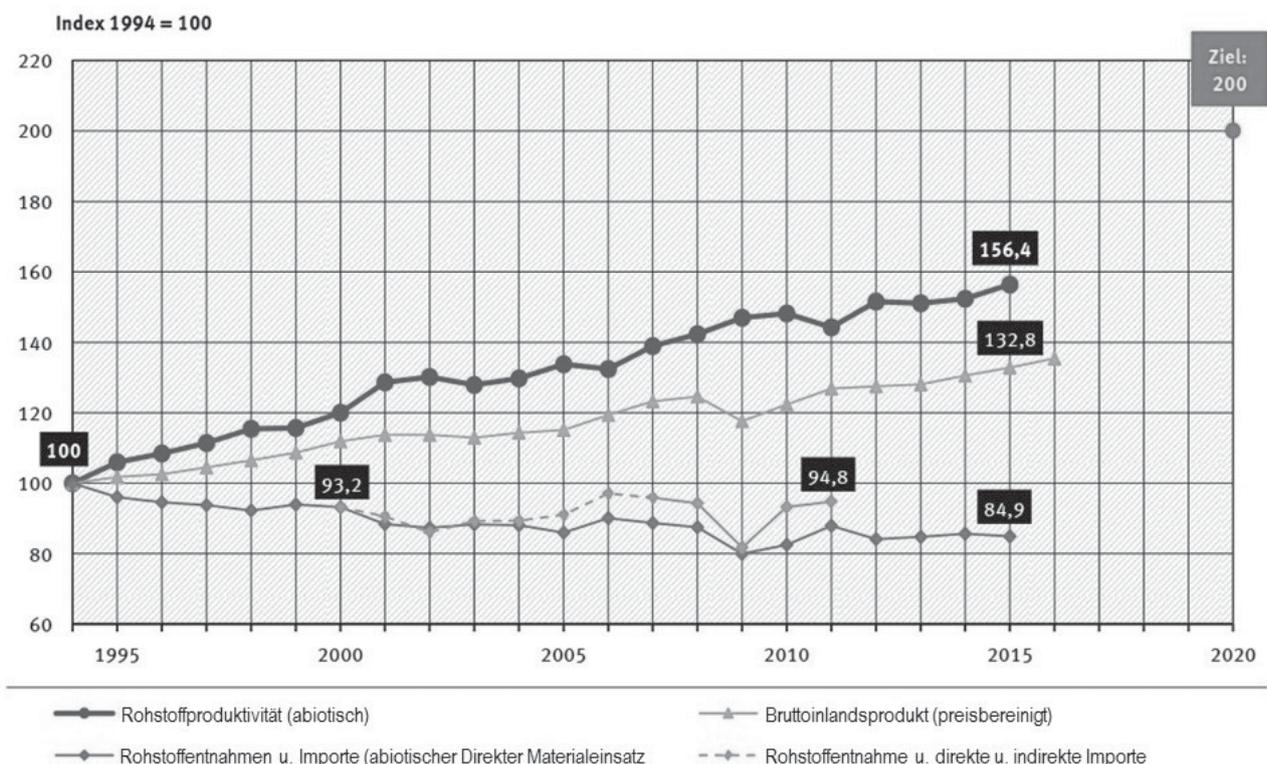


Abb. 2: Rohstoffproduktivität in Deutschland (UBA 2015, S. 7)

## STRATEGIEN FÜR NACHHALTIGES PRODUZIEREN MIT NEUEN WERKSTOFFEN

Um weitere Fortschritte bei der Reduktion des Ressourcenverbrauchs zu erreichen, bedarf es mehr als nur einer Effizienzstrategie, zumal durch den so genannten Rebound-Effekt<sup>2</sup> die ursprünglich positiven Wirkungen teilweise oder vollständig neutralisiert oder u. U. sogar in das Gegenteil verkehrt werden können (vgl. SANTARIUS 2015). So führen Materialeinsparungen häufig dazu, dass Produkte aufgrund der Marktgesetze billiger werden und den Konsum steigern, was den Materialverbrauch wiederum in die Höhe treibt. Weil dadurch die erreichten Einsparungen mehr als kompensiert werden können, wird eine rein auf Effizienz ausgerichtete Strategie also nur bedingt zum Erfolg führen und das Grundproblem des übermäßigen Naturverbrauchs bestenfalls reduzieren sowie zeitlich strecken, aber nicht beseitigen können – auch weil der Ressourcenbedarf mit dem Weltbevölkerungswachstum und mit der wünschenswerten Verbesserung der Lebensbedingungen in den weniger entwickelten Ländern der Erde weiter wachsen wird.

Wenn die Lebensbedingungen langfristig gesichert werden sollen, ist neben Effizienz vor allem der Übergang von unserem tradierten Naturverbrauch hin zu einer naturverträglichen Nutzung nachwachsender Rohstoffe und regenerativer Energien in der Güterproduktion erforderlich. Eine solche naturverträgliche Ausrichtung unserer Ressourcenbasis, bei der es nicht in erster Linie um weniger als vielmehr um andere Arten der Ressourcennutzung geht, hat HUBER (vgl. 2000, S. 4) mit dem Begriff Konsistenz bezeichnet. Die schnellstmögliche Substitution abiotischer, d. h. nichtnachwachsender Rohstoffe und fossiler Energieträger stellt das vordringlichste ökologische Vorhaben der Zukunftssicherung dar. Ferner ist eine Abkehr von tradierten Mustern des Überkonsums und der Wegwerfmentalität erforderlich hin zu einem „nachhaltigen Konsum“, nachdem nur „die

wirklich benötigte Menge von etwas“ in Anspruch genommen werden soll. Dies ist verbunden mit dem Begriff Suffizienz<sup>3</sup>. Konsistenz, Effizienz und Suffizienz sind grundlegende Elemente einer nachhaltigen Handlungsstrategie und sollten bei der Werkstoffentwicklung und -nutzung in diesem Dreiklang berücksichtigt werden.

Der Designansatz „Cradle to Cradle“ („von der Wiege bis zur Wiege“) entspricht dieser Zielsetzung. Er wurde in den 1990er Jahren entwickelt (BRAUNGART/McDONOUGH 2008) und ihm liegt eine sichere und potentiell unendliche Zirkulation von Materialien und Nährstoffen in Kreisläufen nach dem Vorbild der Natur zugrunde. Dieser Ansatz unterscheidet sich insofern von herkömmlichem Recycling und der Ressourceneffizienz, weil es sich hier um biologische und technische Kreislaufsysteme handelt. Im biologischen Kreislauf zirkulieren Produkte aus nachwachsenden Rohstoffen, die nach ihrem Gebrauch zu Kompost oder anderen Nährstoffen werden, aus denen wieder neue Produkte entstehen. Im technischen Kreislauf zirkulieren Gebrauchsgüter aus abiotischen Materialien, die jedoch bereits im Entwicklungs- und im Herstellungsprozess als Ressourcen für die nächste Nutzungsphase optimiert werden. Auch in diesem Kreislauf gehen Rohstoffe und Materialien nicht verloren, sondern werden nach ihrem Gebrauch zurückgewonnen und im Idealfall unendlich oft wiederverwertet (vgl. Abb. 3).

### NEUE WERKSTOFFE – CHANCE FÜR EINE NACHHALTIGE TECHNIKGESTALTUNG?

Die Frage nach den Chancen neuer Werkstoffe für eine nachhaltige Technikgestaltung lässt sich nicht einfach und vor allem nicht pauschal beantworten,

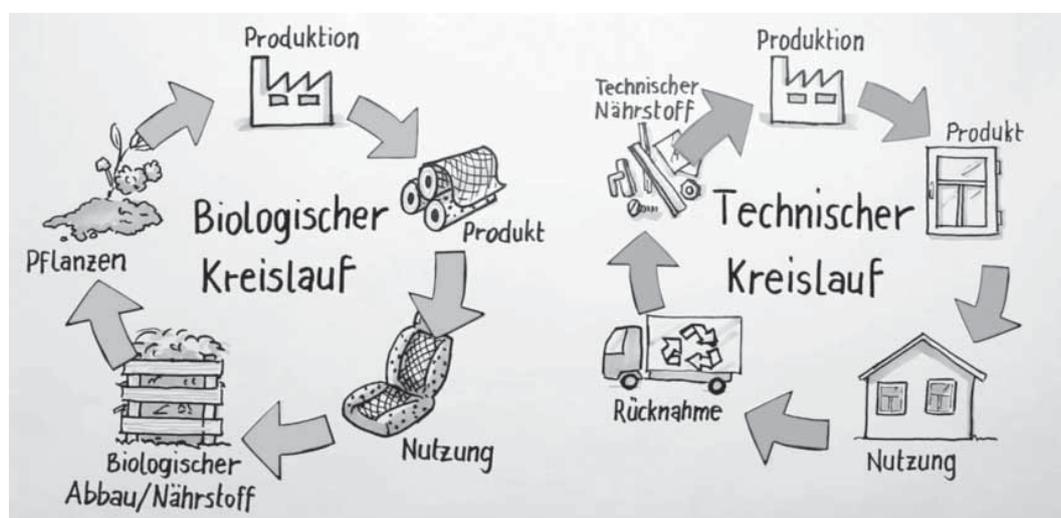


Abb. 3: Designansatz „Cradle to Cradle“ (OmniCert Umweltgutachter GmbH, Bad Abbach)

sondern bedarf einer differenzierten bzw. mehrdimensionalen Betrachtung. In diesem Zusammenhang sind die folgenden Fragen relevant:

- Aus welchen Quellen stammen neue Werkstoffe und unter welchen sozialen, ökologischen und ökonomischen Bedingungen werden sie erschlossen?
- Verdrängen sie andere Ressourcen (bspw. Lebensmittel)?
- Sind neue Werkstoffe, deren erwartete Funktion oder die mit ihnen verbundenen Produkte wirklich erforderlich?
- Inwieweit kann der Werkstoffeinsatz ohne Einschränkung der gewünschten Funktionalität und Nutzungsdauer reduziert werden?
- Welchen Beitrag leisten neue Werkstoffe bzw. die damit hergestellten Produkte während der Nutzung für eine nachhaltige Entwicklung?
- Wie lassen sie sich in biologischen oder technischen Kreisläufen wiederverwerten?

Nachfolgend werden ausgewählte Beispiele neuer Werkstoffe vorgestellt, die nach den vorgenannten Kriterien im Zusammenhang konkreter Anwendungsfälle hinsichtlich ihrer technischen und nachhaltigkeitsbezogenen Eigenschaften im Unterricht bewertet werden könnten.

### **HYBRIDE STAHLWERKSTOFFE ZUR GEWICHTSPARIS BEI HOHEN SICHERHEITSANFORDERUNGEN**

Als eine Tendenz zeichnet sich die verstärkte Entwicklung sogenannter Hybridwerkstoffe ab, sei es aus unterschiedlichen Stahlsorten oder aus Metallbauteilen in Verbindung mit Kunststoffen, Faserstoffen oder anderen Materialien. Ziel ist es dabei, einen Beitrag zum Leichtbau bspw. von Fahrzeugen zu leisten, um Energie zu sparen oder Nutzlasten zu erhöhen, ohne aber die Funktionalität, Lebensdauer oder Sicherheit einzuschränken. Bspw. ist „TriBond“ ein Stahl für den Fahrzeugbau, der eine hohe Festigkeit mit einer hohen Energieabsorption vereint.<sup>4</sup> Dabei handelt es sich um einen Schichtwerkstoff, der innen aus dem sehr hochfesten Mangan-Bor-Stahl MBW 1500 besteht, der die Insassen bei einem Unfall gut schützt, und außen aus Schichten von MBW 500, einem Stahl mit deutlich geringerer Festigkeit, der jedoch die Energie eines möglichen Aufpralls aufnimmt. Der Werkstoff „Litecore“ ist ein weiteres Beispiel für einen Leichtbauwerkstoff für die Fahrzeugindustrie. Er besteht aus einem Stahl-

Kunststoff-Stahl-Verbund, bei dem ein Polymerkern von zwei Stahldeckblechen ummantelt wird.<sup>5</sup> Ferner werden Werkstoffkombinationen, wie Aluminiumschaum-CFK-Sandwichverbunde oder Faser-Metall-Gummi-Hybridlamine für den Fahrzeugleichtbau entwickelt.<sup>6</sup>

### **KERAMIKWERKSTOFFE KÖNNEN STAHL UND EISEN ERSETZEN**

Für manche Anwendungen wird Keramik mittlerweile als eine „Alternative zu Stahl und Eisen“ (ALL ABOUT SOURCING 2011) betrachtet. Keramiken aus Aluminium- oder Zirconiumoxid verfügen über eine extreme Temperaturbeständigkeit und haben eine hohe Widerstandsfähigkeit gegen chemische und mechanische Einflüsse. Hieraus gefertigte Bauteile sind daher sehr belastbar und verfügen über hohe Standzeiten. Sie sind nicht nur nichtrostend, sondern auch nichtleitend und nichtmagnetisch – Eigenschaften, die vor allem für Anwendungen in Messtechnik, Steuerungstechnik oder Elektrotechnik bedeutsam sind. Serienprodukte aus solchen Keramikwerkstoffen werden im Niederdruck-Spritzguss und durch mechanische Hartbearbeitung bspw. für den Maschinen- und Anlagenbau gefertigt, etwa in Ultraschall-Bearbeitungszentren. Die Basis der Keramikwerkstoffe ist vielfältig. Hierzu zählen auch Glaskeramik, Siliziumnitrid und andere. Diese Werkstoffe wie auch Verbundwerkstoffe aus Hochleistungskeramik und Metall oder aus Hochleistungskeramik und technischen Kunststoffen finden ihre Anwendung im Maschinenbau, in der Elektronikfertigung oder im Automobilbau (vgl. DOCERAM o. J.).

### **BIOFASERVERBUNDWERKSTOFFE FÜR DEN LEICHTBAU**

Naturfasern werden in der Automobilindustrie – vor allem im Premiumsegment – schon seit mehreren Jahren für Armaturenbretter, Kofferraumauskleidungen und Tür- und Säulenverkleidungen verwendet. Noch nicht durchgesetzt haben sich naturfaserverstärkte Kunststoffe im Fahrzeugaußenbereich. Allerdings wird hier intensiv geforscht und erprobt mit dem Ziel, diese Materialien aufgrund ihrer sehr niedrigen Flächengewichte für weitere Gewichtsreduzierungen bei der Entwicklung von kraftstoffsparenden und elektrisch angetriebenen Autos zu nutzen. Zudem sollen Bioverbundwerkstoffe dazu beitragen, weniger Erdöl zu verbrauchen als für die Herstellung herkömmlicher Kunststoffe erforderlich ist. Sie bestehen aus mindestens zwei miteinander verbundenen Materialien, aus einer Kunststoff-Kom-

ponente (der sogenannten Matrix) und einer Faser-Komponente. Sie lassen sich in zwei Hauptgruppen unterscheiden:

- Naturfaserverstärkte Kunststoffe (NFK) mit Hanf, Flachs, Jute, Kenaf, Sisal, Abaka und anderen Naturfasern als Faser-Komponente;
- Holz-Polymer-Werkstoffe (Wood-Plastic-Composites – WPC).

Um vollständige Bioverbundwerkstoffe handelt es sich nur, wenn bio-basierte Kunststoffe (kurz: Biokunststoffe; s. u.) als Kunststoff-Komponente verwendet werden (vgl. CARUS/PARTANEN 2017).

Mit diesen Werkstoffen lassen sich nicht nur Fahrzeugkomponenten herstellen sondern auch Formpressteile für Gegenstände des privaten Gebrauchs (z. B. Möbel, Koffer, Tablett) oder Montageprofile für den industriellen und privaten Bereich zur Substitution der gängigen Aluminiumprofile. Mittlerweile hat der Anteil aller NFC und WPC zusammen ungefähr 15 Prozent des gesamten Composite-Markts erreicht (vgl. ISENBURG 2015).

## **BIOKUNSTSTOFFE ZUR SUBSTITUTION FOSSILER ROHSTOFFE**

Angesichts des Problems von Plastikmüll und Mikroplastik in den Weltmeeren gewinnt die Entwicklung von Biokunststoffen erneute Aufmerksamkeit. Biokunststoffe sind keine neue Erfindung. Bereits 1870 stellten die Gebrüder HYATT „Zelluloid“ her, einen thermoplastischen Kunststoff auf Zellulose-Basis, dem Hauptbaustoff der meisten Pflanzen. In Abhängigkeit des zugesetzten Kampferanteils wird der Biokunststoff hart wie Horn oder weich wie Gummi, sodass er u. a. für Billard-Kugeln, künstliche Gebisse, Tischtennisbälle, Knöpfe, Brillenfassungen und vor allem als Trägermaterial für Filme Verwendung fand. „Zellophan“ ist ein weiterer bekannter Biokunststoff, der ab 1923 produziert wurde. Bis in die 1930er Jahre wurden Kunststoffe fast ausschließlich aus nachwachsenden Rohstoffen hergestellt, erst nach dem 2. Weltkrieg nutzte man in der Kunststoffherstellung vermehrt Erdöl oder Erdgas als Rohstoff. Seit 1980 gibt es aber wieder nennenswerte Entwicklungen, sodass mittlerweile eine Vielzahl biobasierter Kunststoffe verfügbar ist, z. B. biobasierte Polyester, Polyamide, Polyurethane, Polyacrylate und Polyolefine (vgl. WICHERT 2013). Solche Werkstoffe finden Anwendung im Automobilbau, in Produkten der Unterhaltungselektronik, als Verpackungen u. a. m. (vgl. THIELEN 2018).

## **HOLZ MIT DER HÄRTE VON STAHL**

Anfang 2018 berichtete die Zeitschrift „Nature“ von einem relativ einfachen Verfahren, um aus Holz ein „high-performance structural material“ zu machen. „Das seit Jahrtausenden verwendete Material wird damit fit fürs 21. Jahrhundert und zu einer echten Alternative für Metalle und Kunstfasern“ (PFLANZENFORSCHUNG 2018, S. 1). Holz wird seit Urzeiten als Baumaterial genutzt, weil es eine hohe Stabilität aufweist und außerdem günstig und leicht verfügbar ist. Für moderne Anforderungen sind die mechanischen Eigenschaften dieses Werkstoffes jedoch oftmals unzureichend, auch wegen der ungleichmäßigen Materialeigenschaften und der Feuchteempfindlichkeit. Forschergruppen in der Schweiz und in den USA ist es jetzt gelungen, die Anordnung natürlicher Cellulosefasern zu nutzen, aber die geringe Dichte des Holzes zu erhöhen, indem sie es mit einfachen Chemikalien versetzten, um Lignin<sup>7</sup> und Hemicellulose<sup>8</sup> aus dem Holz auszuwaschen. Das so entstandene Material wurde unterschiedlichen Pressvorgängen unterzogen, sodass es danach fast nur noch aus Cellulose besteht. Dies führte zu einer Verdreifachung der Dichte und einer elfmal höheren Festigkeit im Vergleich zu unbehandeltem Holz. Dieser neue Werkstoff soll selbst die Festigkeit einer Titanlegierung um rund 80 Prozent übertreffen. „Besonderen Reiz erlangt das neue Material nicht zuletzt unter dem Aspekt der Bioökonomie: Es könnte Werkstoffe ersetzen, die aus Erzen oder Erdöl hergestellt werden. Holz hingegen ist erneuerbar und kann lokal produziert werden. Das neue „Super-Holz“ wäre also ein idealer Beitrag für die Transformation der Wirtschaft zu mehr Nachhaltigkeit“ (ebd., S. 2). Zudem ist es leichter als metallische Werkstoffe und lackiert sehr feuchtigkeitsresistent. Es könnte in Gebäuden, Flugzeugen und Fahrzeugen Anwendung finden, also überall, wo bisher Stahl verarbeitet wurde (vgl. SINEXX 2018).

## **STROMSPEICHER AUS NACHWACHSENDEN ROHSTOFFEN**

Aus dem oben erwähnten Lignin lassen sich Grundstoffe zur Herstellung von neuartigen wiederaufladbaren Batterien gewinnen. Lignin ist neben Zellulose das häufigste Polymer auf der Erde und es könnte statt wertvoller Metalle und anderer Materialien Rohstoff für preiswerte Speicher werden, die für die Energiewende notwendig sind. Forscher haben Lignin-Derivate aus dem Abwasser der Papierindustrie isoliert und mit sogenannten Polypyrrolen kombiniert, wie sie in Sensoren und Solarzellen verwen-

det werden. Durch die Kombination der isolierenden Eigenschaften des Holzes und der Leitfähigkeit der Polypyrrole entstand ein Verbundmaterial, das elektrische Ladungen speichern kann. Dadurch werden nicht nur kostbare Rohstoffe gespart, derartige Batterien sind zudem ungiftig und funktionieren auch im Wasser; nachteilig ist ihre Selbstentladung, auch wenn sie nicht in Gebrauch sind. Dieses Problem scheint aber lösbar (vgl. PFLANZENFORSCHUNG 2012). In einem anderen Forschungsprojekt wurden aus einem extrem porösen Schaum aus nanostrukturierter Zellulose, die aus Holz oder Strohabfällen gewonnen wird, leichte Superkondensatoren hergestellt, die als schnelle Speicher für Elektroautos Verwendung finden können. Indem winzige Zellulosenanokristalle in einer wässrigen Flüssigkeit mit elektrisch leitfähigen Substanzen aus Polypyrrolfasern, Kohlenstoffnanoröhrchen oder Mangandioxid-Nanoteilchen gemischt und anschließend gefriergetrocknet werden, entstehen sehr leichte Speicher mit hoher Ladungsdichte, die sich in beliebige Formen pressen lassen und dadurch elegant in Fahrzeugen integrierbar sein sollen (vgl. LÖFKEN 2015).

## SCHLUSSBETRACHTUNG

In diesem Beitrag konnte nur auf einige wenige Beispiele neuer Werkstoffe bzw. deren Entwicklung eingegangen werden. Es ist zu erwarten, dass sich vor dem Hintergrund der andauernden Diskussion um begrenzte Rohstoffreserven, Abfallprobleme, Klimawandel, Zerstörung von Lebensräumen und anderer Gesichtspunkte nichtnachhaltiger Technikgestaltung und -anwendung die Suche nach neuen Materialien und Designkonzepten beschleunigen und interessante Innovationen hervorbringen wird. Die Entwicklung neuer Werkstoffe zur Gewichtsreduzierung und für bessere Energiespeicher im Automobilbau belegen dies.

Ob die neuen Werkstoffe zur nachhaltigen Entwicklung beitragen, wird zu prüfen sein. Auch Biowerkstoffe sind nicht per se nachhaltig, denn deren Ökobilanz ist insgesamt nicht automatisch besser als die von herkömmlichen Kunststoffen. Zwar wird die endliche Ressource Erdöl geschont und der CO<sub>2</sub>-Ausstoß ist geringer, aber es sind zusätzliche Anbauflächen erforderlich, die Verwendung von Düngemitteln und Pflanzenschutzmitteln führen zu größeren Belastungen von Gewässern und Böden und der Wasserverbrauch steigt (vgl. UBA 2012). In einem Artikel über Faserverbundwerkstoffe ist bspw. zu lesen, es seien „von der Rohstoffseite ... bei Bioverbundwerkstoff-

fen keine Engpässe zu erwarten: Weltweit gibt es ein ausreichendes Angebot an Naturfasern und auch in Europa können bei entsprechender Nachfrage die Anbauflächen für Flachs- und Hanffasern noch erheblich erweitert werden“ (CARUS/PARTANEN 2017, S. 45). Es wird darauf zu achten sein, unter welchen Bedingungen die Rohstoffe gewonnen werden, ob dafür Bioabfälle genutzt oder Monokulturen angelegt werden, ob dies die Lebensmittelproduktion für die wachsende Weltbevölkerung beeinträchtigt und welche weiteren Gesichtspunkte einer nachhaltigen Entwicklung entgegenstehen.

Unstrittig ist jedoch: Der Ressourcenverbrauch muss vor allen in den Industrieländern reduziert werden, um die Lebensgrundlagen für künftige Generation zu erhalten und den ärmeren Ländern ihre Entwicklungsperspektiven nicht zu verstellen – wir haben schließlich nur eine Erde. Mit der Strategie einer kombinierten Ressourcen- bzw. Werkstoffeffizienz, -suffizienz und -konsistenz sowie mit dem Designkonzept „Cradle to Cradle“ sind nachhaltige Entwicklungspfade aufgezeigt. Gewerblich-technische Fachkräfte können (und müssen) hierfür Mitverantwortung übernehmen. Bildungsziel der beruflichen Schulen muss es daher sein, sie hierfür zu befähigen.

## ANMERKUNGEN

- 1) Der ökologische Rucksack umfasst die Summe aller natürlichen Rohmaterialien einschließlich der erforderlichen Energien, Biomaterialien und sonstigen Ressourceninanspruchnahmen.
- 2) Von Reboundeffekten wird gesprochen, wenn infolge von Verbesserungen der Ressourceneffizienz nicht eine Verringerung des Verbrauchs, sondern das Gegenteil bewirkt wird, weil bspw. infolge einer Kostenreduktion von Produkten deren Konsum und Nutzung anschwillt und dadurch der Ressourcenverbrauch steigt.
- 3) Der Begriff Suffizienz (aus dem Lateinischen *sufficere* = ausreichen, genügen) steht für „das richtige Maß“, bzw. „ein genügend an“.
- 4) siehe <https://www.thyssenkrupp-steel.com/de/newsroom/pressemitteilungen/pressemitteilung-2269.html> (10.09.2018)
- 5) siehe <https://www.thyssenkrupp-steel.com/de/newsroom/pressemitteilungen/pressemitteilung-6552.html> (10.09.2018)
- 6) vgl. <https://www.iam.kit.edu/wk/hwl.php> (10.09.2018)

- 7) eingelagerte feste Stoffe in der pflanzlichen Zellwand
- 8) in pflanzlicher Biomasse vorkommender Vielfachzucker

## LITERATUR

- ALL ABOUT SOURCING V. 04.03.2011: Keramik - Alternative zu Stahl und Eisen. Online
- BMU – BUNDESMINISTERIUM FÜR UMWELT, NATURSCHUTZ, BAU UND REAKTORSICHERHEIT (Hrsg.) (2016): Deutsches Ressourceneffizienzprogramm II. Programm zur nachhaltigen Nutzung und zum Schutz der natürlichen Ressourcen. Berlin. Online
- BRAUNGART, M.; McDONOUGH, W.: (2008): Einfach intelligent produzieren. Cradle to Cradle: Die Natur zeigt wie wir Dinge besser machen können. Berlin
- CARUS, M.; PARTANEN, A. (2017): Bioverbundwerkstoffe. Naturfaserverstärkte Kunststoffe (NFK) und Holz-Polymer-Werkstoffe (WPC). Hrsg.: FACHAGENTUR NACHWACHSENDE ROHSTOFFE E. V. (FNR). Gülzow-Prüzen. Online
- DOCERAM DOTHERM (o. J.): Hochleistungskeramik und technische Kunststoffe im allgemeinen Maschinenbau. Dortmund. Online
- HUBER, J. (2000): Industrielle Ökologie. Konsistenz, Effizienz und Suffizienz in zyklusanalytischer Betrachtung. In: SIMONIS, UDO ERNST (Hg), Global Change, Baden-Baden. Online
- ISENBURG, TH. (2015): Im Trend: Biowerkstoffe aus nachwachsenden Rohstoffen. In: TECHNIK + EINKAUF v. 25.06.2015. Online
- KMK – KULTMINISTERKONFERENZ (Hrsg.) (2017): Handreichung für die Erarbeitung von Rahmenlehrplänen der Kultusministerkonferenz für den berufsbezogenen Unterricht in der Berufsschule und ihre Abstimmung mit Ausbildungsordnungen des Bundes für anerkannte Ausbildungsberufe. Online
- LÖFKEN, J. O. (2015): Schnelle Stromspeicher aus Zellschaum. In: WELT DER PHYSIK v. 09.09.2015. Online
- MEADOWS, D. L.; MEADOWS, D. H.; ZAHN, E.; MILLING, P. (1972): Die Grenzen des Wachstums. Bericht des Clubs of Rome zur Lage der Menschheit. Stuttgart
- NATURE v. 07.02.2018: Processing bulk natural wood into a high-performance structural material. Online
- PFLANZENFORSCHUNG V. 29.03.2012: Forscher entwickeln Batterien aus Papierabfall. Online
- PFLANZENFORSCHUNG V. 26.02.2018: Holz wird zum Hightech-Werkstoff. Neues Verfahren verelfacht seine Festigkeit. Online
- SANTARIUS, T. (2015): Der Rebound-Effekt. Ökonomische, psychische und soziale Herausforderungen für die Entkopplung von Wirtschaftswachstum und Energieverbrauch. Marburg
- SCHMIDT-BLEEK, FR. (1998): Das MIPS-Konzept. Weniger Naturverbrauch – mehr Lebensqualität durch Faktor 10. München
- SCHMIDT-BLEEK, FR. (2004): Der ökologische Rucksack. Wirtschaft für eine Zukunft mit Zukunft. München
- SCINEXX - DAS WISSENSMAGAZIN vom 08.02.2018: Holz – so hart wie Stahl. Simple Methode macht Holz zu einem extrem festen und stabilen Hightech-Material. Online
- THIELEN, M. (2018): Biokunststoffe. Pflanzen, Rohstoffe, Produkte. Hrsg.: Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e. V. (FNR). Gülzow-Prüzen. Online
- UBA – UMWELTBUNDESAMT (Hrsg.) (2015): Gesamtwirtschaftliche Ziele und Indikatoren zur Rohstoffinanspruchnahme. Dessau-Roßlau. Online
- UBA – UMWELTBUNDESAMT (Hrsg.) (2016): Die Nutzung natürlicher Ressourcen. Bericht für Deutschland 2016. Dessau-Roßlau. Online
- UBA – UMWELTBUNDESAMT (Hrsg.) (2018): Earth Overshoot Day 2018: Ressourcenbudget verbraucht. Dessau-Roßlau. Online
- VON WEIZSÄCKER, E. U.; HARGROVES, K.; SMITH, M. (2010): Faktor Fünf: Die Formel für nachhaltiges Wachstum. München: Droemer
- WICHERT, FR. (2013) Biokunststoffe: Eine grüne Alternative zu konventionellem Plastik? In: Nachhaltigkeitsplattform RESET.org. Hamburg: RESET gemeinnützige Stiftungs-GmbH. Online. Online
- WUPPERTAL INSTITUT (Hrsg.) (2013): Factsheet 1 Ressourcen- und Energieverbrauch im Kontext der Nachhaltigkeit. Wuppertal. Online

Bei den genutzten Onlinequellen wurde auf die Angabe der URL aus Platzgründen verzichtet. Die Dokumente sind über die üblichen Suchmaschinen im Internet auffindbar (überprüft am 23.08.2018).

# Innovative Werkstoffe als Herausforderung für die Instandsetzung von Pkw-Karosserien



HELGE KIEBACH

Neben unterschiedlichsten Stahlsorten und Kunststoffen kommen bei modernen Pkw zunehmend Bauteile aus Aluminium und carbonfaserverstärkten Kunststoffen (CfK) zur Anwendung. Um eine fachgerechte Instandsetzung dieser Bauteile bei angemessenen Kosten auch in Zukunft zu gewährleisten, sind angepasste Reparaturmethoden notwendig. Voraussetzungen sind adäquate Informationen über die Möglichkeiten und Grenzen sowie eine prozesssichere und ohne Gesundheitsgefahren für das Werkstattpersonal erfolgende Umsetzung. Dazu sind eine sichere und schnelle Erkennung moderner Werkstoffe und ein fundiertes Wissen zum Umgang mit diesem Material erforderlich.

## MODERNE PKW-KAROSSERIEN

Vor dem Hintergrund künftiger CO<sub>2</sub>-Emissions-Obergrenzen besteht insbesondere bei Pkw für die Hersteller die strategische Aufgabe, den Leichtbau zu forcieren. Hierzu werden neben modernen Stählen und thermoplastischen Kunststoffen auch zunehmend Bauteile aus Aluminium und (in geringeren Stückzahlen) CfK verbaut (siehe Abb. 1).

Hinsichtlich der Materialeigenschaften – und damit auch des Umgangs bei der Reparatur – unterscheiden sich die eingesetzten Stähle, Aluminium und CfK zum Teil sehr deutlich

voneinander. Von Bedeutung ist hierbei, ob das Material in der lastaufnehmenden Karosseriestruktur oder in der Außenhaut eingesetzt wird. Aus dem Einsatzbereich ergeben sich unterschiedliche Anforderungen an ein Bauteil, insbesondere an die Festigkeit und Umformbarkeit.

Eine wichtige Voraussetzung für eine fachgerechte Reparatur ist daher zunächst eine sichere Kenntnis über die zu bearbeitenden Materialien. Hierzu sollten die Informationen des Fahrzeugherstellers eingesehen werden. Ist dies nicht möglich, kann ein Leitfaden zur Materialerkennung verwendet werden (vgl. KIEBACH et al. 2014, S. 75 f.).

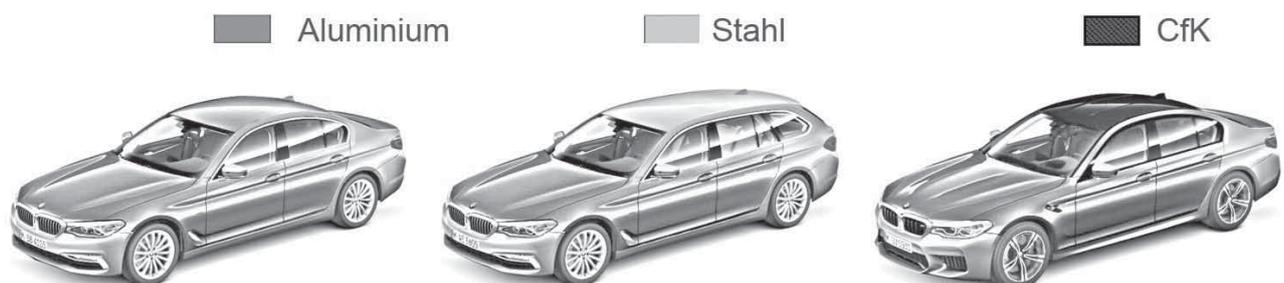


Abb. 1: Diversifizierung moderner Pkw-Karosserien - Dachhaut aus drei verschiedenen Materialien (Beispiel: BMW 5er [G30/G31/F90])

Um die verschiedensten Materialien im Zuge einer Instandsetzung fügen zu können, sind zunehmend fallspezifische Fügeverfahren erforderlich (s. Tab. 1). Diese müssen den Bedingungen im Werkstattalltag gerecht werden (verfügbare Gerätetechnik, Investitionen, Zugänglichkeit der Fügestelle, Prozesssicherheit usw.) und müssen nicht zwangsläufig den in der Produktion eingesetzten Methoden entsprechen (siehe Tab. 2). So sind beispielsweise Laserschweißnähte in der Werkstatt derzeit nicht reproduzierbar. Daraus folgt, dass bei einem Teilersatz in bestimmten Fällen alternative Fügeverfahren angewandt werden müssen. Hierzu gehören neben dem Kleben u. a. das Stanz- und Blindnieten sowie verschiedene Schweißverfahren.

### 1.1 Moderne Stähle

Das Spektrum der eingesetzten Stähle reicht von Tiefziehgüten mit einer Festigkeit von weniger als 210 MPa (Streckgrenze) bis zu modernen (ultra-hochfesten) Karosseriestählen mit einer Festigkeit

von mehr als 1100 MPa (Streckgrenze). In modernen Pkw-Karosserien kommen nicht selten mehrere Dutzend unterschiedliche Stahlsorten in anforderungsgerechter Kombination zum Einsatz. Eingesetzt werden warmgepresste Stähle an Bauteilen, die höchsten Crashbelastungen ausgesetzt sind (z. B. B-Säulenverstärkung). Im Gegensatz zu Tiefziehstählen dürfen derartige Stähle bei Richt- und Reparaturarbeiten nicht zu stark erwärmt werden. Geschieht dies dennoch, kann sich die Festigkeit infolge von Gefügeveränderungen drastisch reduzieren (vgl. FÜSSEL 2010). So kann die Zugfestigkeit von warm umgeformten hochfesten Stählen (z. B. MS-W1200) von 1400 MPa auf 700 MPa sinken (BERGWELER 2013, S. 64). Nach falscher Behandlung steigt zudem die Riss- und Bruchempfindlichkeit.

### 1.2 Aluminium

Mit stark steigender Tendenz werden an modernen Pkw-Anbauteile (Türen und Klappen) aus Aluminiumblech verbaut. Bei aktuellen Pkw-Konstruktionen

Verfahren	St/St	Alu/Alu	St/Alu	Metall/CfK
Clinchen	X	X	X	
MIG-Schweißen	X	X		
MAG-Schweißen	X			
Widerstandselementschweißen			X	X
Widerstandspunktschweißen	X	X		
Reibelementschweißen			X	
Laserschweißen	X	X		
Laserlöten	X			
Kleben	X	X	X	X
Bolzenschießen	X			
Flow Drill Schrauben		X	X	
Halbholstanznieten		X	X	
Vollstanznieten			X	
Blindnieten				X
Rollfalzen			X	

Tab. 1: Fügeverfahren für Materialmischbauweise (Auswahl)

Beispiel	Produktion	Reparatur
<b>BMW 7er (G11/G12)</b>		
Gepäckraumboden links	Fließblochschauben / Kleben / Schweißen / Stanznieten	Kleben / Blindnieten
Heckabschlussblech-Außenteil	Schweißen	Kleben / Blindnieten / Stanznieten
Motorträger vor Stirnwand	Fließblochschauben / Kleben / Schweißen / Stanznieten	Kleben / Blindnieten / Schweißen
Radhaus vorne	Fließblochschauben / Kleben / Schweißen / Stanznieten	Kleben / Blindnieten / Schweißen
<b>Audi A8 (D4)</b>		
B-Säulenverstärkung	Fließblochschauben / Stanznieten	Fließblochschauben / Kleben / Stanznieten
Federbeindom	Fließblochschauben / Schweißen / Stanznieten	Blindnieten / Stanznieten / Kleben / Schweißen
<b>Audi A8 (D5)</b>		
Rückwand	Schrauben / Kleben / Stanznieten	Kleben / Schrauben / Blindnieten
<b>VW Golf (VII)</b>		
Dach	Laserlöten / Kleben	Kleben / Schweißen

Tab. 2: Abweichende Fügeverfahren Produktion/Reparatur (Stand: November 2017)

kommt Aluminium verstärkt in Materialmischbauweisen, das heißt in Kombination mit anderen Materialien auch in tragenden Strukturen zum Einsatz. Neben Blechen kommen in der Karosseriestruktur vor allem kraftaufnehmende Gussteile und Strangpressprofile zum Einsatz. Diese festigkeitsrelevanten Bauteile müssen i. d. R. ersetzt werden, wenn sicht- oder messbare Verformungen, scharfkantige Beschädigungen oder Brüche festgestellt werden. Aufgrund der gegenüber Stahl deutlich geringeren Elastizität von Aluminium ist dessen Umformbarkeit niedriger und führt bei Überstreckung des Materials zu Kaltverfestigung und erhöhter Rissneigung. Wichtig ist deshalb, dass im Aluminium keine kleinen Risse („Haarrisse“) übersehen werden, die sich durch Belastung ausweiten können. Rückverformen oder Erwärmen von Strangpressprofilen und Gussteilen ist zumeist nicht zulässig. An Strangpressprofilen können bei einigen Fahrzeugmodellen Abschnittsreparaturen vorgenommen werden. Hierzu finden sich in den Reparaturinformationen vorgegebene Positionen für Trennschnitte.

Durch den Kontakt mit anderen Metallen bildet sich unter Feuchtigkeitseinwirkung (Elektrolyt) ein galvanisches Element, wodurch Aluminium korrodieren kann. Bauteile aus Aluminium werden daher bei der Herstellung einer speziellen Oberflächenbehandlung unterzogen. Geht dieser Schutz verloren, müssen beschädigte Teile speziell beschichtet bzw. ersetzt werden. Grundsätzlich sind an Aluminiumteilen keine Lötarbeiten und auch kein Verzinnen zulässig, da durch die Verwendung von Flussmitteln die Oberfläche angegriffen wird. Zur Wiederherstellung einer lackierfähigen Blechoberfläche sind daher nur Polyester- oder Metallpulverspachtelmassen zulässig. Als relativ neue Methode zur Rückformung von Deformationen in Aluminiumblechen hat sich das Außenausbeulen mit speziellen Geräten etabliert. Da sich Aluminium bei der Instandsetzung teilweise deutlich von der Stahlausbeultechnik unterscheidet, gelten für das Rückformen von Aluminium spezielle Regeln (vgl. KIEBACH et al. 2013, S. 427 ff.).

Die Grundanforderungen an einen Aluminiumarbeitsplatz sind Korrosions- und Explosionsschutz (vgl. Abschnitt „Arbeitssicherheit“). Daher sollte die Bearbeitung von Stahl- und Aluminiumbauteilen getrennt erfolgen. Oftmals ist deshalb vom Fahrzeughersteller vorgeschrieben, dass der Aluminium-Arbeitsplatz gegen Stahlpartikel abgeschirmt sein muss (zum Beispiel durch Vorhänge, mobile oder fest installierte Trennwände). Bei Fahrzeugen in Material-Mischbau-

weise sind diese Forderungen mit dem Prinzip der räumlichen Trennung im Reparaturfall jedoch nicht in jedem Fall zu erfüllen. Vor jedem Reparaturprozess mit einem Werkstoffwechsel sind dann der Arbeitsplatz und der Reparaturbereich am Fahrzeug zu reinigen. Da Werkzeuge, die für Stahl verwendet werden, Stahlpartikel in das weichere Aluminium eintragen, ist für die Bearbeitung von Aluminium ein gesonderter Werkzeugsatz zu verwenden. Die Fortsetzung der Reparatur erfolgt mit den jeweiligen Werkzeugen und Geräten für den als nächstes zu bearbeitenden Werkstoff. Elektrische Installationen und Geräte müssen in dem mit Aluminiumstaub kontaminierten Bereich ebenfalls explosionsgeschützt sein. Bestehende Richtbänke und Richtwinkelsätze können nach vorheriger gründlicher Reinigung wechselweise verwendet werden. Zum Absaugen der Stäube sind spezielle Staubsauger zu verwenden. Der gesammelte Aluminium-Staub ist ein Gefahrstoff und muss entsprechend den örtlichen Bestimmungen fachgerecht entsorgt werden.

### 1.3 Cfk

Bei Cfk-Bauteilen sind viele dünne Kohlenstofffasern in einen duroplastischen Kunststoff (sog. Matrix) eingebettet. Die Matrix fixiert die Kohlenstofffasern in der gewünschten Anordnung und überträgt die einwirkenden Kräfte auf die Fasern. Deshalb werden die Eigenschaften von Cfk maßgeblich von der Haftung zwischen Fasern und Matrixmaterial bestimmt. Da die Fasern nur in Längsrichtung eine sehr hohe Festigkeit aufweisen, ist das mechanische Verhalten von Cfk anisotrop („richtungsabhängig“). Die mechanischen Eigenschaften und damit auch die Schadenmechanismen von Cfk werden demzufolge hauptsächlich durch folgende Faktoren bestimmt:

- Anzahl und Dicke der Lagen,
- Faserorientierung,
- Faserlänge,
- Haftung zwischen Matrix und Fasern,
- Anzahl und Position von Preform-Elementen.

Verschiedene Cfk-Bauteile können sich demnach – auch von außen nicht erkennbar – deutlich voneinander unterscheiden. Mechanisch hoch beanspruchte Cfk-Bauteile in der Karosseriestruktur (siehe Abb. 2) bestehen i. d. R. aus Endlosfasern. Mechanisch wenig belastete Bauteile in der Fahrzeugaußenhaut bestehen dagegen häufig aus Cfk mit Kurzfasern. Durch die steigende Anzahl von Pkw mit Cfk-Bautei-

len in der Außenhaut sind derartige Fahrzeuge auch häufiger von Schäden (z. B. von Hagelschäden) betroffen (vgl. ECKHARDT/KIEBACH 2017, S. 88 ff.). Diese sichtbaren Cfk-Bauteile werden zum Schutz vor Umwelteinflüssen – insbesondere vor schädlichen ultravioletten Strahlen – mit einem Lack mit besonders hohem Lichtschutzfaktor beschichtet.



Abb. 2: Lokale Cfk-Verstärkungen im Dachholm (BMW 7er [G11/G12])

Cfk-Bauteile können unterschiedlich in die Karosseriestruktur integriert sein:

- Monocoque (z. B. Porsche 918 Spyder),
- Schalenbauweise (z. B. BMW i3),
- Einzelne Bauteile (z. B. Audi A8 [Typ D5]),
- Lokale Verstärkungen (BMW 7er [G11/G12]).

Daraus ergeben sich unterschiedliche mechanische Belastungen und ein Crashverhalten, das von dem konventioneller Karosserien in Schalenbauweise aus Stahl deutlich abweichen kann (vgl. KIEBACH 2014). Auch auf die Instandsetzungsmethoden und die eingesetzten Fügeverfahren wirkt sich die Funktion eines Cfk-Bauteils innerhalb der Karosseriestruktur aus.

An Cfk-Bauteilen können unterschiedliche Schadenarten auftreten. Die häufigsten Schäden sind der Zwischenfaserbruch, die Delamination sowie der Faserbruch.

- Beim Zwischenfaserbruch verläuft ein Bruch zwischen den Fasern, vorwiegend durch die Matrix oder entlang der Grenzfläche zwischen Faser und Matrix. Der Bruch kann durch fortschreitendes Risswachstum bis zur Materialrückseite vordringen. Zwischenfaserbrüche führen in den Bauteilen mit einer eindeutigen Schichtentrennung nicht zum Totalversagen, jedoch gehen von ihnen Delaminationen aus.

- Delamination beschreibt die Trennung bzw. das Ablösen einzelner Schichten im Laminat voneinander. Die Festigkeit des Verbundes ist in dem geschädigten Bereich stark reduziert.
- Bei einem Faserbruch sind die Fasern durchtrennt und der Faser-Matrix-Verbund zerstört. Er tritt überwiegend auf der dem Einschlagort gegenüberliegenden Seite auf.
- Bei Cfk-Bauteilen mit Kurzfasern kann es zum Faserende hin zu einem Auszug der Faser aus der Matrix kommen. Aufgrund der fehlenden Schichtentrennung entsteht jedoch keine Delamination.

Die Kohlenstofffasern machen Cfk-Bauteile prinzipiell elektrisch leitfähig. Beim spanabhebenden Bearbeiten von Cfk-Bauteilen entstehen daher elektrisch leitfähige und brennbare Stäube. Gelangt der Staub in elektronische Geräte (z. B. Steuergeräte, Smartphones, Diagnosegeräte), droht deshalb die Gefahr von Kurzschlüssen. Zur Absaugung der Stäube ist ein geeignetes Gerät mit Explosionsschutz – ausschließlich zur Bearbeitung von Cfk-Bauteilen – zu verwenden. Cfk-Staub ist ein Gefahrstoff und muss entsprechend den örtlichen Bestimmungen fachgerecht entsorgt werden.

Darüber hinaus ist zu beachten, dass die aus Harz bestehende Matrix von Cfk empfindlich auf Temperaturen von über 120 °C reagiert.

Aufgrund des unterschiedlichen Aufbaus und Einsatzes von Cfk-Bauteilen sind die Herstellervorgaben für die Schadenbeurteilung und Instandsetzung elementare Voraussetzung.

## HERSTELLERINFORMATIONEN

Wie in den vorangegangenen Abschnitten ausgeführt, sind technische Informationen des Fahrzeugherstellers für eine fachgerechte Instandsetzung von modernen Kraftfahrzeugen unabdingbare Voraussetzung.

Markengebundene Werkstätten haben die Möglichkeit, Informationen zur Instandsetzung direkt vom Hersteller auf internem Weg zu erhalten. Für „unabhängige Marktteilnehmer“ bestehen gleichwertige Informationsmöglichkeiten in elektronischer Form, z. B. über das Internet. Der Zugang zu technischen Informationen der Fahrzeughersteller war für unabhängige Marktbeteiligte zunächst durch die Verordnung (EG) Nr. 1400/2002 (Gruppenfreistellungsverordnung – GVO 1400/2002) geregelt. Gemäß dieser Verordnung war der Zugang unverzüglich und in nicht

diskriminierender sowie verhältnismäßiger Form zu gewähren. Mit der Verordnung (EG) Nr. 715/2007 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 20. Juni 2007 wurde neben der Typgenehmigung von Pkw und leichten Nutzfahrzeugen hinsichtlich der Emissionen, auch der Zugang zu Reparatur- und Wartungsinformationen neu geregelt. Dieser soll leicht und unverzüglich allen Marktteilnehmern uneingeschränkt gewährt werden. Voraussetzungen sind ein Computer mit Internetzugang und eine Registrierung bzw. ein gültiges Abonnement im Internetportal des jeweiligen Fahrzeugherstellers. Die Reparatur- und Wartungsinformationen sind i. d. R. nicht kostenfrei. Einen Überblick zu den Internetadressen mit Reparaturinformationen und Kostenmodellen verschiedener Pkw-Hersteller gibt KIEBACH (2017).

## ARBEITSSICHERHEIT

Die Gesundheitsgefahren durch das Bearbeiten von Bauteilen aus Aluminium und CfK ähneln sich in wesentlichen Aspekten. Sie resultieren unmittelbar aus den elektrisch leitenden, brennbaren und explosionsfähigen Stäuben. Da eine wesentliche Gefahrenquelle im Ansaugen von Zündquellen (z. B. infolge von Funkenflug bei der mechanischen Bearbeitung von Stahl) liegt, sind zum Absaugen von Aluminium- und CfK-Stäuben ausschließlich spezielle Staubsauger zu verwenden (siehe Abb. 3). Diese verfügen über ein mehrstufiges Sicherheitssystem:

- antistatische Schläuche,
- Funkenfalle,
- Beruhigungsstrecke.

Die Funkenfalle verhindert das Ansaugen einer thermischen Zündquelle, kann jedoch die chemischen Reaktionen einer Werkstoffmischung nicht vermeiden. Eine Mischung von Stäuben verschiedener Materialien (z. B. Stahl, Aluminium und CfK) im Filter und Staubsammelbehälter der Sauger ist deshalb unbedingt zu vermeiden. Andernfalls besteht die Gefahr eines Filterbrandes oder einer Feinstaub-Explosion. Das bedeutet in der Praxis, dass die speziellen Staubsauger für Stahl, Aluminium und CfK nicht zum Absaugen eines anderen Materials eingesetzt werden dürfen. Nach dem Gebrauch muss der Staubsauger zusammen mit anderen genutzten Werkzeugen gereinigt und aus dem Arbeitsbereich entfernt werden. Erst danach werden die Geräte für ein anderes – im weiteren Reparaturverlauf zu bearbeitendes – Material in den Arbeitsbereich geholt. Weitere Maßnahmen und Anforderungen zur „Vermeidung der Gefah-

ren von Staubbränden und Staubexplosionen beim Schleifen, Bürsten und Polieren von Aluminium und seinen Legierungen“ sind in Berufsgenossenschafts-Richtlinien festgehalten (vgl. DGUV 2008).



Abb. 3: Explosionsgeschützter Staubsauger mit anti-statischen Schläuchen, Funkenfalle und Beruhigungsstrecke

Neben der Explosions- und Brandgefahr besteht durch die Stäube das Risiko einer gesundheitlichen Gefährdung durch das Einatmen der Partikel. So steht CfK-Staub unter dem Verdacht, krebserregend zu sein (vgl. DGUV 2014). Aber auch der Kontakt der Stäube mit der Hautoberfläche bzw. das Verschlucken kann zu gesundheitlichen Risiken führen. Eine gesundheitliche Beeinträchtigung durch die Aufnahme von Aluminium über die Haut wird seit einigen Jahren kritisch diskutiert, ist derzeit jedoch nicht abschließend geklärt (vgl. BUNDESINSTITUT FÜR RISIKOBEWERTUNG 2014).

Aus der Explosionsgefahr und der potentiell gesundheitsschädlichen Wirkung von Stäuben durch Einatmen und Hautkontakt der Partikel resultieren folgende allgemeine Regeln zur spanabhebenden Bearbeitung von Bauteilen aus Aluminium und CfK:

- Kontakt des Staubes mit Haut, Augen und Kleidung vermeiden,
- geeignete Staubschutzmaske tragen,
- im Reparaturbereich nicht essen, trinken oder rauchen,
- nach Arbeitsende Hände gründlich reinigen,
- Feuer, rauchen und offenes Licht verboten,

- Arbeitskleidung, Schutzbrille und Schutzhandschuhe tragen,
- spanabhebende Bearbeitung nur mit explosionsgeschützter Absaugung durchführen,
- Arbeitsbereich regelmäßig mit Staubsauger reinigen und Oberflächen abwischen,
- Arbeitsplatz mit mobilen Trennwänden oder Schutzvorhängen abtrennen,
- Staub nicht mit Druckluft wegblasen.

Resultieren aus der spanenden Bearbeitung von Aluminium und CfK Staub-Emissionen, so fallen diese unter die Gefahrstoffverordnung und erfordern – zusätzlich zu den Herstellervorgaben – eine Gefährdungsanalyse des ausführenden Unternehmers (vgl. BMVJ 2017a).

Weitere einschlägige gesetzliche Vorgaben sind zu beachten, z. B. die Betriebssicherheitsverordnung (BMVJ 2017b), das Arbeitsschutzgesetz (vgl. BMVJ 2015) und die Berufsgenossenschaftlichen Regeln zur Arbeitsplatzlüftung (vgl. HVBG 2004).

Wird Aluminium geschweißt, entsteht gesundheitsgefährdender Schweißrauch. Auch hierzu sind entsprechende Maßnahmen zum Gesundheitsschutz zu ergreifen (vgl. DGUV 2010).

## ZUSAMMENFASSUNG

Neben gesteigerter passiver Sicherheit wird von modernen Fahrzeugen auch verstärkt eine Gewichtsreduktion gefordert. Diesen Zielkonflikt lösen die Automobilhersteller u. a. mit neuartigen Werkstoffen und Fügeverfahren. Neben modernen Stählen werden dabei zunehmend Aluminium, Kunststoffe und Faserverbundwerkstoffe in unterschiedlichem Umfang zu Mischbauweisen verbunden. Daraus folgen gestiegene Anforderungen an die Instandsetzung hinsichtlich verwendeter Werkstattausrüstung und der Ausbildung des Personals sowie die Berücksichtigung aktueller und fahrzeugindividueller Herstellervorgaben.

Nur wenn diese Voraussetzungen erfüllt sind, können die vom Hersteller konzipierten Eigenschaften eines Fahrzeugs nach einer Reparatur wiederhergestellt werden.

## LITERATUR

BERGWEILER, G. (2013): Lokale Wärmebehandlung mit Laserstrahlung zur Verbesserung der Umform- und Funktionseigenschaften von hochfesten Stählen. Online verfügbar unter: <http://publications.rwth-aachen.de/record/229402/files/4852.pdf> (Zugriff am 01.08.2018)

BMVJ (BUNDESMINISTERIUMS DER JUSTIZ UND FÜR VERBRAUCHERSCHUTZ) (2015): Gesetz über die Durchführung von Maßnahmen des Arbeitsschutzes zur Verbesserung der Sicherheit und des Gesundheitsschutzes der Beschäftigten bei der Arbeit (Arbeitsschutzgesetz – ArbSchG). Stand: 2015. Online verfügbar unter: <https://www.gesetze-im-internet.de/arbSchG/ArbSchG.pdf> (Zugriff am 29.06.2018)

BMVJ (BUNDESMINISTERIUMS DER JUSTIZ UND FÜR VERBRAUCHERSCHUTZ) (2017a): Verordnung zum Schutz vor Gefahrenstoffen (Gefahrenstoffverordnung – GefStoffV). Stand: 2017. Online verfügbar unter: [https://www.gesetze-im-internet.de/gefstoffv\\_2010/GefStoffV.pdf](https://www.gesetze-im-internet.de/gefstoffv_2010/GefStoffV.pdf) (Zugriff am 29.06.2018)

BMVJ (BUNDESMINISTERIUMS DER JUSTIZ UND FÜR VERBRAUCHERSCHUTZ) (2017b): Verordnung über Sicherheit und Gesundheitsschutz bei der Verwendung von Arbeitsmitteln (Betriebssicherheitsverordnung – BetrSichV). Stand: 2017. Online verfügbar unter: [https://www.gesetze-im-internet.de/betrSichV\\_2015/BetrSichV.pdf](https://www.gesetze-im-internet.de/betrSichV_2015/BetrSichV.pdf) (Zugriff am 29.06.2018)

BUNDESINSTITUT FÜR RISIKOBEWERTUNG (2014): Aluminiumhaltige Antitranspirantien tragen zur Aufnahme von Aluminium bei. Stellungnahme Nr. 007/2014 des BfR vom 26. Februar 2014. Online verfügbar unter: <https://www.bfr.bund.de/cm/343/aluminiumhaltige-antitranspirantien-tragen-zur-aufnahme-von-aluminium-bei.pdf> (Zugriff am 29.06.2018)

DGUV (DEUTSCHE GESETZLICHE UNFALLVERSICHERUNG) (2008): BG-Regel 109. Schleifen, Bürsten und Polieren von Aluminium. Vermeiden von Staubbränden und Staubexplosionen. Online verfügbar unter: <http://publikationen.dguv.de/dguv/pdf/10002/bgr109.pdf> (Zugriff am 29.06.2018)

DGUV (DEUTSCHE GESETZLICHE UNFALLVERSICHERUNG) (2010): BGI/GUV-I 7006-1. Schweißrauche – geeignete Lüftungsmaßnahmen. Online verfügbar unter: <http://publikationen.dguv.de/dguv/pdf/10002/i-7006-1--508343575.pdf> (Zugriff am 29.06.2018)

DGUV (DEUTSCHE GESETZLICHE UNFALLVERSICHERUNG) (2014): DGUV-Information. Bearbeitung von CFK Materialien. Orientierungshilfe für Schutzmaßnahmen. Online verfügbar unter: [https://www.dguv.de/medien/fb-holzundmetall/publikationen-dokumente/infoblaetter/infobl\\_deutsch/074\\_cfk\\_materialien.pdf](https://www.dguv.de/medien/fb-holzundmetall/publikationen-dokumente/infoblaetter/infobl_deutsch/074_cfk_materialien.pdf) (Zugriff am 29.06.2018)

ECKHARDT, S.; KIEBACH, H. (2017): Erkennung und Beurteilung von Hagelschäden an CfK-Außenhautbauteilen, In: VKU - Verkehrsunfall und Fahrzeugtechnik, Ausgabe Nr. 3/2017, S. 88-99

FÜSSEL, U. (2010): Fügen hochfester Bleche im Automobilbau. Vortrag im Rahmen der Karosseriebautage Hamburg 2010, 11. und 12. Mai 2010 Hamburg

HVBG (HAUPTVERBAND DER GEWERBLICHEN BERUFGENOSSENSCHAFTEN E.V.) (2004): BGR 121. Arbeitsplatzlüftung – Lufttechnische Maßnahmen. Online verfügbar unter: <http://publikationen.dguv.de/dguv/pdf/10002/bgr121.pdf> (Zugriff am 29.06.2018)

KIEBACH, H. (2014): Technische Information 01/2014, BMW i3 – ein neues Fahrzeugkonzept Schadenerkennung und Instandsetzung am Elektrofahrzeug BMW i3. Stand: 28. Juni 2018. Online verfügbar unter: <http://www.k-t-i.de/>

fileadmin/edit/user\_upload/2014-01\_TI\_BMW-i3.pdf  
(Zugriff am 29.06.2018)

KIEBACH, H. (2017): KTI, Technische Information 06/2017, Zugang zu Reparatur- und Wartungsinformationen. Stand: 28. Juni 2018. Online verfügbar unter: [http://www.k-t-i.de/fileadmin/edit/publikationen/ti/2017/2017-01\\_TI\\_Euro-5-6\\_V1.2.pdf](http://www.k-t-i.de/fileadmin/edit/publikationen/ti/2017/2017-01_TI_Euro-5-6_V1.2.pdf) (Zugriff am 29.06.2018)

Kiebach, H.; Schmorte, U.; Dehne, R. (2013): Untersuchung zur Außenbeulentechnik an Aluminiumbauteilen, Teil 1. In: VKU - Verkehrsunfall und Fahrzeugtechnik, Ausgabe Nr. 12/2013, S. 427-437

Kiebach, H.; Schmorte, U.; Dehne, R. (2014): Untersuchung zur Außenbeulentechnik an Aluminiumbauteilen, Teil 3. In: VKU - Verkehrsunfall und Fahrzeugtechnik, Ausgabe Nr. 2/2014, S. 75-76

## Neue Anforderungen an die berufliche Bildung

### durch den Einsatz und die Kombination von Hochleistungsverbundwerkstoffen und Mikrosystemtechnik



STEFAN BRÄMER



EVELYN MATSCHUCK



LINDA VIEBACK



CHRISTIAN VOGEL

Aktuelle Trends der Produktentwicklung kombinieren bereits im Produktionsprozess Hochleistungsverbundwerkstoffe mit Komponenten der Mikrosystemtechnik (u. a. Sensoren, LED, MID). Diese Prozesse finden sich weder in Kunststoff- noch in Elektronikberufen als inhaltliche Bestandteile der beruflichen Ausbildung wieder und stellen kleine und mittlere Unternehmen vor große Herausforderungen. Mit Zusatzqualifikationen würden Unternehmen bereits frühzeitig auf veränderte Umweltbedingungen und Qualifizierungsbedarfe reagieren können. Das im BMBF-Förderschwerpunkt „Innovative Ansätze zukunftsorientierter beruflicher Weiterbildung“ geförderte Projekt „ComWeiter - Zukunftsorientierte berufliche Weiterbildung in Composite-Berufen“ entwickelt sowie erprobt passfähige und mit der beruflichen Tätigkeit zu vereinbarende Weiterbildungsmodulare und -formate für Composite-Berufe.

#### COMPOSITES UND MIKROSYSTEMTECHNIK

Composites und Mikrotechnologien sind Schlüsseltechnologien des 21. Jahrhunderts, mit deren Hilfe die Leistungsfähigkeit und Zuverlässigkeit zahlreicher alltäglicher Systeme erheblich gesteigert werden können. Sie ermöglichen neue Applikationen mit zusätzlich integrierten Funktionalitäten und tragen zu einer höheren Zuverlässigkeit und effizienteren Herstellung bestehender Anwendungen bei. Von dieser Innovationskraft profitieren vor allem die Automobil-, Bio-, Elektronik-, Analyse-, Kommunikations-, Verfahrens- und Medizintechnik.

Mikrotechnologien finden sich als Hochtechnologie vor allem in wissensintensiven Branchen mit kurzen Innovationszyklen. Die Wissensbestände der Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter müssen fortlaufend aktualisiert sowie an neue Aufgaben, sich ändernde Bedingungen und technologische Entwicklungen angepasst werden, um die Handlungsfähigkeit im Arbeitsprozess aufrecht zu erhalten. Die Anforderungen durch immer komplexere Produktionssysteme, die Herausforderungen demografischer Veränderungsprozesse, globalisierte Wettbewerbsstrukturen sowie die Entwicklung zu einer Wissensgesellschaft,

erfordern eine kontinuierliche Anpassung der Unternehmen an sich ändernde Markt- und Wettbewerbsanforderungen.

Composites entstehen durch das Zusammenfügen mehrerer Werkstoffe. Zu den bekanntesten Composite-Werkstoffen gehören der glasfaserverstärkte Kunststoff (GFK), der carbonfaserverstärkte Kunststoff (CFK) und der basaltfaserverstärkte Kunststoff (BFK). Die Untergruppe der Faser-Kunststoffverbunde (FKV) spielt in technischen Anwendungen eine wichtige Rolle. Sie zeichnen sich durch besondere mechanische Eigenschaften aus und sind herausragende Leichtbauwerkstoffe. Faser-Kunststoffverbunde (FKV) entstehen durch das Einbetten eines Werkstoffes in Faserform in eine Kunststoffmatrix. Die Matrix dient dabei als Schutz und Stütze der Faser. Die Festigkeit und Steifigkeit des entstandenen Werkstoffs wird durch die Eigenschaften der verwendeten Fasern bestimmt. Die einzelnen Fasern sind dabei wesentlich dünner als ein menschliches Haar und nur wenige Mikrometer stark. Bis zu 24.000 einzelne Endlosfasern werden zur Weiterverarbeitung in einem Roving zusammengefasst und z. B. im Wickelverfahren zu einem Bauteil gefügt. Für die Herstellung flächiger Bauteile werden die Faserbündel zunächst zu technischen Textilien gelegt, verwebt oder gewirkt. Abhängig von der geplanten Geometrie, den Anforderung und den zu produzierenden Stückzahlen eines Bauteils kommen verschiedenste Fertigungsverfahren zum Einsatz.

Mikro-Elektrische-Mechanische-Systeme (MEMS) beschreiben eine Kombination aus miniaturisierten mechanischen, optischen, elektrischen und fluiden Bauelementen, die für innovative Sensor- und Aktorsysteme eingesetzt werden. Wichtige Substratwerkstoffe sind dabei Silizium, Keramiken, Kunststoffe und Gläser. Eine spezielle Anwendung sind Molded-Interconnect-Devices (MID), die es ermöglichen, neben den klassischen elektrischen Funktionen gleichzeitig weitere Funktionalitäten (z. B. Stecker, Kanäle, Halterungen, Gehäuse, etc.) auf einem Schaltungsträger zu integrieren.

## COMPOSITE-BERUFE

Die beschriebenen beruflichen Anforderungs- und Handlungsfelder lassen sich unter dem Begriff der Composite-Berufe zusammenfassen.

Composite-Berufe beinhalten jene beruflichen Tätigkeiten, die, im Un-

terschied zu den separaten Berufsfeldern in den Bereichen „Metall“, „Kunststoff“ bzw. „Holz“ usw., auf die Zusammenführung von unterschiedlichen Werkstoffen zu einem Verbundwerkstoff oder einem Werkstoffverbund ausgerichtet sind. Weiterhin wird mit dem Begriff eine Tätigkeit bezeichnet, welche die Integration von metallischen und/oder elektronischen Mikrosystem-Komponenten in einen (u. a. spritzgegossenen, 3D-gedruckten) Kunststoff beinhaltet, sodass im Ergebnis ein „intelligenter Kunststoff“ entsteht. Eine Tätigkeit in den „Composite-Berufen“ ist nicht allein auf den eigentlichen Fertigungsprozess beschränkt, da die Tätigkeitsfelder den gesamten Wertschöpfungsprozess und den gesamten Produktlebenszyklus des Produkts bzw. Bauteils erfassen. Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter, die im Bereich der Composite tätig sind, besitzen häufig einen artfremden Berufsabschluss. Bedingt durch den Fachkräftemangel in dieser Branche sowie durch das Fehlen eines „Facharbeiter/-innen-Abschlusses für Composite“, werden bevorzugt Fachkräfte aus Handwerksberufen (u. a. „Tischler/-in“, „Bäcker/-in“, „Metallbauer/-in“, „Maler/-in“, „Lackierer/-in“) eingestellt und innerbetrieblich weitergebildet.

## HERAUSFORDERUNGEN FÜR DIE BERUFLICHE BILDUNG

Aktuelle Trends der Produktentwicklung kombinieren bereits im Produktionsprozess Hochleistungsverbundwerkstoffe mit Komponenten der Mikrosystemtechnik (u. a. Sensoren, LED, MID). Diese Prozesse finden sich weder in Kunststoff- noch in Elektronikberufen. Allein die unterschiedlichen Prozesstemperaturen bei denen Kunststoffbauteile und elektronische Komponenten verarbeitet werden, stellen die KMU vor große Herausforderungen.

In KMU kommen bei der Fertigung von faserverstärkten Bauteilen hauptsächlich Injektions-, Infusions- und Nasslaminierprozesse zum Einsatz (vgl. Abb. 1).



Abb. 1: Vakuuminfusionsverfahren erfordern viel Handarbeit und Genauigkeit

Diese Prozesse weisen einen geringen Automatisierungsgrad auf und erfordern viel Handarbeit. Kostenfaktoren sind hauptsächlich die Arbeitsleistung und der Formenbau. Andererseits sind die Unternehmen dadurch besser in der Lage, flexibel auf verschiedene Aufträge zu reagieren.

Faserverstärkte Kunststoffe sind allgemein kostenintensiver als klassische Konstruktionswerkstoffe wie z. B. Stahl. Eine breite Anwendung finden FKV in der Luft- und Raumfahrt, da hier durch Gewichtsparsparnisse vergleichsweise hohe Energiekostensenkungen ermöglicht werden. Das branchenübergreifende Streben nach Ressourceneffizienz bewirkt in jüngerer Zeit auch eine weitere Verbreitung der innovativen Werkstoffe (vgl. AVK 2013). Im Jahr 2010 lag der weltweite Bedarf an Kohlenstofffasern noch bei 33.000 Tonnen. Bis zum Jahr 2016 hat sich dieser etwa verdoppelt und wird bis zum Jahr 2022 auf schätzungsweise 120.000 Tonnen ansteigen (vgl. STATISTA 2017a). Die Erhöhung der Produktionsmengen der Kohlenstofffasern führt zu einer Senkung des Marktpreises. Daher ist mittelfristig mit einem Anstieg von CFK-Anwendungen auch in Branchen abseits der Luft- und Raumfahrt oder Automobilindustrie zu rechnen. Die ständige Weiterentwicklung der innovativen Werkstoffe, die Kombinationsmöglichkeiten mit mikrosystemtechnischen Bauteilen, die Vielfalt der technologischen Fertigungsverfahren und auch der Einsatz in hybriden Anwendungen sind für Unternehmen sowie Fachkräfte große Herausforderungen (vgl. WITTEN/KRAUS/KÜHNEL 2015, 17 ff.).

Der Bedarf an Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern, die ein großes Spektrum an anwendungsbezogenem Wissen zur Werkstoff- und Fügetechnik mitbringen wird stetig weiter steigen. Den hohen Wachstumsraten in allen Einsatzbereichen der Faserverstärkten Kunststoffe stehen auf dem Arbeitsmarkt nur sehr wenige Fachkräfte insbesondere für die Produktion gegenüber.

### **ZUSATZQUALIFIKATION UND SPEZIALISTINNEN- UND SPEZIALISTEN-WEITERBILDUNG „INTELLIGENTE KUNSTSTOFFE“**

Konkret existieren am Weiterbildungsmarkt keine beruflichen Weiterbildungsangebote, die Inhalte aus akademischen Curricula, beispielsweise aus Studiengängen der Mikrosystemtechnik oder der Composite-Technologien, auf die Anforderungen und Bedarfe der Unternehmen transferieren und diese in kurzzyklischen Formaten als berufliche

Weiterbildungsangebote anbieten. Auch Zusatzqualifikationen im Bereich der beruflichen Ausbildung lassen sich in diesem Bereich nicht finden. Vor diesem Hintergrund besteht ein hoher Bedarf, sowohl Zusatzqualifikationen als auch berufliche Weiterbildungsangebote zur Thematik „Intelligente Kunststoffe“ zu konzipieren und zu implementieren.

Um die Möglichkeit der Umsetzung zu skizzieren, wird im Folgenden exemplarisch die Spezialistinnen und Spezialisten-Weiterbildung „Intelligente Kunststoffe“ auf DQR-Niveau 5, welche im Projekt „ComWeiter“ entwickelt wurde, beschrieben. Der DQR-Level 5 beschreibt Kompetenzen, die zur selbständigen Planung und Bearbeitung umfassender fachlicher Aufgabenstellungen in einem komplexen, spezialisierten, sich verändernden Lernbereich oder beruflichen Tätigkeitsfeld benötigt werden (vgl. BÜCHTER/DEHNBOSTEL/HANF 2012).

Die Fragen, die daraus resultieren, lauten:

1. Welche besonderen Anforderungen sind bei der Ausgestaltung eines Lehr-Lern-Arrangements im Rahmen einer Zusatzqualifikation zu beachten?
2. Wie muss eine Zusatzqualifikation im Bereich dieser Hochtechnologien methodisch-didaktisch umgesetzt werden, damit die heterogene Zielgruppe trotz unterschiedlichen Erfahrungs- und Kenntnisstandes bezüglich Kunststoff und Elektronik erfolgreich die Zusatzqualifikation absolvieren kann und neue technologische Erkenntnisse in diese mit einfließen?

Das Referenzcurriculum dieser beruflichen Weiterbildung basiert sowohl auf Inhalten der dualen Berufsausbildungen der Berufe „Mikrotechnologe/Mikrotechnologin“ und „Verfahrensmechaniker/-in für Kunststoff- und Kautschuktechnik“ sowie der Spezialistinnen und Spezialisten-Lehrgänge „Spezialist/-in Faserverbundtechnologie“ und „Spezialist/-in Mikrotechnologie“ als auch der Techniker/-innen-Lehrgänge „Techniker/-in für Kunststofftechnik und Faserverbundtechnologie“ und „Techniker/-in für Mikrotechnologien“ sowie der (dualen) Bachelorstudiengänge „Composite Technologien“ und „Mikrosystemtechnik“. Damit existieren bereits berufliche und akademische Angebote, die durch die Kombination ihrer Inhalte, mit einer entsprechenden methodisch-didaktischen Reduktion der inhaltlichen Komplexität, den angesprochenen Bedarfen der verknüpfenden Vermittlung der Schlüsseltechnologien Mikrosystemtechnik und Hochleistungsverbundwerkstoffe (Composite) gerecht werden.

Ein Beispiel für die Umsetzung eines inhaltlichen Themenkomplexes wäre die Erstellung eines 3D-MID Bauteils. Wie bereits beschrieben, ermöglicht die MID-Technologie, neben den klassischen elektrischen Funktionen, gleichzeitig weitere Funktionalitäten zu integrieren. Hier bieten die Faserverbundwerkstoffe hervorragende Anwendungsmöglichkeiten. So könnten z. B. Sensoren zur Schadens- und Wartungsüberwachung direkt auf dem Rotorblatt (GFK) einer Windkraftanlage integriert werden.

Die Herausforderung besteht einerseits darin, das berufliche Weiterbildungsangebot „Intelligente Kunststoffe“ didaktisch-methodisch so auszugestalten, dass die heterogene Zielgruppe (Kunststoff-/Elektronikberufe) trotz unterschiedlicher Vorkenntnisse bezüglich Kunststoff und Elektronik erfolgreich die berufliche Weiterbildung absolvieren kann. Andererseits stammen eine Vielzahl der zu vermittelnden Inhalte aus den Curricula der Bachelor- und Masterstudiengänge der Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg und der Hochschule Magdeburg-Stendal und müssen didaktisch-methodisch auf die neue Zielgruppe beruflich qualifizierter adaptiert werden. Die berufliche Weiterbildung „Intelligente Kunststoffe“ charakterisiert die Entwicklung eines Weiterbildungsangebotes im Bereich der Composite-Berufe mit Verschmelzung von neuartigen (Verbund-)Werkstoffen und den Grundlagen der Elektrotechnik. Die methodisch-didaktischen Anforderungen an solch eine berufliche Weiterbildung lassen sich mit Arbeitsprozessorientierung, Blended Learning, Modularisierung und Flexibilisierung sowie dem Ansatz

des situierten Lernens (Anchored Instruction-Ansatz) zusammenfassen. Dabei werden die Lernorte Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg (Mikrosystemtechnik), Hochschule Magdeburg-Stendal (Composite-Technologien) sowie Unternehmen (praxisorientiertes Lernen, Arbeitsprozessorientierung) im Rahmen der methodisch-didaktischen Umsetzung (Berechnungs- und Anwendungsbeispiele aus der Praxis, Einsatz multimedialer und onlinebasierter situierter Lehr-Lernarrangements, arbeitsprozessorientiertes Abschlussprojekt) miteinander kombiniert.

Das konzeptionelle organisatorische Rahmenmodell der beruflichen Weiterbildung „Intelligente Kunststoffe“ ist in Abb. 2 dargestellt.

Im ersten Schritt erfolgen die Kompetenzbilanzierung und mögliche Anrechnungen formeller und informeller Kompetenzen sowie die Berücksichtigung der individuellen (Berufs-) Bildungsbiografie. Im Anschluss an die teilnehmerspezifische Weiterbildungsmodul- bzw. Studienprogrammplanung wird eine trilaterale Weiterbildungsvereinbarung getroffen, welche die Interessen der drei beteiligten Parteien (Teilnehmer/-innen, Unternehmen, Hochschulen) berücksichtigt. Die eigentliche berufliche Weiterbildung erfolgt in arbeitsprozessorientierten Projekten mit theoretischer Vorbereitung und Dokumentation sowie praktischer Vertiefung, Auswertung und Verteidigung durch den Einsatz hybrider Lehr-Lernarrangements (Blended Learning). Am Ende der beruflichen Weiterbildung steht bspw. die „DQR5-Thesis“ mit Abschlussarbeit und einem Zertifikat auf

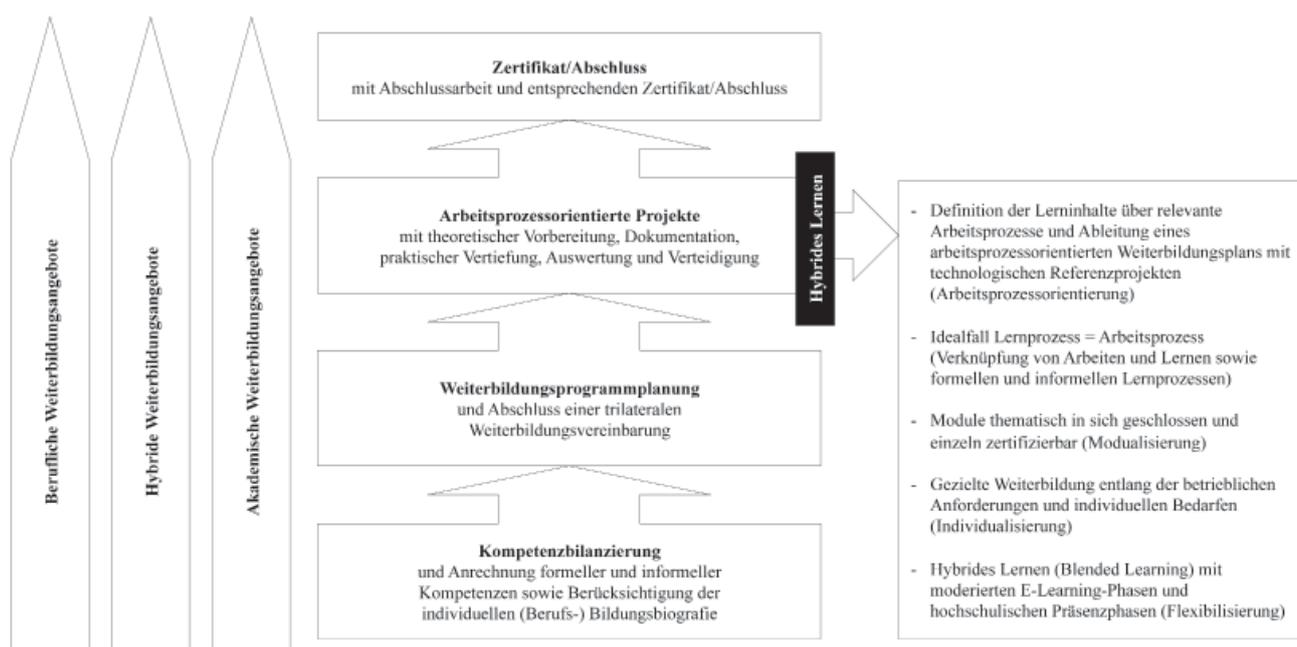


Abb. 2: Organisatorisches Rahmenmodell der beruflichen Weiterbildung „Intelligente Kunststoffe“ (vgl. BRÄMER/HIRSCH 2013, S. 48)

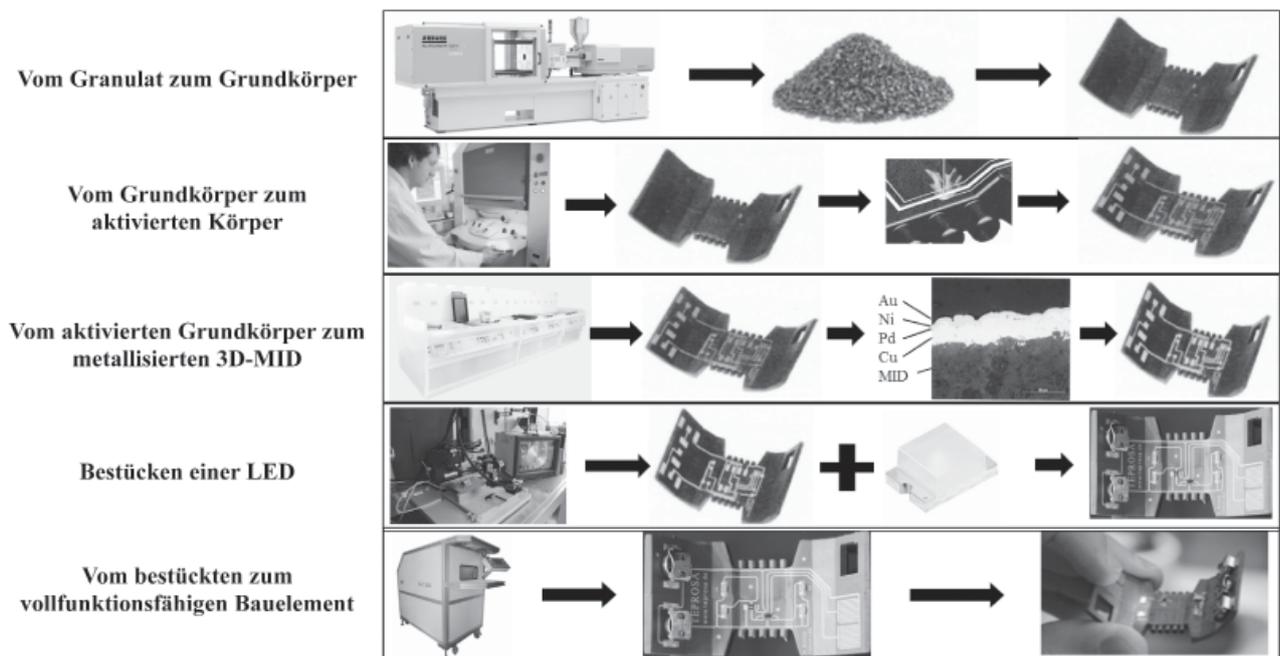


Abb. 3: Der 3D-MID Herstellungsprozess

DQR5-Niveau, welches sowohl auf mögliche weiterführende berufliche als auch akademische Weiterbildungen anrechenbar sein muss.

Inhaltlich setzt sich die Weiterbildung „Intelligente Kunststoffe“ auf DQR-Level 5 aus den folgenden inhaltlichen Modulen mit den entsprechenden Themenkomplexen zusammen:

- Grundlagen Faserverbundwerkstoffe: Aufbau, Eigenschaften, Fertigungsverfahren, Anwendungen, Sandwichstrukturen
- Grundlagen Mikrosystemtechnik: Mikromechanik, MEMS, 3D-MID-Technologie (LDS, Laser-Direkt-Strukturierung), IC
- Kunststoffbearbeitung und -verarbeitung sowie -prüfung: Grundlagen der Kunststofftechnik, Prüfung von Kunststoffen
- Elektrotechnikmodul: Grundlagen Elektrotechnik, elektrotechnische Prüfungen, Gleich- und Wechselstrom, Halbleiter
- Mechanikmodul: Mechanische Grundlagen, mechanische Prüfungen
- Fachübergreifendes Modul: Zuverlässigkeit, Qualitätssicherung, Projektmanagement, Qualitätsmanagement, Arbeitsschutz

Im Folgenden wird das Modul „3D-MID-Technologie (LDS, Laser-Direkt-Strukturierung)“ aus dem Themenbereich „Grundlagen Mikrosystemtechnik“ näher beschrieben.

Ziel des Moduls ist die Entwicklung eines spritzgegossenen dreidimensionalen Schaltungsträgers aus

dem flüssigkristallinen Polymer LCP Vectra mit entsprechender Beleuchtung. Dafür müssen innerhalb des thematischen Komplexes die in Abb. 3 dargestellten Thematiken behandelt werden. Innerhalb des Moduls durchlaufen nun die Teilnehmer/-innen alle notwendigen Schritte (Materialauswahl, Spritzgießen, Laseraktivieren, Metallisieren, Bestücken) zur Realisierung der Zielstellung (Abb. 3).

### FAZIT, AUSBLICK UND KRITISCHE REFLEXION

Zusammenfassend kennzeichnet das berufliche Weiterbildungsangebot „Intelligente Kunststoffe“ ein situiertes Lehr-Lern-Arrangement, das explizit die Schlüsseltechnologien Mikrosystemtechnik und Hochleistungsverbundwerkstoffe (Composite) kombiniert. Dieses berufliche Weiterbildungsangebot für Absolventinnen und Absolventen der beruflichen Bildung zielt vor allem auf Facharbeiterinnen und Facharbeiter der kunststoffrelevanten Berufe „Mikrotechnologie/Mikrotechnologin“ (insbesondere FR Mikrosystemtechnik), „Industriemechaniker/-in“ (insbesondere SP Metall- und Kunststofftechnik), „Verfahrensmechaniker/-in für Kunststoff- und Kautschuktechnik“ (insbesondere FR Faserverbundtechnologie) und „Zerspanungsmechaniker/-in“ (insbesondere SP Metall- und Kunststofftechnik). Das berufliche Weiterbildungsangebot „Intelligente Kunststoffe“ trägt den aktuellen Anforderungen der Produktentwicklung Rechnung, nach denen zunehmend mehr Funktionalitäten (Intelligenz) bei gleichzeitiger Miniaturisierung in u. a. Kunststoffbauteile noch im Herstellungsprozess integriert

werden müssen. Die Kombination aus Hochleistungsverbundwerkstoffen und Komponenten der Mikrosystemtechnik findet sich weder in den Ausbildungsverordnungen der Kunststoff- noch in denen der Elektronikberufe. Dabei ist die Entwicklung von Handlungskompetenzen im beruflichen Umfeld sowie die Orientierung an praktischen und betrieblichen Arbeitszusammenhängen in Form von einem Lernen im Prozess der Arbeit (vgl. DEHNBOSTEL 2015; 2016; DIETRICH/KOHL 2007, S. 16 ff.; ROGALLA 2005, S. 11 ff.; ROHS/EINHAUS 2004, S. 128 ff.) der methodisch-didaktische Leitgedanke des Lehr-Lernarrangements. Durch die Identifikation von relevanten Arbeitsprozessen, die für das jeweilige Berufsprofil prägend sind, werden die Lerninhalte definiert. Die Strukturierung der Lerninhalte erfolgt dementsprechend nicht fachsystematisch, sondern anhand von Referenzprozessen, die einen fachspezifischen Arbeitsprozess widerspiegeln, wodurch im Ergebnis ein prozessorientiertes Curriculum entsteht (vgl. ROGALLA 2005, S. 6 ff.; ROHS/EINHAUS 2002, S. 128 ff.). Die theoretische Basis bilden die Arbeitsprozessorientierung sowie die Ansätze des situierten Lernens. Auf Grundlage dieser Erkenntnis empfiehlt es sich, die Qualifizierung auf dem methodisch-didaktischen „Anchored Instruction“-Ansatz des situierten Lernens zu konzipieren. Das situierte Lernen ist gekennzeichnet durch die Auffassung, dass Lernen in Verbindung mit aktivem Lösen von komplexen Problemen den Wissenstransfer am effektivsten ermöglicht. Die Ansätze unterstützen die Lernenden dabei, signifikante Handlungsschritte zu strukturieren, zu planen, und Teilprobleme umfassender zu durchdringen (vgl. BÜNNING 2014; CTGV 1992, S. 303 ff.).

Am Beispiel der Composite-Berufe wird deutlich, wie bildungsbereichsübergreifende Lernwege durch Verzahnung von beruflicher und akademischer Weiterbildung praktisch umgesetzt werden können. Vor allem mit Blick auf sich technologisch schnell wandelnde Branchen lässt sich dies dahingehend interpretieren, dass zur Förderung von Spezialistinnen und Spezialisten-Karrieren ein hohes Potenzial für die Verzahnung von beruflicher und akademischer Bildung besteht. Aus inhaltlich-didaktischer Perspektive ist allerdings auch festzustellen, dass die curriculare Strukturierung von Lehr-Lerninhalten entlang fachspezifischer Arbeitsprozesse sowie die Gestaltung flexibler, arbeitsprozessintegrierter Lehr-Lernarrangements konzeptionell äußerst aufwendig ist. Gleichermaßen herausfordernd stellt sich die

lernorganisatorische Planung und pädagogische Begleitung von Präsenz- und Selbstlernphasen dar.

## LITERATUR

- AVK, INDUSTRIEVEREINIGUNG VERSTÄRKTE KUNSTSTOFFE E.V. (Hrsg.) (2013). Handbuch Faserverbundkunststoffe/Composites. Wiesbaden
- BRÄMER, S./HIRSCH, S. (2015): Alumni of vocational education as a new target group for university continuing education: chance and challenge for universities. In: FIELD, J./SCHMIDT-HERTHA, B./WAXENEGGER, A. (Eds.): Universities and engagement. International perspectives on higher education and lifelong learning. Abingdon, Oxon, S. 39-53
- BÜCHTER, K./DEHNBOSTEL, P./HANF, G. (2012): Der Deutsche Qualifikationsrahmen (DQR). Ein Konzept zur Erhöhung von Durchlässigkeit und Chancengleichheit im Bildungssystem? Bielefeld
- BÜNNING, F. (2014): Situiertes Lernen im Technikunterricht. Entwicklung von Lernumgebungen für einen innovativen Technikunterricht. Magdeburg
- CTGV (COGNITION AND TECHNOLOGY GROUP AT VANDERBILT) (1992): The Jasper Series as an Example of Anchored Instruction. Theory, Program, Description, and Assessment Data. In: Educational Psychologist, 27 (3), S. 291-315
- DEHNBOSTEL, P. (2016): Informelles Lernen in der betrieblichen Bildungsarbeit. In: ROHS, M. (Hrsg.): Handbuch Informelles Lernen. Wiesbaden, S. 343-364
- DEHNBOSTEL, P. (2015): Betriebliche Bildungsarbeit. Kompetenzbasierte Aus- und Weiterbildung im Betrieb. In: BONZ, B./NICKOLAUS, R./SCHANZ, H. (Hrsg.): Studentexte Basiscurriculum Berufs- und Wirtschaftspädagogik, Bd. 9. Baltmannsweiler
- DIETRICH, A./KOHL, M. (2007): Qualifizierung von IT-Fachkräften zwischen arbeitsprozessorientiertem Lernen und formalisierter Weiterbildung. Eine empirische Untersuchung und Bewertung der Qualifizierungspraxis auf Ebene der operativen und strategischen Professionals. In: BUNDESINSTITUT FÜR BERUFSBILDUNG (BIBB) (Hrsg.): Wissenschaftliche Diskussionspapiere, H. 91. Bonn
- ROGALLA, I. (2005): Arbeitsprozessorientierte Weiterbildung in der IT-Branche. Berlin
- ROHS, M./EINHAUS, J. (2004): Die Bedeutung der Lernkultur für die arbeitsprozessorientierte Weiterbildung in der IT-Branche. In: MEYER, R./DEHNBOSTEL, D./HARDER, D./SCHRÖDER, T. (Hrsg.): Kompetenzen entwickeln und moderne Weiterbildungsstrukturen gestalten. Schwerpunkt: IT-Weiterbildung. Münster, S. 125-138
- STATISTA (2017a): Prognose zur Nachfrage von Kohlenstofffasern weltweit in den Jahren 2010 bis 2022. Verfügbar unter: <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/659910/umfrage/nachfrage-von-kohlenstofffasern-weltweit> [26.06.2018]
- STATISTA (2017b): Umsatz mit Carbon-Verbundwerkstoffen weltweit im Jahr 2015 (in Milliarden US-Dollar). Verfügbar unter: <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/660136/umfrage/umsatz-mit-carbon-verbundwerkstoffen-weltweit-nach-anwendung> [26.06.2018]
- WITTEN, E./KRAUS, T./KÜHNEL, M. (2015): Composites-Marktbericht 2015. AVK, Industrievereinigung Verstärkung Kunststoffe e.V. Frankfurt/Main

# Zur curricularen Verankerung neuer Werkstoffe und zugehöriger Technologien

in ausgewählten Berufen



MARCO HJELM-MADSEN



TORBEN KARGES

Technisch induzierte Veränderungen von Facharbeit können einerseits durch Substitutionen bei den eingesetzten Werkstoffen ausgelöst werden, andererseits durch Innovationen der auf sie bezogenen Fertigungs- bzw. Verarbeitungsverfahren. Ein Beispiel für durch Werkstoffe ausgelöste Veränderungen berufsbezogener Facharbeit stellen verschiedene faserverstärkte Kunststoffe (CFK/GFK/AFK) im Flug- und Fahrzeugbau dar, die mittlerweile in Rumpf-, Rahmen- und Karosseriebau immer häufiger ergänzend zu metallischen Werkstoffen Einzug nehmen. Der Beitrag erörtert, ob sich solche Entwicklungen bereits in den aktuellen Ordnungsmitteln für die gewerblich-technischen Ausbildungsberufe wiederfinden lassen bzw. ob diese Ordnungsmittel genug Spielraum für die Aufnahme der neuen Entwicklungen in Ausbildung und Unterricht geben.

## INTERDEPENDENZ VON WERKSTOFFEN UND VERFAHREN

Das komplexe Zusammenspiel der Weiterentwicklung von Fertigungsprozessen und Werkstoffinnovationen lässt sich – aufgrund der im Vergleich zu anderen Industriefeldern eher kurzen Zyklen – besonders gut im Bereich der Halbleiterindustrie veranschaulichen. Neu eingeführte Werkstoffkomponenten bedingen zumeist graduell auch begleitende Prozessinnovationen von Fertigungs- und Be- bzw. Verarbeitungsverfahren, die sich folglich in notwendigen Veränderungen der Facharbeit niederschlagen. Deutliche Veränderungen der Fertigungstechnologien – zum Beispiel im Bereich der Halbleiterlithografie – führen umgekehrt wiederum auch zur Veränderung bzw. Anpassung eingesetzter Werkstoffe. Beispielhaft für metalltechnische Berufe können Schweißverfahren genannt werden, die einerseits grundsätzlich gewisse Ähnlichkeiten aufweisen, andererseits je nach korrespondierendem Werkstoff eine hohe Bandbreite spezifischer und differenzierbarer Facharbeitshandlungen nach sich ziehen. Es lassen sich aber auch Beispiele finden, bei denen Werkstoffe – abhängig von Innovationszyklen der Fertigungs- und

Verarbeitungsverfahren – mit unterschiedlichsten Verfahren verarbeitet werden. So wurde Aluminium im Flugzeugbau über Jahrzehnte fast ausschließlich genietet. Mittlerweile wird der Werkstoff auch durch Laserstrahlschweißen und zukünftig wohl vermehrt durch Kleben gefügt.

## DOMÄNENSPEZIFITÄT VON INNOVATIONEN – ODER: WANN IST EIN WERKSTOFF „NEU“?

Die exemplarischen Bezugspunkte verdeutlichen, dass es häufig schwierig ist, Prozessinnovationen isoliert von Werkstoffinnovationen und umgekehrt zu betrachten. Es stellt sich – bezogen auf Werkstoffe – zudem die Frage was „neu“ bzw. „innovativ“ ist bzw. so genannt werden kann. Nicht selten ist der Innovationsfaktor von Werkstoffen im Spiegel von Produktkategorien, Fertigungshäufigkeit bzw. Automatisierungsgrad, berufsbezogener Tradition und „Fertigungskultur“ unterschiedlich zu beurteilen. Beispielhaft können carbonfaserverstärkte Kunststoffe genannt werden. Der Werkstoff bzw. die Werkstoffkombination wird seit ungefähr 50 Jahren eingesetzt. Die Nutzung über ein halbes Jahrhundert bricht so gesehen wohl mit den Vorstellungen,

die sich gemeinhin bei der Nomenklatur „neuer Werkstoffe“ aufdrängen. CFK wurde zunächst eher in manufakturähnlichen Produktionszusammenhängen verarbeitet und erhielt eher langsam Einzug in breitere Anwendungsbezüge. Es dürfte nur wenig Widerspruch geben, wenn man den Werkstoff als vergleichsweise kosten- und in Fertigungsprozessen arbeitsintensiv einstuft. Trotzdem kann wohl mittlerweile von einer gewissen industriellen Verbreitung des Werkstoffes gesprochen werden. Abseits von Kleinserienproduktionen oder dem Rennsport rechtfertigt die Seltenheit des Werkstoffes beispielsweise in der Fahrzeugindustrie so sicherlich das „Etikett“ des „neuen Werkstoffes“. Die auf Werkstoffe bezogenen Attribute „neu“ bzw. „innovativ“ gelten demnach vor allem innerhalb spezifischer Domänen und der auf sie bezogenen Produktions- und Verarbeitungsverfahren. Auch die Wiederentdeckung traditioneller („alter“) Werkstoffe kann bisweilen als innovativ angesehen werden, dies ist derzeit bezogen auf unterschiedliche Werkstoffe (z. B. Holz) im Zusammenhang mit Verfahren des 3D-Drucks zu beobachten.

### **RELEVANZ NEUER WERKSTOFFE FÜR BERUFSBILDUNGSPROZESSE**

Diverse Werkstoffe, die vor allem domänenspezifisch als neu angesehen werden können, sollen nicht über Ergebnisse im Bereich der Materialwissenschaften hinwegtäuschen, bei denen neuartige Werkstoffe und Kombinationen derselben entstehen, die Eingang in Produktions- und Fertigungsverfahren finden (vgl. die Beiträge von ZECHIEL sowie BRÄMER et al.). Aus Sicht der berufsbezogenen Facharbeit und der damit korrespondierenden Fragen der Berufsbildung ist diese Unterscheidung jedoch eher von untergeordneter Bedeutung. Hier ist vielmehr die Frage relevant, welche Werkstoffe und zugehörigen Verfahren sich nach Innovationszyklen mit gewisser Breitenwirkung in Erwerbs- und Ausbildungsberufen so verankern können, dass sie bisherige berufsbezogene Facharbeitsprozesse mindestens ergänzen und somit in der Berufsbildung an unterschiedlichen Lernorten als Gegenstand zu thematisieren sind. Kontextuell kann davon ausgegangen werden, dass die Materialvielfalt in vielen Berufen angestiegen ist, neue Werkstoffe jedoch nicht zur unmittelbaren Ablösung der bisher eingesetzten Materialien führen, sondern es vielmehr zu einer Parallelität von „Tradition“ und „Innovation“ kommt, die sich in Verfahren, Methoden, verwendeten Werkzeugen und Hilfsmitteln widerspiegelt.

Von Interesse innerhalb des vorliegenden Beitrages ist insbesondere, woran sich Lehrkräfte an berufsbildenden Schulen orientieren können, wenn es um die Frage geht, welche „neuen Werkstoffe“ zum Gegen-

stand des Unterrichtes an berufsbildenden Schulen gemacht werden sollen. Wann also sind Werkstoffe und zugehörige Verfahren im Unterricht mehr als eine bloße Randnotiz wert? Grundsätzliche Orientierung zu berufsspezifisch relevanten Arbeitsprozessen, Fertigungs- und Verarbeitungsverfahren, Werkstoffen, Abläufen und dergleichen mehr sollten aus den berufsbezogenen Ordnungsmitteln abzuleiten sein. Es soll der Frage nachgegangen werden, ob jene auch als Orientierung im Hinblick auf neue Werkstoffe als hilfreich angesehen werden können.

### **ANALYSE EXEMPLARISCH AUSGEWÄHLTER ORDNUNGSMITTEL**

Für den vorliegenden Beitrag wurden die Ordnungsmittel ausgewählter Ausbildungsberufe im Hinblick auf die Erwähnung werkstoffspezifischer Aspekte analysiert. Innerhalb der vorgenommenen Stichprobe von Ausbildungsberufen<sup>1</sup> lässt sich vor allem erkennen, dass Werkstoffen in den Ordnungsmitteln gegenüber Fragen der Verfahren und Methoden eine sekundäre Bedeutung zukommt (vgl. Tab. 1).

Die durchgeführte Ordnungsmittelanalyse mit den in Tab. 1 dargestellten Ergebnissen lässt erkennen, dass spezifische Werkstoffe in den Ordnungsmitteln nur selten direkt benannt werden. Ausbildungsordnungen und Rahmenlehrpläne beschränken sich in den meisten Fällen auf die explizite Darstellung der in der betrieblichen Facharbeit zu beherrschenden Verfahren und Methoden, während Werkstoffe in den Ordnungsmitteln der überwiegenden Anzahl von Berufen lediglich als abstraktes Momentum einbezogen werden. In den Fällen, in denen „neue“ Werkstoffe explizit benannt werden, handelt es sich um Berufsbilder, die die Herstellung von Werkstoffen selbst zum Gegenstand haben (z. B. Verfahrensmechaniker/-in für Kunststoff und Kautschuktechnik) oder die in hochspezifischen Bereichen angesiedelt sind, denen eine hohe Fertigungs- bzw. Instandhaltungstiefe zugrunde liegt, jedoch – im Verhältnis zu anderen Berufen – nur eine begrenzte Breite (z. B. Fluggerätmechaniker/-in, Karosserie- und Fahrzeugbaumechaniker/-in, Mikrotechnologie/Mikrotechnologin).

### **FAZIT**

Die Ergebnisse der stichprobenhaften Ordnungsmittelanalyse zeigen deutlich, dass die explizite Nennung neuer Werkstoffe in Rahmenlehrplänen und Ausbildungsordnungen einer geringen Anzahl von dualen Ausbildungsberufen vorbehalten ist; es handelt sich so gesehen um curriculare Randerscheinungen. Im Mittelpunkt der Ordnungsmittel stehen vor allem die mit dem Einsatz von Werkstoffen verbundenen Arbeitsprozesse. Im Spiegel der beschriebenen

Ausbildungsberuf	Ausbildungsordnung	Rahmenlehrplan
Verfahrensmechaniker/-in für Kunststoff- und Kautschuktechnik – Fachrichtung Compound- und Masterbatchherstellung	Abschnitt E, Nr. 1: Anwenden von Verfahrenstechniken zur Herstellung von Compounds und Masterbatches Abschnitt E, Nr. 2: Aufbereiten polymerer Werkstoffe	Lernfeld HZ/CM 12: Compounds- und Masterbatches herstellen Lernfeld CM 13 B: Compounds- und Masterbatches herstellen, prüfen und modifizieren
Verfahrensmechaniker/-in für Kunststoff- und Kautschuktechnik – Fachrichtung Faserverbundtechnologie	Abschnitt G, Nr. 1: Anwenden von Verfahrenstechniken zur Herstellung von Faserverbundbauteilen Abschnitt G, Nr. 3: Handhaben von polymeren Werkstoffen, Fasermaterialien, Stütz- und Hilfsstoffen Abschnitt G, Nr. 4: Fügen, Montieren und Demontieren von Bauteilen und Baugruppen aus Faserverbundwerkstoffen	Lernfeld FV 9: Faserverbundwerkstoffe prüfen und recyceln Lernfeld FV 10: Bauteile durch Bearbeiten von Faserverbundwerkstoffen herstellen Lernfeld FV 12: Bauteile durch Laminieren herstellen
Karosserie- und Fahrzeugbaumechaniker/-in Fachrichtungen Karosserieinstandhaltungstechnik Karosserie- und Fahrzeugbautechnik	Abschnitt A, Nr. 7: Instandsetzen von Fahrzeugen und Fügen von Fahrzeugteilen a) Metalle, Kunststoffe und Verbundstoffe von Hand und mit Maschinen scheren, sägen, bohren, stanzen und schleifen k) Bauteile aus gleichen und unterschiedlichen Werkstoffen kleben und dabei die auftretende Beanspruchung und Verarbeitungsrichtlinien berücksichtigen l) Form- und Karosserieteile aus faserverstärkten Kunststoffen instand setzen und laminieren und dabei die auftretende Beanspruchung, die Herstellervorgaben und die allgemeingültigen Verarbeitungsrichtlinien berücksichtigen n) Bauteile aus Kunststoff und Leichtmetall schweißen	Teil IV Berufsbezogene Vorbemerkungen: - Verwendung neuer Leichtbauwerkstoffe und zunehmender Materialmix sowohl im herstellenden als auch im reparierenden Karosserie- und Fahrzeugbau, - neue Reparaturmethoden insbesondere bei Fügetechniken und Materialien [...] Lernfeld 6: Nichtmetallische Werk- und Verbundstoffe be- und verarbeiten
Fluggerätmechaniker/-in Fachrichtungen Fertigungstechnik (F) Instandhaltungstechnik (I) Triebwerkstechnik (T)	Abschnitt C (F), Nr. 2: Herstellen und Instandhalten von Bauteilen aus Kunststoffen oder Verbundwerkstoffen für Fluggeräte	Lernfeld 9 F: Fluggerätestrukturen aus Kunst- oder Hybridwerkstoffen herstellen Lernfeld 11F: Bauteile der Luftfahrzeugstruktur instand setzen „Die Schülerinnen und Schüler führen nach Vorgabe temporäre und dauerhafte Reparaturen an metallischen Strukturen (Doppler, Rissstopplech) und an Verbundwerkstoffstrukturen (Spleißung, Schäftung) im Team durch.“ Lernfeld 11 T: Triebwerksbauteile maschinell fertigen, bearbeiten und prüfen „Sie bearbeiten Werkstoffe von Triebwerksbauteilen (Titan, Aluminium- und Superlegierungen, Faser- und Hybridwerkstoffe) mit geeigneten Maschinen.“
Mikrotechnologe/Mikrotechnologin Schwerpunkte Halbleitertechnik (HT) Mikrosystemtechnik (MT)	Abschnitt II (HT), Nr. 14: Herstellungs- und Montageprozesse a) Oberflächenbehandlungen durchführen, insbesondere Dünnschleifen, chemisch-mechanisch polieren und tempern b) Strukturen durch Belacken, Belichten, Entwickeln und Ätzen erzeugen c) Schichten, insbesondere durch Oxidation, Gasabscheidung, Epitaxie, Aufdampfen und Sputtern, erzeugen d) Dotierprozesse durchführen	Lernfeld 3: Funktionsanalyse ausgewählter Halbleiterwerkstoffe Lernfeld 8: Erstellung von Schichten und deren Strukturierung „Die Schülerinnen und Schüler beschreiben die Verfahren zur Herstellung verschiedener Schichten sowie zu deren Strukturierung. Sie formulieren dazu die chemischen Reaktionsgleichungen. Zur Herstellung und Strukturierung von Schichten wählen sie die erforderlichen Medien aus.“

Tab. 1: Explizite Erwähnungen von „neuen“ Werkstoffen in den Ordnungsmitteln ausgewählter Ausbildungsberufe

nen engen Kopplung, in der Werkstoff und Verfahren bzw. Methoden in aller Regel zu betrachten sind, erscheint jener Befund nachvollziehbar. Aus Sicht einer handlungsorientierten beruflichen Fachdidaktik ist eine derartige Orientierung der Ordnungsmittel sogar zu begrüßen, da Methoden und Verfahren tendenziell als handlungs(an)leitende und damit an sich explizierende Elemente anzusehen sind, während Aspekte der Werkstoffkunde zwar impliziter aber doch inhärenter Bestandteil derselben sind.

Für die Facharbeit bleibt die berufliche Handlungspraxis von herausragender curricularer Bedeutung, während die Werkstoffe, auf die jene angewandt wird, zeitlich bzw. regional oder betriebsspezifisch stark variieren können. So bieten die Ordnungsmittel

den wohl notwendigen Abstraktionsgrad bzw. die Offenheit, um trotz andauernder Innovationen – auch im Bereich der Werkstoffe – sowie trotz voneinander abweichender konkreter Arbeitsprozesse in einzelnen Betrieben über längere Zeiträume bezogen auf die Anforderungen an duale Ausbildungsberufe als angemessen gelten zu können. Es handelt sich damit um ein in konkrete Lernsituationen zu überführendes Rahmenwerk. Eine werkstoffbezogene Orientierung des Unterrichts kann sich daher wohl in erster Linie aus der betrieblichen Praxis ergeben.

Dass neue Werkstoffe nur in geringer Zahl zum Gegenstand von Ordnungsmitteln der Berufsbildung gemacht werden, ist allerdings kein Hinweis auf ihre vermeintliche Bedeutungslosigkeit. Es bleibt viel-

mehr dem Dialog zwischen Lehrkräften an berufsbildenden Schulen und Akteuren aus der betrieblichen Praxis vorbehalten, darüber zu entscheiden, in welcher Region für welche Auszubildenden welche Werkstoffe in Berufsbildungsprozesse einbezogen werden sollten. Lehrkräften kommt so die anspruchsvolle Aufgabe zu, selbst zu beurteilen und zu entscheiden, welche Werkstoffe für die berufliche Facharbeit über die Bedarfe einzelner Betriebe hinaus eine langfristige und nachhaltige Bedeutung erhalten werden und damit berufsbezogene Kompetenzen dergestalt verbreitern können, dass sie langfristig und an anderen Orten bzw. in anderen Lebensweltbezügen nutzbare Güter darstellen. Sind diese Kriterien erfüllt, spricht viel für die Integration spezifischer Werkstoffe in den Unterricht an berufsbildenden Schulen.

### Anmerkung

- 1) Die Stichprobe umfasste eine Auswahl von Berufen, von denen zu erwarten war, dass sich aufgrund der beruflichen Aufgaben oder aktueller Neuordnungen eine Erwähnung von „neuen“ Werkstoffen in den Ordnungsmittel finden lassen würde: Anlagenmechaniker/in für SHK, Behälter- und Apparatebauer/-in, Fluggerätmechaniker/-in, handwerkliche

und industrielle Metallberufe, Karosserie- und Fahrzeugbaumechaniker/-in, Mikrotechnologe/Mikrotechnologin, Verfahrensmechaniker/-in für Kunststoff- und Kautschuktechnik, Verfahrenstechnologe/Verfahrenstechnologin Metall, Zweiradmechatiker/-in.

### Literatur

- VERORDNUNG ÜBER DIE BERUFAUSBILDUNG ZUM VERFAHRENSMECHANIKER/ZUR VERFAHRENSMECHANIKERIN FÜR KUNSTSTOFF- UND KAUTSCHUKTECHNIK VOM 21. Mai 2012
- RAHMENLEHRPLAN FÜR DEN AUSBILDUNGSBERUF VERFAHRENSMECHANIKER/-IN FÜR KUNSTSTOFF- UND KAUTSCHUKTECHNIK (Beschluss der Kultusministerkonferenz vom 22.03.2012)
- VERORDNUNG ÜBER DIE BERUFAUSBILDUNG ZUM KAROSSERIE- UND FAHRZEUGBAUMECHANIKER/ZUR KAROSSERIE- UND FAHRZEUGBAUMECHANIKERIN VOM 10. Juni 2014
- RAHMENLEHRPLAN FÜR DEN AUSBILDUNGSBERUF KAROSSERIE- UND FAHRZEUGBAUMECHANIKER/-IN (Beschluss der Kultusministerkonferenz vom 28.03.2014)
- VERORDNUNG ÜBER DIE BERUFAUSBILDUNG ZUM FLUGGERÄTMECHANIKER/ZUR FLUGGERÄTMECHANIKERIN VOM 26. Juni 2013
- RAHMENLEHRPLAN FÜR DEN AUSBILDUNGSBERUF FLUGGERÄTMECHANIKER/-IN (Beschluss der Kultusministerkonferenz vom 25.04.2013)
- Verordnung über die Berufsausbildung zum Mikrotechnologen/zur Mikrotechnologin vom 6. März 1998
- RAHMENLEHRPLAN FÜR DEN AUSBILDUNGSBERUF MIKROTECHNOLOGE/MIKROTECHNOLOGIN (Beschluss der Kultusministerkonferenz vom 30. Januar 1998)

## Verzeichnis der Autorinnen und Autoren

### BRÄMER, STEFAN

Dr., wissenschaftlicher Mitarbeiter, Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg, Institut für Mikro- und Sensorsysteme, stefan.braemer@ovgu.de

### GRIMM, AXEL

Prof. Dr., Hochschullehrer, Europa-Universität Flensburg, Berufsbildungsinstitut Arbeit und Technik (biat), axel.grimm@biat.uni-flensburg.de

### HJELM-MADSEN, MARCO

Dr., Dipl.-Berufspäd., Wissenschaftlicher Mitarbeiter, Europa-Universität Flensburg, Berufsbildungsinstitut Arbeit und Technik (biat), hjelm-madsen@uni-flensburg.de

### JENEWEIN, KLAUS

Prof. Dr., Hochschullehrer, Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg, jenewein@ovgu.de

### KARGES, TORBEN

Dr., Dipl.-Berufspäd., Wissenschaftlicher Mitarbeiter, Europa-Universität Flensburg, Berufsbildungsinstitut Arbeit und Technik (biat), torben.karges@uni-flensburg.de

### KIEBACH, HELGE

Leiter Abt. Reparatur- und Schadenforschung, Kraftfahrzeugtechnisches Institut (KTI), hkriebach@k-t-i.de

### MATSCHUK, EVELYN

Dipl.-Des. (FH), wissenschaftliche Mitarbeiterin, Hochschule Magdeburg-Stendal, Institut für Maschinenbau, evelyn.matschuck@hs-magdeburg.de

### RICHTER, TIM

StR, M. Ed., BBS Burgdorf, tim.richter@bbs-burgdorf.de

### TÄRRE, MICHAEL

Dr., StD, Abteilungsleiter für die Beruflichen Gymnasien an den Berufsbildenden Schulen Neustadt der Region Hannover, michael.taerre@hotmail.com

### VIEBACK, LINDA

M. Sc., wissenschaftliche Mitarbeiterin, Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg, Institut I: Bildung, Beruf und Medien, linda.vieback@ovgu.de

### VOGEL, CHRISTIAN

Dr., wissenschaftlicher Mitarbeiter, Bundesinstitut für Berufsbildung (BIBB), AB 4.2 „Innovative Weiterbildung, Durchlässigkeit, Modellversuche“, vogel@bibb.de

### VOLLMER, THOMAS,

Prof. Dr., Hochschullehrer, Universität Hamburg, Institut für Berufs- und Wirtschaftspädagogik, thomas.vollmer@uni-hamburg.de

### WOHLRABE, DIRK

Dipl.-Berufspädagoge, wiss. Mitarbeiter, TU Dresden, Institut für Berufspädagogik und Berufliche Didaktiken, dirk.wohrlabe@tu-dresden.de

### ZEIDLER, HENNING

Prof. Dr.-Ing., Hochschullehrer, Technische Universität Bergakademie Freiberg, Institut für Maschinenelemente, Konstruktion und Fertigung, henning.zeidler@imkf.tu-freiberg.de

### ZECHIEL, OLGA

Dr.-Ing., Wissenschaftliche Mitarbeiterin, Lehrstuhl Ingenieurpädagogik und gewerblich-technische Fachdidaktiken, Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg, olga.zechiel@ovgu.de

„lernen & lehren“ erscheint in Zusammenarbeit mit den Bundesarbeitsgemeinschaften für Berufsbildung in den Fachrichtungen Elektro-, Informations-, Metall- und Fahrzeugtechnik e. V.

[www.lernenundlehren.de](http://www.lernenundlehren.de)

Herausgeber

Axel Grimm (Flensburg), Volkmar Herkner (Flensburg), Klaus Jenewein (Magdeburg),  
Georg Spöttl (Bremen)

Beirat

Matthias Becker (Hannover), Thomas Berben (Hamburg), Ralph Dreher (Siegen), Peter Hoffmann (Dillingen), Claudia Kalisch (Rostock), Andreas Lindner (München), Tamara Riehle (Siegen), Reiner Schlausch (Flensburg), Friedhelm Schütte (Berlin), Ulrich Schwenger (Heidelberg), Nikolaus Steffen (Freiburg), Thomas Vollmer (Hamburg), Lars Windelband (Schwäbisch-Gmünd)

Heftbetreuer: Klaus Jenewein/Torben Karges/Tim Richter

Titelbild: [www.jardinjasmin.com](http://www.jardinjasmin.com) (Miscanthus)

Schriftleitung (V. i. S. d. P.)

lernen & lehren

**c/o Prof. Dr. Axel Grimm** – Europa-Universität Flensburg, biat, Auf dem Campus 1, 24943 Flensburg, Tel.: 04 61/8 05-20 75, E-Mail: [axel.grimm@biat.uni-flensburg.de](mailto:axel.grimm@biat.uni-flensburg.de)

**c/o StD Dr. Michael Tärre** – Rehbockstr. 7, 30167 Hannover, Tel.: 05 11/7 10 09 23, E-Mail: [michael\\_taeerre@hotmail.com](mailto:michael_taeerre@hotmail.com)

Assistenz der Schriftleitung:

Tim Richter (Hannover), Britta Schlömer (Oldenburg/Oldbg.)

Alle schriftlichen Beiträge und Leserbriefe bitte an eine der obenstehenden Adressen senden. Manuskripte gelten erst nach Bestätigung der Schriftleitung als angenommen. Namentlich gezeichnete Beiträge stellen nicht unbedingt die Meinung der Herausgeber dar. Theorie-Beiträge des Schwerpunktes werden einem Review-Verfahren ausgesetzt.

Im Sinne einer besseren Lesbarkeit werden mitunter nicht immer geschlechtsneutrale Personenbezeichnungen genutzt, obgleich weibliche und männliche Personen gleichermaßen gemeint sein sollen.

Unverlangt eingesandte Rezensionsexemplare werden nicht zurückgesandt.

Layout/Gestaltung

Brigitte Schweckendieck/Winnie Mahrin

Verlag, Vertrieb und Gesamtherstellung

Heckner Druck- und Verlagsgesellschaft mbH & Co. KG

Postfach 15 59 – 38285 Wolfenbüttel

Als Mitglied einer BAG wenden Sie sich bei Vertriebsfragen (z. B. Adressänderungen) bitte stets an die Geschäftsstelle, alle anderen wenden sich bitte direkt an den Verlag.

Geschäftsstelle der BAG Elektro-, Informations-, Metall- und Fahrzeugtechnik

c/o ITB – Institut Technik und Bildung der Universität Bremen

Am Fallturm 1 – 28359 Bremen

[kontakt@bag-elektrometall.de](mailto:kontakt@bag-elektrometall.de)

ISSN 0940-7340

ADRESSAUFKLEBER

**BAG**

[WWW.BAG-ELEKTROMETALL.DE](http://WWW.BAG-ELEKTROMETALL.DE)  
[KONTAKT@BAG-ELEKTROMETALL.DE](mailto:KONTAKT@BAG-ELEKTROMETALL.DE)