

Nachhaltiger 3-D-Druck durch multiaxiale Maschinensysteme und neue Stoffkreisläufe

Wie kunststoffbasierte additive Fertigung vor allem in der Industrie noch nachhaltiger gestaltet werden kann, erforscht das WZL der RWTH Aachen zusammen mit den Unternehmen 3Bots und Peiseler im Rahmen des DBU-geförderten Projekts BioME. Im Fokus stehen eine effiziente und stützstrukturfreie Bauteilproduktion sowie die Verwendung biobasierter Materialien. Dazu wird ein multiaxiales Anlagensystem mit einem Granulatextruder entwickelt.

Steigendes Umweltbewusstsein in der Bevölkerung und geändertes Konsumverhalten bringen die produzierende Industrie zunehmend in Zugzwang, umweltschonend zu wirtschaften. Gleichzeitig erlassen die Gesetzgeber Vorschriften über die Nutzung und Entsorgung von Ressourcen, zum Beispiel den Aktionsplan der Europäischen Kommission zur Kreislaufwirtschaft. Um den gesellschaftlichen und legislativen Randbedingungen gerecht zu werden, müssen Unternehmen immer ressourceneffizienter und emissionsärmer produzieren.

Eine Möglichkeit insbesondere bei kleinen Stückzahlen ist die Verwendung material-extrudierender Verfahren (MEX) aus der additiven Fertigung zur Verarbeitung von Kunststoffen. Während bei subtraktiven Verfahren Rohlinge notwendig sind, um die gewünschte Geometrie durch Materialabtrag zu erzeugen, benötigen additive Verfahren in der Regel weniger Material, um Strukturen aufzubauen. Hierdurch wird besonders bei komplexen Geometrien und Leichtbaustrukturen Material gespart. Gegenüber anderen urformenden Verfah-

ren wie Gießen bietet die durch MEX gewonnene Designfreiheit die Möglichkeit, durch Optimierung der Geometrie und Funktionsintegration zusätzliches Material einzusparen und Bauteilgewicht sowie Materialkosten weiter zu senken [1]. Ein weiterer Vorteil der additiven Fertigung ist die Möglichkeit, individualisierte Produkte in Losgröße 1 zu fertigen [2]. Die Fähigkeiten von MEX zur umweltbewussten Herstellung von Bauteilen sind unter den am Markt vorherrschenden Systemen dieser Technologie noch begrenzt.

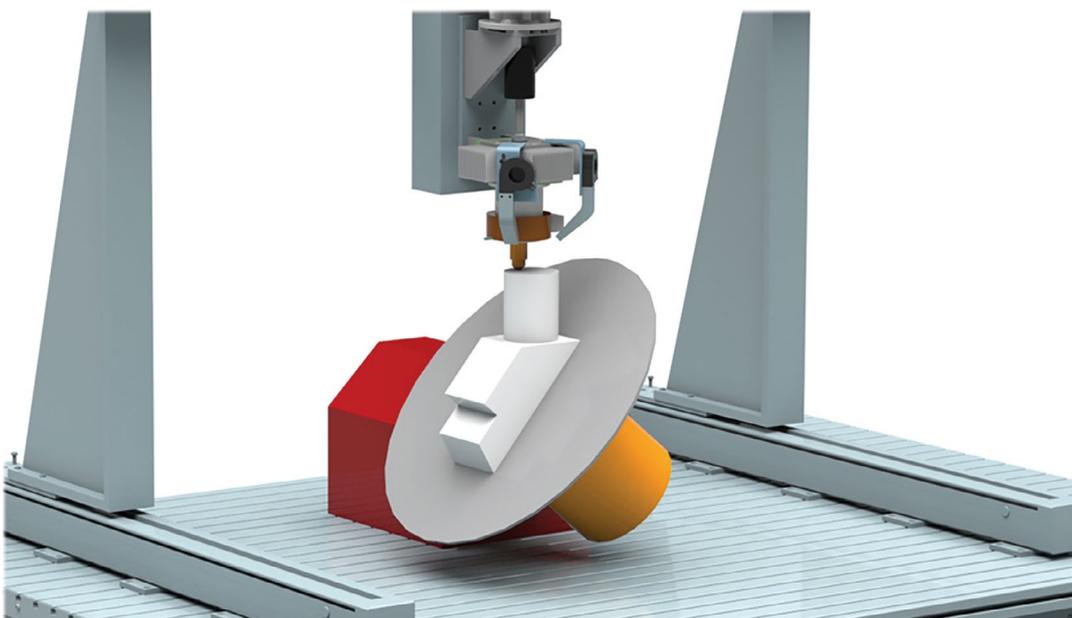


Bild 1 > Multiaxiales Anlagensystem zur Verarbeitung von Granulat im Projekt BioME (© RWTH Aachen University)

Beim Herstellprozess entstehende Überhänge in Bauteilen müssen mit zusätzlichem Material abgestützt werden. Diese Stützstrukturen reduzieren nicht nur den Materialausnutzungsgrad, sondern bedürfen auch zeit- und kostenintensiver Nacharbeit, um diese wieder zu entfernen. Der überwiegende Teil der heute eingesetzten Polymere entstammt fossilen Ressourcen und wird am Ende des Lebenszyklus zu meist thermisch verwertet [3]. Vor dem Hintergrund der zunehmenden Nachhaltigkeitsanforderungen erforscht das WZL der RWTH Aachen zusammen mit den Unternehmen 3Bots und Peiseler im Rahmen des vom BMU geförderten Projekts BioME, wie kunststoffbasierte additive Fertigung vor allem in der Industrie noch nachhaltiger gestaltet werden kann. Im Fokus stehen dabei sowohl eine effiziente und stützstrukturfreie Bauteilproduktion als auch die Verwendung biobasierter Materialien in der granulatbasierten Materialextrusion. Es wird ein multiaxiales Anlagensystem, *Bild 1*, mit einem Granulatextruder entwickelt, um die Materialeffizienz zu erhöhen. So soll die Nachhaltigkeit am Beispiel des bereits die additive Fertigung nutzenden automobilen Betriebsmittelbaus [4] gezeigt werden. Dazu wird auch die Schließung von Stoffkreisläufen innerhalb des Projekts BioME untersucht.

Von „Cradle-to-Grave“ zu „Cradle-to-Cradle“

Laut aktuellen Prognosen verursachen Kunststoffe (Produktion und Verbrennung) bis 2050 mehr als 56 Gigatonnen CO₂-Äquivalent weltweit. Das entspricht 10 bis 13 % des zur Erreichung des Klimaziels verfügbaren Kohlenstoffbudgets. Die Verarbeitung der Kunststoffe ist in den genannten Zahlen nicht mitgezählt, diese verursacht circa 30 % der Gesamtemissionen von Kunststoffen, *Bild 2*. Die Entsorgung beziehungsweise Verbrennung macht dagegen nur 9 % aus. Zum Ende des Lebenszyklus werden 84 % der Produkte thermisch verwertet, weiteres Material muss für die Herstellung neuer Produkte produziert werden [3]. Um den CO₂-Ausstoß zu reduzieren, muss der Stoffkreislauf des Kunststoffs geschlossen werden. Der traditionelle Ansatz der Materialentsorgung nach dem Lebensende des Produkts wird als „Cradle-to-Grave“ bezeichnet, *Bild 3* links. Ein weiterer Ansatz bemüht sich um Ökoeffizienz, also um eine möglichst geringe ökologische Auswirkung durch Reduktion des eingesetzten Materials. Der Ansatz wird als „License-to-Harm“ bezeichnete, *Bild 3* Mitte. Er reduziert zwar die ökologischen

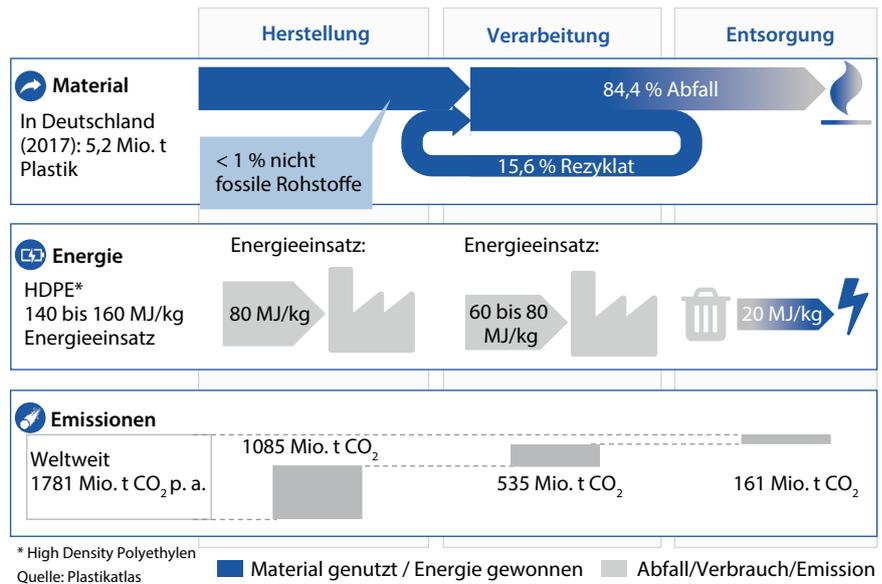


Bild 2 > Energie- und CO₂-Bilanz von Kunststoff (© RWTH Aachen University)

Auswirkungen, bildet jedoch noch keinen echten Stoffkreislauf. Erst der „Cradle-to-Cradle“-Ansatz, *Bild 3* rechts, erzeugt Ökoeffektivität durch geschlossene Stoffkreisläufe. Die Stoffkreisläufe werden dabei in technische und biologische Materialkreisläufe differenziert. Durch die Wiederverwertung des Materials werden Produktion und thermische Verwertung von Material weitestgehend vermieden und somit ein Beitrag zum Klimaschutz geleistet. Das Ziel des Projekts BioME ist unter anderem, Stoffkreisläufe durch den Einsatz von MEX zu schließen. Das Schließen von Stoffkreisläufen wird durch die Verwendung von Granulat als Ausgangsform ermöglicht. Material von Produkten am Ende des Lebenszyklus kann durch einen Zerkleinerungsprozess wieder in Granulatform gebracht und erneut verwendet werden. Durch die Durchmischung mit neuem Material können die benötigten Materialeigenschaften gezielt eingestellt werden. Zusätzlich erhöht sich durch die

Verwendung von Granulat im Vergleich zu Filament die Anzahl möglicher Materialien deutlich, da Kunststoffe in weiten Bereichen der Industrie in Granulatform verarbeitet und auch angeboten werden. Durch den nicht mehr notwendigen Zwischenschritt der Herstellung von Filamenten für MEX wird auch im Bereich der Kunststoffverarbeitung Energie eingespart. Gleichzeitig sind die Preise für Granulat erheblich geringer als für Filamente [6]. Neben der Rezyklierung von Material besteht eine weitere Möglichkeit zur Steigerung der Nachhaltigkeit in der Verwendung von biobasierten Kunststoffen. Diese werden nicht aus fossilen Rohstoffen gewonnen, sondern basieren auf nachwachsenden Rohstoffen und entstammen somit bestehenden CO₂-Kreisläufen. Herausforderungen bei biobasierten Kunststoffen und Recyclingprozessen ergeben sich in drei Bereichen. Bei kompostierbaren Kunststoffen [7] besteht ein hoher Entwicklungsbedarf in der Materialforschung. Bio-

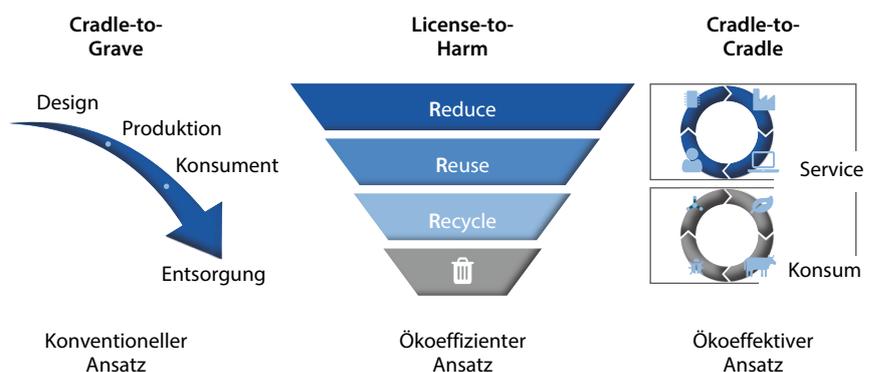


Bild 3 > Zielmodell Circular Economy – „Warum weniger schlecht nicht gleich gut ist“ [5] (© RWTH Aachen University)

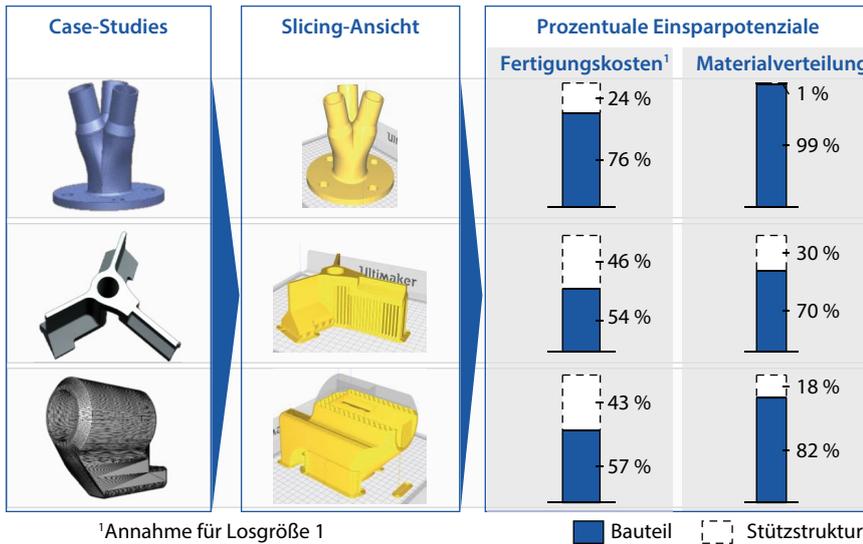


Bild 4 > Ein 2,5-dimensionaler Bauteilaufbau führt bei komplexen Bauteilgeometrien zu hohen Aufwänden im Post-Processing (© RWTH Aachen University)

logische Abbaubarkeit ist momentan nur bedingt sinnvoll, da die Materialherstellung ressourcenintensiv ist, die Nutzungsdauer durch die Abbaubarkeit jedoch stark begrenzt ist. Hier muss die Langlebigkeit von Kunststoffen während des Einsatzes gesteigert werden, während die biologische Abbaubarkeit erhalten bleibt.

Im Bereich des Recyclings gilt es zunächst, das Recycling von petrochemischen Materialien zu erforschen, um als mittelfristiges Ziel Neuressourcen zu reduzieren. Dabei ist die Identifikation von Anwendungsfällen wichtig, bei denen reduzierte mechanische Eigenschaften aufgrund des Recyclinganteils irrelevant sind. Gleichzeitig sind weitere Recyclingverfahren material- und produktabhängig zu entwickeln.

Im Verarbeitungsprozess müssen die Prozessparameter an die veränderte Viskosität sowohl von recycelten als auch von biologisch abbaubaren Kunststoffen angepasst werden. Um den Materialausnutzungsgrad zu erhöhen, bedarf es zudem innovativer Maschinenkonzepte. Schließlich müssen Prozesse zur Kreislaufwirtschaft befähigt und wirtschaftlich attraktiver gestaltet werden.

Vorteile neuer Maschinenkonzepte

Trotz der bereits bestehenden Vorteile von MEX im Hinblick auf Materialeffizienz lässt sich die Materialeffizienz weiter steigern. Dazu wurde im Rahmen einer Vorstudie zu BioME die additive Fertigung von drei

Bauteilen aus der Industrie, die alle eine geometrische Komplexität aufweisen, untersucht, *Bild 4*. Dabei handelt es sich um einen Dreifachverteiler in der Rauchgasreinigung und zwei Anwendungsbeispiele aus dem automobilen Vorrichtungsbau. Der Dreifachverteiler, *Bild 4* oben, benötigt für den Druckprozess nur in sehr kleinem Umfang Stützstrukturen. Die Vorrichtung für die automobilen Montage, *Bild 4* Mitte, muss bereits an zwei Armen abgestützt werden. Eine Rotation des Bauteils um 180° ergibt aufgrund der großen Überhangwinkel an den Armseiten keine Vorteile. Die Schweißvorrichtung aus dem Karosseriebau, *Bild 4* unten, benötigt Stützstrukturen sowohl von der Druckplatte aus als auch im Bauteilinneren. Die Fertigung der Bauteile besteht aus verschiedenen Kostenfaktoren, zum Beispiel Material, Lohnkosten, Energie, Instandhaltung und Raum. Alle drei Bauteile benötigen nach der Fertigung einen Nacharbeitungsprozess, bei dem die Stützstrukturen entfernt und die entstandenen Oberflächen nachgearbeitet werden. Die Gesamtkosten können in Kosten, die durch die eigentliche Bauteilgeometrie anfallen, und Kosten aufgrund der Stützstruktur unterteilt werden, *Bild 4* rechts. Letztere können durch veränderte Konzepte vermieden werden. Die Berechnungen basieren auf der Annahme für Losgröße 1, gefertigt auf einem Ultimaker 3 mit PLA-Filament von Ultimaker und dem Standard-Parameter-Set der Slicing-Software Cura. Das Resultat der Kostenberechnung zeigt, dass die eigentliche additive Bauteilfertigung nur zwischen 54 und 76 % der Kosten für die Fertigung ausmacht. Der restliche Anteil

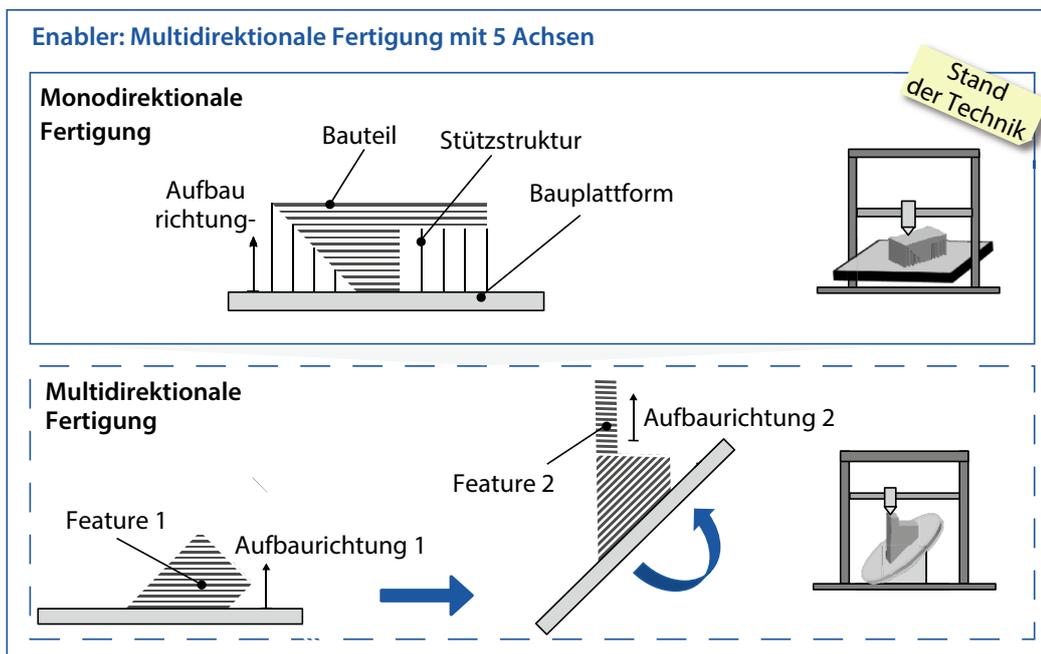


Bild 5 > Eine multidirektionale Fertigungsmethode zielt darauf ab, Nacharbeit zu reduzieren und Material für Stützstrukturen einzusparen (© RWTH Aachen University)

wird durch die Stützstrukturen hervorgerufen. Je nach Geometrie fällt die Kostenverteilung unterschiedlich aus und hängt maßgeblich von der Komplexität des Bauteils ab. Durch den Wegfall von Stützstruktur wird demnach eine Kostenreduktion ermöglicht. Gleichzeitig wird durch das eingesparte Material der Materialausnutzungsgrad erhöht und durch weniger aufgeschmolzenes Material der Energieverbrauch reduziert und somit der Fertigungsprozess nachhaltiger gestaltet. Der Wegfall der Stützstruktur wird im Projekt BioME durch ein multiaxiales Anlagensystem realisiert. Hierdurch kann das Bauteil während der Fertigung so positioniert werden, dass das aufgetragene Material immer horizontal auf der Grenzfläche abgelegt werden kann, *Bild 5*. Neben der kostengünstigeren Fertigung kann das Bauteil so gefertigt werden, dass der bei additiver Fertigung auftretende Stufeneffekt verringert wird. Beide Effekte können für eine gesteigerte Oberflächenqualität sorgen. Sollte die geforderte Oberflächenqualität damit bereits erreicht werden, entfällt neben dem Nachbearbeitungsaufwand zur Entfernung der Stützstruktur auch eine mögliche Nachbearbeitung der Oberflächen, beispielsweise die Außen- und Abschlussflächen der Stützen des Dreifachverteilers, *Bild 4*.

Materialextrudierende Verfahren als Vorreiter für Nachhaltigkeit?

Die Verwendung von materialextrudierenden Technologien weist ein großes Potenzial bei der Herstellung großvolumiger Bauteile und der aufwandsarmen Verarbeitung von Rezyklat und biobasierten Kunststoffen zu neuen Produkten auf. Die Verwendung von materialextrudierenden Verfahren hat das Potenzial, nachhaltige Stoffkreisläufe in Unternehmen zu implementieren. Zudem kann der Materialverbrauch durch die additive Fertigung gegenüber subtraktiven Verfahren gesenkt werden. Der Einsatz neuer Maschinenkonzepte verspricht neben weiterer Materialeinsparung reduzierte Fertigungszeiten und -kosten. Beide Bereiche befinden sich jedoch noch in der Entwicklung. Die Untersuchung der Kombination im Projekt BioME bietet dabei große Chancen. Denn während Nachhaltigkeit und Wirtschaftlichkeit heutzutage meist Gegensätze darstellen, bietet BioME die Möglichkeit, diesen Gegensatz aufzuheben und beide miteinander zu kombinieren. Damit können auch die Interessen von Konsumenten (nachhaltige Produkte) und von Unternehmen (gesteigerte Wirtschaftlichkeit) vereint und erreicht werden. //

Literaturhinweise

- [1] Cikoni GmbH: Ein funktionsintegrierter Cockpitträger aus dem 3D-Drucker. Online: <https://cikoni.com/de/ein-funktionsintegrierter-cockpittraeger-aus-dem-3d-drucker-einbeispiel-fuer-innovative-entwicklungs-und-fertigungsverfahren>, aufgerufen am 4.8.2021
- [2] Keppner et al.: Die Zukunft im Blick: 3D-Druck. Trendbericht zur Abschätzung der Umweltwirkungen. Umweltbundesamt, 2019
- [3] Heinrich-Böll-Stiftung (Hrsg.): Plastikatlas (2019)
- [4] Schiele & Schön GmbH (Hrsg.): Neue Impulse für das Additive Manufacturing in vielen Branchen. In: Giesserei Praxis. (2018), Nr. 9
- [5] McDonough, William; Braungart, Michael: Cradle to Cradle: Remaking the way we make things. Random House. (2009)
- [6] Petersen et al.: Impact of DIY Home Manufacturing with 3D Printing on the Toy and Game Market. In: Technologies. 5. Jg. (2017), Nr. 3, S. 45
- [7] Norm DIN EN 1343: Anforderungen an die Verwertung von Verpackungen durch Kompostierung und biologischen Abbau. (2000)

Kontakt/Autoren

Prof. Dr.-Ing. Dipl.-Wirt. Ing. Günther Schuh, Inhaber des Lehrstuhls für Produktionssystematik des Werkzeugmaschinenlabors WZL der RWTH Aachen University, Direktoriumsmitglied am Fraunhofer-Institut für Produktionstechnologie IPT in Aachen und Direktor des Forschungsinstituts für Rationalisierung (FIR) der RWTH Aachen University
g.schuh@wzl.rwth-aachen.de

Dr.-Ing. Georg Bergweiler, Oberingenieur am Lehrstuhl für Produktionssystematik des Werkzeugmaschinenlabors WZL der RWTH Aachen University
g.bergweiler@wzl.rwth-aachen.de

Steffen Hohenstein, M. Sc., Gruppenleiter am Lehrstuhl für Produktionssystematik des Werkzeugmaschinenlabors WZL der RWTH Aachen University
s.hohenstein@wzl.rwth-aachen.de

Jan Schenk, M. Sc., wissenschaftlicher Mitarbeiter am Lehrstuhl für Produktionssystematik des Werkzeugmaschinenlabors WZL der RWTH Aachen University
j.schenk@wzl.rwth-aachen.de

Werkzeugmaschinenlabor (WZL) der RWTH Aachen University

Campus Boulevard 30
52074 Aachen
www.wzl.rwth-aachen.de



SIGMACARB
TUNGSTEN CARBIDE
MANUFACTURER

WEAR-RESISTANCE
WORKING

METAL

WOOD

GLASS

STONE

TEXTILES

ADVICE, DESIGN & PRODUCTION
OF SPECIAL PRIVATE LABEL PARTS
We shape your needs with the Swiss precision

SIGMACARB SA • CH-6825 Capolago • Switzerland • +41 91 930 84 04 • sigmacarb.com

