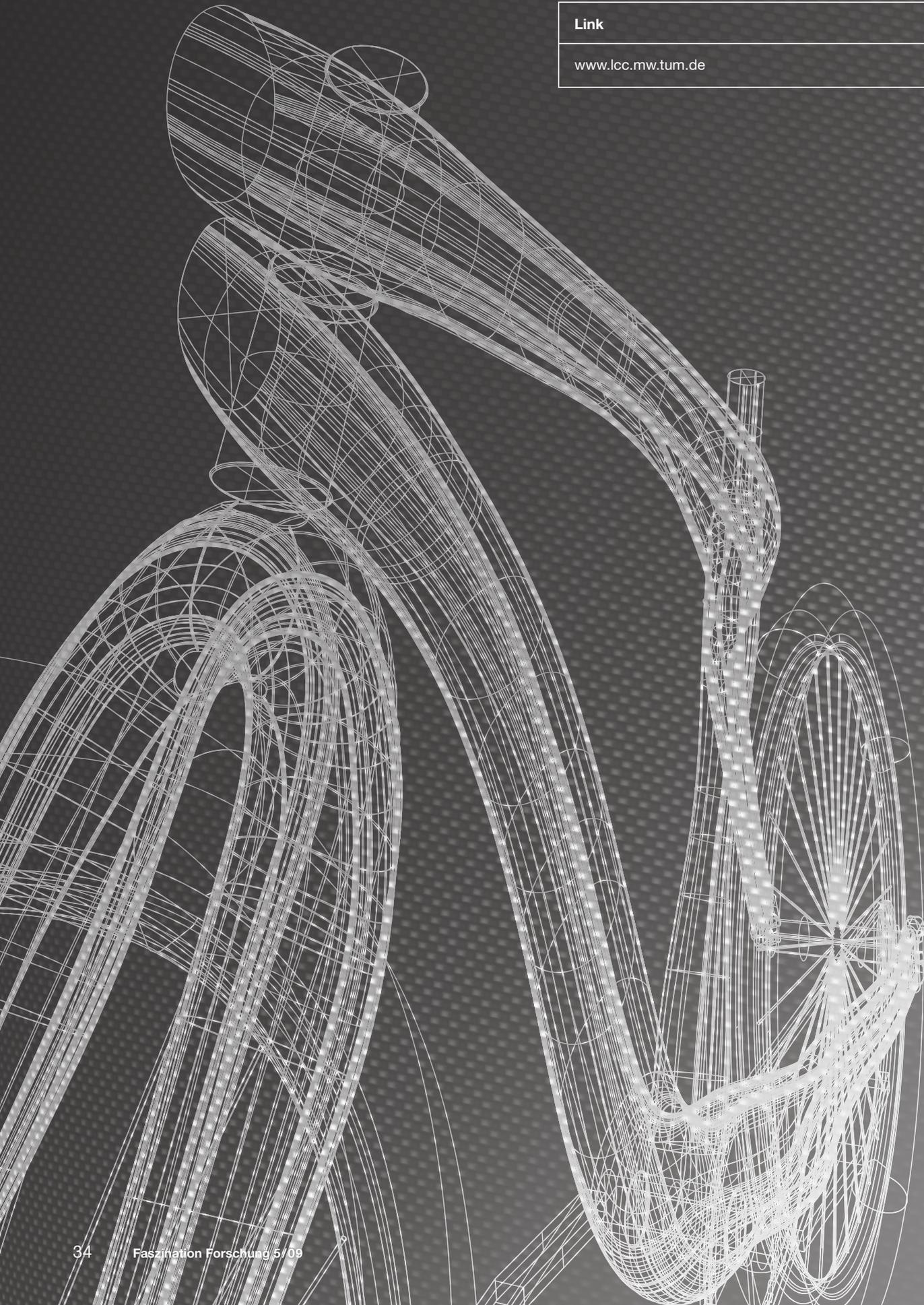


Link

[www.lcc.mw.tum.de](http://www.lcc.mw.tum.de)



# Wir nähern uns ein Flugzeug

**Sie sind leichter als Aluminium und stabiler als Stahl. Deshalb werden aus carbonfaserverstärkten Kunststoffen Flugzeuge und Raketen gebaut. Sie könnten auch Autos leichter machen. Doch dafür ist ihre Verarbeitung zu teuer. Klaus Drechsler setzt auf die Nähmaschine, die die Massenproduktion möglich machen könnte**

Auf dem Monitor fliegen die Fetzen. Zu sehen gibt es den Crashtest eines carbonfaserverstärkten Kunststoffträgers. Und der wird beim Aufprall schier geschreddert. Was im ersten Moment wenig vertrauenswürdig aussieht, ist eine echte Erfolgsgeschichte: Der Kunststoffträger ist viel leichter als Blech, nimmt aber mindestens genauso viel Energie auf, wenn er gegen die Wand kracht. Dächte man sich ein Auto aus dem Material, würde die Knautschzone nicht knautschen, sondern bröseln, den Fahrer aber ebenso gut schützen. Der könnte, salopp gesagt, nach einem leichten Crash seine Fahrgastzelle verlassen und den Rest der Karosserie aufkehren.

Der Film läuft auf dem Computer von Professor Klaus Drechsler an der Fakultät für Maschinenwesen der TU München in Garching. Seit Mai baut er den frisch gegründeten Stiftungslehrstuhl der SGL Group für Carbon Composites auf und ist gerade in sein neues Büro eingezogen. Klaus Drechsler beschäftigt sich mit carbonfaserverstärkten Kunststoffen (CFK), und die scheinen wahre Tausendsassas unter den Werkstoffen zu sein. Extrem leicht und doch stabil wie Blech oder Alumi-

um, in allen erdenklichen Formen zu fertigen – nur leider heute noch zu teuer für Massenfertigungen wie im Automobilbau. Flugzeugbau und Raumfahrt setzen zwar schon stark auf die neue Technik, aber in den breiten Markt hat sie es aufgrund der Kosten noch nicht geschafft. Teuer machen Faserverbundwerkstoffe einerseits die Carbonfasern selbst, aber vor allen Dingen auch die Fertigung, die noch viel Handarbeit erfordert.

Jetzt aber zieht der Markt an, denn wegen der Diskussion um Klimaschutz und Energieeffizienz suchen viele Industriezweige nach leichteren Materialien. Carbonfaserverstärkte Kunststoffe sind stabil, rosten nicht und sind 60 Prozent leichter als Stahl und 30 Prozent leichter als Aluminium. Windräder mit Rotoren aus CFK sind effizienter und weniger anfällig für Korrosion – gerade bei Windparks auf hoher See ein großes Problem. Den Flugzeugbauern ist die Gewichtsersparnis von nur einem Kilogramm bis zu 100 Euro Mehrkosten wert – kein Wunder, wenn man sich überlegt, dass schon ein einziger Airbus A320 mit zehn Kilo weniger im Jahr knapp 2.000 Liter Kerosin spart. Mit das größte Potenzial für CFK sieht Drechsler im Automobilbau: ▷

### Konstruieren wie die Natur – Faserverbundstrukturen

Wer mit weniger Energie mehr leistet, lebt länger: Dieses Prinzip herrscht seit Jahrmillionen in der Natur. Die Natur ist ein Meister im Leichtbau und Baupläne in der Tier- und Pflanzenwelt weisen eine extrem gute Energieeffizienz auf. Jede Kreatur verfügt über Konstruktionen und Werkstoffe, die optimal an ihre Funktion angepasst sind. Fasern liefern die Grundstruktur für diese Bauweise. Eingebettet in eine Matrix, sind sie genau so angeordnet, dass alle einwirkenden Kräfte bestmöglich verteilt werden. Bäume oder Knochen sind nur zwei Beispiele dafür, wie die Natur Faserverbundstrukturen nutzt, um bei minimalem Gewicht möglichst großen Belastungen standzuhalten. Nach dem gleichen Prinzip sind Faserverbundstrukturen für den Leichtbau aufgebaut: Über die

Wahl und die Anordnung der Fasern wird der Werkstoff genau an die an ihn gestellten Anforderungen angepasst. Heute kennt man faserverstärkte Metalle, Keramiken und Kunststoffe, wobei den carbonfaserverstärkten Kunststoffen (CFK) derzeit mit am meisten Aufmerksamkeit zuteilwird. Das liegt in erster Linie an der Carbonfaser selbst, die für Anwendungen im Leichtbau unschlagbar ist: Sie kann wahlweise mit höchster Festigkeit, höchster Steifigkeit oder ausgewogenen Eigenschaften hergestellt werden und lässt sich maschinell verarbeiten. Mit der zunehmenden Verbreitung von CFK wird auch die Vielfalt der Carbonfasern zunehmen und – wie in der Natur – für jede Anforderung die optimalen Eigenschaften liefern.

„Autos haben seit den Siebzigerjahren stetig an Gewicht zugelegt, Komforteinrichtungen wie Klimaanlage und Schutzsysteme wie Airbags forderten ihren Tribut. Ein Mittelklassewagen wiegt heute über eine Tonne. Hundert Kilo weniger würden seinen Spritverbrauch um bis zu einem halben Liter pro 100 Kilometer reduzieren. Umgekehrt kann man mit leichteren Werkstoffen sportlichere Autos bauen, die nicht mehr Sprit verbrauchen.“ Allerdings liegt in der Automobilindustrie die Latte besonders hoch. Gerade mal fünf Euro Mehrkosten pro eingespartes Kilo Gewicht würden sich rechnen, sagt Drechsler und bringt damit das Ziel seiner Forschung auf den Punkt: Automatisierung und Großserientauglichkeit. Er sucht nach Fertigungstechniken und Maschinen, die die Minutentakte hochvolumiger Produktion erfüllen, und nach Konstruktionsverfahren, die das Potenzial des Werkstoffs optimal ausnutzen.

CFK besteht typischerweise aus 60 Prozent Carbonfasern und 40 Prozent Kunststoff. In der Lage der Fasern liegt der Schlüssel zur Stabilität der CFK: Je nachdem, welche Belastungen auf das zu schaffende Bauteil zukommen, werden die Fasern längs, quer oder zu einer Matrix verwoben angeordnet. Das Ziel ist, die auftretenden Spannungen möglichst homogen auf das ganze Bauteil zu verteilen. Im zweiten Schritt wird dem Gewebe Epoxidharz injiziert, sodass alle Zwischenräume komplett mit Kunststoff aufgefüllt sind – Infiltration nennt sich das Verfahren, das Drechsler verwendet.

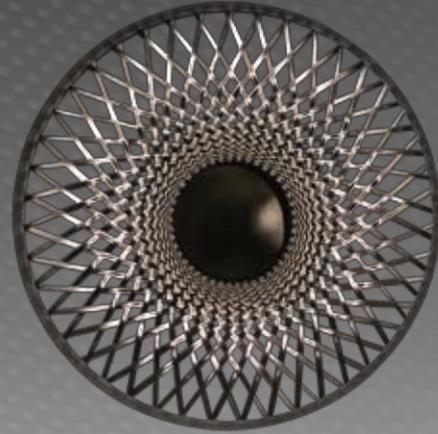
Die Vorgehensweise revolutioniert die Art, wie bisher gefertigt und konstruiert wird. Man schneidet nicht mehr Bleche, die man in die gewünschte Form bringt, sondern man braucht Maschinen, die Fasern zu vorgegebenen Formen verarbeiten können, und effiziente Injektions- und Aushärteverfahren. Die Eigenschaften des Werkstücks hängen direkt davon ab, wie es gefertigt wurde. Umgekehrt kann man auf diese Wei-

se ein ganz bestimmtes Materialverhalten einstellen. Drechsler nennt als Beispiel anisotrope Eigenschaften: Anders als bei Metall, das in allen Richtungen gleich druck- oder zugfest ist, können spezielle Faseranordnungen ein Bauteil gezielt in eine Richtung stabilisieren, ohne gleich das ganze Werkstück zu verstärken. „Um dem Werkstoff gerecht zu werden, muss man völlig neu denken“, meint Drechsler und arbeitet deshalb auch an Simulationsmethoden und Modellen, mit denen Konstrukteure ihre Ideen durchspielen können.

### Geflochtene Holme, gestickte Verstärker

Es gibt verschiedene Arten, aus der aufgespulten Carbonfaser ein Werkstück zu machen. Drechsler setzt auf die maschinellen Möglichkeiten der Textilindustrie und webt, stickt, flicht, näht oder strickt die Fasern in Form. Die Vorteile sieht er in der starken Automatisierung und deshalb dem hohen Potenzial zur Kostenersparnis. In der Praxis sieht das so aus, dass ein flaches Bauteil wie zum Beispiel ein Bremskraftverstärker für Fahrräder um ein vorgegebenes Muster gestickt wird.

Das gestickte Teil ist nur halb so schwer, aber dreimal so steif wie sein Pendant aus Aluminium. Dreidimensionale Stücke wie Holme oder Träger werden oft um einen leichten Rohling geflochten. Was sich daraus machen lässt, kann man in Drechslers Büro ausprobieren: Aus Stuttgart, wo er bisher den Lehrstuhl für Flugzeugbau an der Universität geleitet hat, brachte er einen geflochtenen Fahrradrahmen mit nach München. Sein leicht futuristisches Aussehen lässt erahnen, was alles möglich sein wird, wenn die Konstrukteure erst einmal anfangen, mit dem neuen Material zu experimentieren. Interessant für Allwetterradler ist zum Beispiel das Vorderlicht, das samt Verkabelung im oberen Holm untergebracht ist. Drechsler und sein Team pflegen engen Kontakt mit dem – in Europa einzigen – Faserherstel-



Was man alles aus carbonfaserverstärkten Kunststoffen konstruieren kann, verdeutlicht der Fahrradrahmen, den Professor Klaus Drechsler entwickelt hat. Die Rohre und Streben werden vollautomatisiert geflochten

ler SGL Group in Meitingen, um optimale Fasern für bestimmte Fertigungstechniken und Materialanforderungen zu finden. Er erwartet, dass es in Zukunft eine Vielzahl von Fasern geben wird und sieht darin weiteres Potenzial zur Kostenreduktion – sowohl bei den Fasern als auch in der Fertigung. Auch bei der Harzinfiltration sieht Drechsler großen Forschungsbedarf. Wie kann man das Epoxidharz schnell injizieren und sicherstellen, dass keine Blasen bleiben? Wie kann man den Aushärtprozess effizienter gestalten? Welche Eigenschaften muss das Harz haben, welche Bauteilgeometrie ist für die Infiltration optimal?

#### Wie holt man das Beste aus dem Werkstoff raus?

Noch fehlt den Ingenieuren die Erfahrung, das Gefühl für den neuen Werkstoff. Wie müssen die Fasern liegen, damit sie die einwirkenden Kräfte optimal verteilen? Wie muss das Bauteil geformt sein, damit es mit möglichst wenig Material möglichst stabil ist? Und wie müssen die Injektionsparameter für diese Geometrie aussehen? Die Konstrukteure brauchen Techniken und Modelle, um solche Zusammenhänge zu simulieren. Die gesamte Prozesskette von der Faserherstellung bis zum fertigen Bauteil muss in einem Modell abgebildet werden. Das Modell wiederum braucht Daten, die das Verhalten von CFK beschreiben. Deshalb müssen die neuen Composites genau charakterisiert werden. Außerdem existieren noch kaum Simulationswerkzeuge für die textilen Fertigungsprozesse und die Harzinfiltration. Die Modelle sind nicht nur wichtig für die Konstruktion, sondern auch für die Abschätzung des Langzeitverhaltens von Bauteilen aus CFK und ihren möglichen Schadenstoleranzen. Wie wirken sich Stöße aus? Bilden sich Risse im Material und wie werden sie sich ausbreiten? Natürlich gibt es Erfahrungen, denn carbonfaserverstärkte Kunststoffe sind nicht ganz neu, aber nun geht es den

Wissenschaftlern darum, dieses Wissen zu erweitern und in allgemeingültige Modelle einfließen zu lassen.

#### Das Elektroauto soll den Durchbruch schaffen

Aus Drechslers Sicht steht der Durchbruch für CFK praktisch vor der Tür. Windenergie gewinnt weltweit an Bedeutung. Boeing fertigt seinen neuen Dreamliner 787 erstmals mit einem kompletten CFK-Rumpf, inklusive Flügel. Mercedes hat mit dem SLR McLaren das erste Serienauto mit einer vollständig aus carbonfaserverstärkten Kunststoffen gefertigten Front-Crashstruktur gebaut. Andere Hersteller ersetzen einzelne Teile wie Stoßstangen oder das Dach durch CFK oder verstärken Metallholme mit CFK, um Gewicht zu sparen und trotzdem die nötige Stabilität zu haben. Den Durchbruch wird die Entwicklung des Elektroautos bringen, ist sich Drechsler sicher. „Da wird das Auto in Teilen praktisch neu erfunden. Es gibt keinen Motor mehr, keinen Kühler oder Antriebsstrang, keinen Auspuff, sondern stattdessen im Auto verteilte Batterien, die vielleicht vier Radnabenmotoren antreiben.“

Klaus Drechsler hat große Pläne: Sein Lehrstuhl, der heute aus zehn Personen besteht, soll in den nächsten Jahren über Drittmittelprojekte bis auf 40 Mitarbeiter anwachsen. Zusammen mit der Universität Stuttgart und der Fraunhofer-Gesellschaft, die in Augsburg ein Institut für Funktionsintegrierten Leichtbau aufbauen will, möchte er das Know-how für die Großserienfertigung von CFK aufbauen. Ein wichtiger Aspekt ist für ihn die Ausbildung an den Universitäten, um das neue Wissen in die Unternehmen hineinzutragen. Dass er in dieser Hinsicht auf einem guten Weg ist, wurde ihm gleich an seinem ersten Arbeitstag an der TUM klar: Da warteten bereits Studenten vor seinem Büro und interessierten sich für Diplom- und Doktorarbeiten zum Thema Carbon Composites. *Christine Rüth*