

Materialentwicklung nach dem »Zwergenprinzip«

Die Materialforscherin Anne Jung hat – getreu ihrer Devise »Weniger ist mehr« – einen neuen Leichtbauwerkstoff entwickelt, der sich am Vorbild der Natur orientiert.

Das aus verstärktem Metallschaum bestehende Material kombiniert – ähnlich wie Knochen – hohe mechanische Stabilität mit geringem Gewicht.

Die wachsende Weltbevölkerung drängt zunehmend in Städte, deren Bauwerke aus Platzmangel in den Himmel schießen. Dieser Trend zu »immer höher« stellt auch ständig steigende Anforderungen an die Bautechnik. Der über 800 Meter hohe Burj-Kalifa-Tower in Dubai oder der bis zu 350 Meter hohe Viadukt von Millau – mit 2,5 Kilometern die längste Schrägseilbrücke der Welt – wären noch vor wenigen Jahren als Phantasereien abgetan worden. Solche Extrembauwerke müssen hohe Nutzlasten tragen, dürfen dabei aber selbst nicht zu schwer werden. Möglich wurden sie durch neuartige Leichtbaukonzepte – darunter verbesserte Tragwerksstrukturen und Skelettbauweise.

Als Bauwerkstoffe jedoch kommen vorwiegend schwere, massive Materialien wie Stahl und Beton zum Einsatz. »Die Natur ist da wesentlich schlauer«, erklärt Anne Jung. »Sie verwendet – auch bei lasttragenden Konstruktionen – zelluläre Materialien und schwammartige Strukturen mit einem hohen Volumenanteil an Luft. Dies bringt hohe Steifigkeit bei vergleichsweise geringem Gewicht.«

Wie gut das funktioniert, zeigen etwa die über hundert Meter hohen Mammutbäume, die knapp sechs Mal so schwer werden wie ein startklarer Airbus 380. Dennoch bleiben die Riesen stabil genug, um nicht nur ihr eigenes Gewicht zu tragen, sondern auch starke Stürme zu überstehen. Ein weiteres Beispiel für die vorteilhafte Kombination aus »leicht« und »stabil« sind Knochen, die einst selbst tonnenschweren Dinosauriern einen sicheren Stand gaben.

Studienpreis-Jurorin Katja Windt:

»Anne Jung leistet mit ihrer Dissertation einen wertvollen Beitrag zur Entwicklung neuartiger, ressourceneffizienter und nachhaltiger Materialien. Sie orientiert sich in ihrer Forschung an dem in der Natur optimierten Prinzip »Weniger ist mehr«, das wir etwa bei der Struktur von Knochen finden, die geringes Gewicht mit maximaler Stabilität verbinden. Der von ihr entwickelte offenporige, nanobeschichtete Hybrid-Metallschaum zeichnet sich durch ein enormes Anwendungsspektrum aus – im Leichtbau, beim Crasheschutz oder aber auch als Splitterschutz bei Gefahrgut. Dass Jung sowohl ein europäisches als auch ein internationales Patent beantragen konnte, verdeutlicht die Qualität dieser interdisziplinären Arbeit.«

Bionik – abkupfern bei der Natur

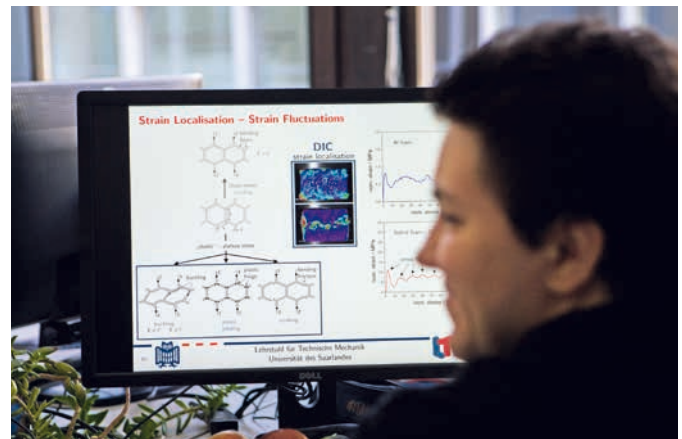
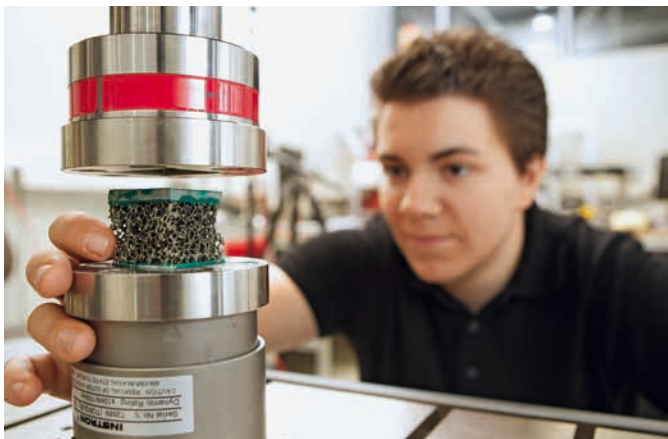
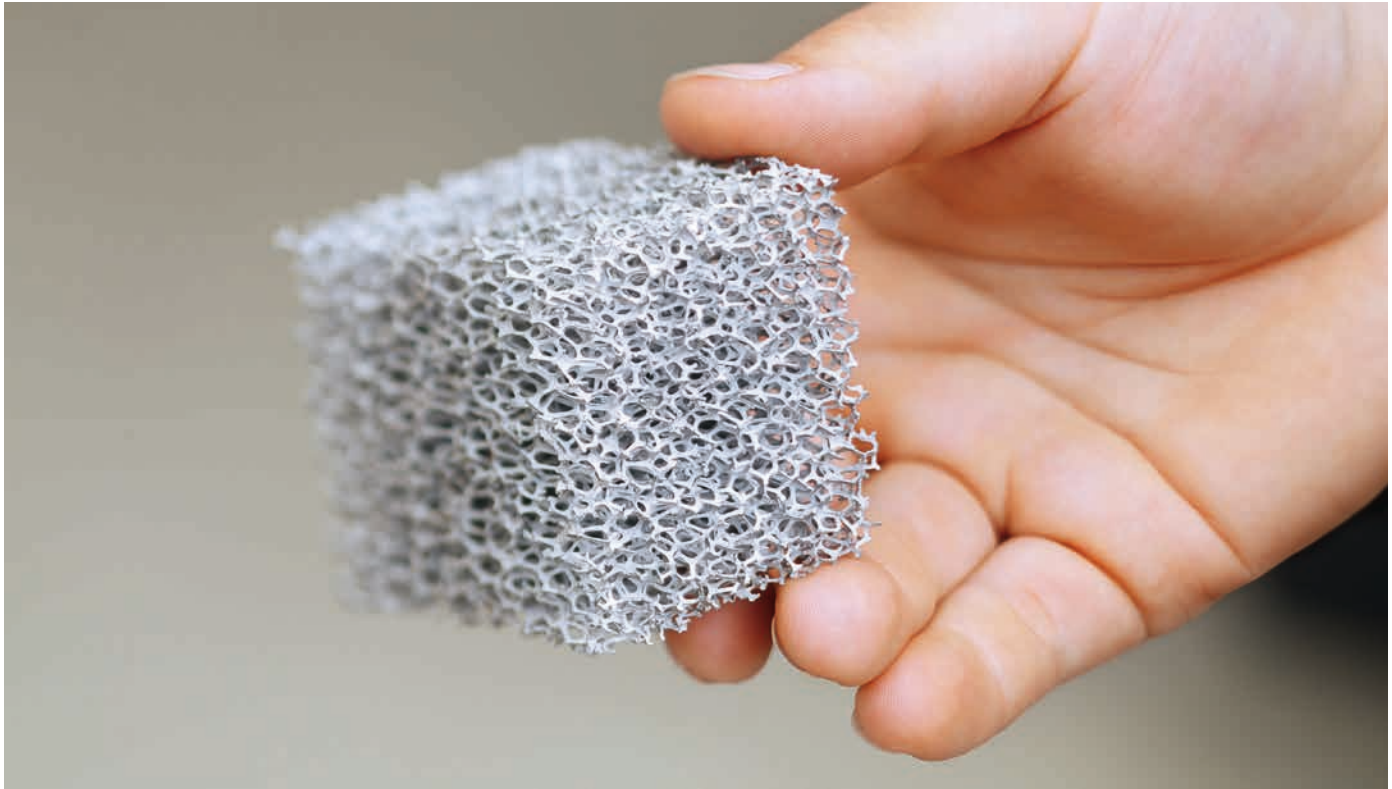
Techniker unterschiedlicher Disziplinen haben diese Vorteile inzwischen erkannt. Sie bedienen sich zunehmend bionischer Konzepte, die gleichsam »bei der Natur abkupfern«. Beliebt sind unter anderem Wabenstrukturen und Schaumwerkstoffe, die beide eine hohe Steifigkeit mit geringem Gewicht vereinen.

Anne Jung hat sich in ihrer Doktorarbeit eingehend mit Metallschäumen befasst. Diese lassen sich – anders als etwa spröde Keramikschaume – leicht verformen. Sie bleiben auch bei hohen Temperaturen stabil und können gut Stöße abfangen. Aufgrund dieser Eigenschaften werden Metallschäume unter anderem im konstruktiven Leichtbau eingesetzt; man findet sie etwa in Bremskolben und Getriebezahnrädern. Weiterhin dienen sie als Stoßenergie-Absorber – beispielsweise als Unterfahrschutz in LKWs, Zügen und Straßenbahnen –, zur Schalldämmung sowie zur elektromagnetischen Abschirmung. Die Herstellung solcher Metallschäume ist allerdings noch recht kostspielig. Außerdem sind deren Materialeigenschaften bislang nur mangelhaft reproduzierbar.

Diese Mankos ist Anne Jung in ihrer Doktorarbeit angegangen. »Mein Ziel war die Entwicklung eines verstärkten, leichten Metallschaums mit verbesserter Biegesteifigkeit und erhöhter Energieabsorption.« Zur Umsetzung hat die Forscherin einen sogenannten Hybridschaum kreiert: Er besteht aus einem relativ weichen Strukturgerüst aus Aluminiumschaum. Um die Stege dieses »Substratschaums« zu stärken, hat Jung sie elektrochemisch mit einer hauchdünnen, aber sehr harten Nickelschicht ummantelt. »Die Nickelbeschichtung veredelt den Aluminiumschaum«, erklärt die Preisträgerin. »Sie verleiht ihm Eigenschaften, die mit Aluminium allein nicht zu erzielen wären.« Die Nickelschicht muss dafür nur etwa 150 Mikrometer (Millionstel Meter) dünn sein. Das bringt den Vorteil, dass der Schaum insgesamt sehr leicht bleibt. Der Clou: Die Nickelschicht besteht aus winzigen Körnern in der Größe von nur einigen Nanometern (Milliardstel Metern).

Damit hat Jung das in der Natur vielfach bewährte Porenprinzip (leicht und dennoch stabil) erfolgreich in die Welt der Werkstoffe übertragen. Die geringe Korngröße der Nickelbeschichtung erhöht die Stabilität zusätzlich. Materialien wie Beton hingegen bestehen aus relativ großen Körnern im Millimeter- bis Zentimeterbereich, die entsprechend leicht





»zerbröseln«. Da »Nano« im Altgriechischen »Zwerg« bedeutet, bezeichnet Jung ihr Verfahren auch als »Materialverstärkung nach dem Zwergenprinzip«.

Zäh wie Bambus

Ein gutes Beispiel für die resultierende Widerstandsfähigkeit sind Bambusstäbe. Sie verdanken ihre Spannkraft und Elastizität einer harten äußeren Schale. Im Inneren jedoch enthalten sie nur Luft. »Dieser Luft entspricht in meinen Hybridschäumen das Aluminiumsubstrat«, erklärt Jung. »Ihre guten mechanischen Eigenschaften verdanken die Hybridschäume fast ausschließlich der dünnen nanokristallinen Nickelumhüllung.«

Bereits zuvor hatten sich Forscher an der Beschichtung von Metallschäumen versucht – allerdings vorwiegend mit dem Ziel, die große innere Oberfläche der Schäume funktional (etwa als Katalysator) zu nutzen. Anne Jung hingegen strebt

mit der Beschichtung eine Verbesserung der mechanischen Eigenschaften der Schäume an. Die Beschichtung erfolgt in der Regel galvanisch – das heißt mittels elektrochemischer Anlagerung der Metalle auf dem Schaumsubstrat. Forschern, die diese Methode zuvor anwandten, ist es jedoch nicht gelungen, eine gleichmäßig dicke Abscheidung zu erzielen: Die äußeren Bereiche der Schäume waren stets dicker beschichtet als die schwerer zugänglichen inneren Bereiche.

Dieses Problem bekam die Materialwissenschaftlerin Anne Jung mit einer eigens im Rahmen ihrer Dissertation entwickelten »Käfig-Anode« in den Griff. »Damit habe ich eine zu 80 Prozent homogene Beschichtung der dreidimensionalen porösen Schaumstruktur bis ins Schauminnere erreicht«, berichtet die Wissenschaftlerin, »und dies sogar bei Schäumen mit bis zu fünf Zentimetern Durchmesser.« Zur Überprüfung schnitt sie zunächst die beschichteten Schäume in dünne Scheiben und ermittelte anschließend mit einer in der Supra-

leiterforschung gebräuchlichen Methode, die auf Messungen der magnetischen Flussdichte basiert, die Schichtdicken in unterschiedlichen Schaumtiefen.

Was kann der Schaum?

Mit solch einem neu entwickelten Werkstoff vermag jedoch niemand etwas anzufangen, wenn dessen spezifische Materialeigenschaften nicht bekannt sind. Also machte sich Jung ans Werk, das physikalische und mechanische Verhalten ihrer Hybridschäume zu testen und zu beschreiben. Sie setzte die Schäume mechanisch unter Druck, presste und zerrte sie, teils aus mehreren Richtungen gleichzeitig. Fachsprachlich handelte es sich um »biaxiale Schub-Druck-Versuche« unter »mehraxialen Belastungszuständen«. Außerdem nahm sie ballistische Tests vor, bei denen unter anderem die Eindringtiefe von Splittern und Spänen untersucht wird.

Ergebnis: Jungs neue Hybridschäume können bis zu doppelt so viel Stoßenergie schlucken wie herkömmliche Absorptionsmaterialien. Ein Unterfahrschutz könnte damit – bei gleicher Auffangwirkung – um die Hälfte kleiner dimensioniert werden. Würden Hybridschäume als Abdeckmaterial bei der Entschärfung von Blindgängern aus dem Zweiten Weltkrieg verwendet, ergäbe sich bei gleicher Materialdicke eine doppelt so hohe Schutzwirkung. Dann müssten in einem akuten Notfall wie letztes Jahr in München weniger Menschen aus der Umgebung evakuiert werden. Dies erhöht nicht nur die Sicherheit, sondern senkt auch die Kosten.



Ein interdisziplinäres Puzzle

Da Jung in vielen Bereichen Neuland betreten hat, glich ihre Arbeit einem interdisziplinären Puzzle: »Meine Dissertation umfasst die gesamte Kette der Entwicklung eines neuen Materials – von der Herstellung des Hybridschaums über dessen methodische und experimentelle Charakterisierung bis hin zur Entwicklung von Modellen, die materialschonende Tests in Computersimulationen ermöglichen. Das Themenspektrum reicht von Chemie und Physik über Verfahrenstechnik und Werkstoffwissenschaften bis zur Mechanik.« Um all dies »unter einen Hut« zu bringen, hat Jung intensiv mit anderen Fachbereichen der Universität des Saarlandes sowie mit dem Fraunhofer-Institut für zerstörungsfreie Prüfverfahren zusammengearbeitet. Weitere Kenntnisse über dynamisches Werkstoffverhalten erlangte sie während mehrmonatiger Forschungsaufenthalte am Deutsch-Französischen Forschungsinstitut Saint-Louis (ISL).

Hybridschäume haben ein breites Anwendungspotenzial, sowohl im Leichtbau als auch im Bereich der Absorption kinetischer Energien. Zu den Interessenten zählen die Automobil- und Luftfahrtindustrie (Stoßabsorber und Panzerungen), die Bauindustrie (Fassadenschutz, Schallisolierung), Kampfmittelräumdienste (Bombenentschärfung) und nicht zuletzt Architekten, die in Räumen wie Konzertsälen durch gezielte Schalldämmung die Akustik verbessern wollen. Ein Problem sind die immer noch hohen Herstellungskosten für die Schäume. Diese dürften jedoch bei Massenproduktion deutlich sinken. In Zusammenarbeit mit einer großen deutschen Galvanikfirma gelang es Jung bereits, die Produktion vom Labor- in den industriellen Maßstab zu überführen – was »die konkrete Umsetzung in Produkte« auf den Weg bringt.

Aufgrund des großen Interesses hat Anne Jung für ihre Hybridschäume bereits ein europäisches und ein internationales Patent beantragt. Ihre Ergebnisse hat sie in bislang 14 Fachpublikationen sowie mit 15 Konferenzvorträgen im In- und Ausland der Öffentlichkeit vorgestellt. Technikbegeistert war die Preisträgerin schon als Kind: »Während andere Mädchen mit Puppen spielten, bastelte ich mit Meccano- und Fischertechnik-Baukästen.«

Anne Jung (30) studierte von 2002 bis 2007 Chemie an der Universität des Saarlandes. Zwischen 2007 und 2012 absolvierte sie zwei Promotionsstudiengänge zur Erlangung der Doktorgrade der Naturwissenschaften und der Ingenieurwissenschaften. In diesem Rahmen forschte sie am Deutsch-Französischen Forschungsinstitut Saint-Louis (ISL) in Frankreich, am Transferzentrum für Nano-Elektrochemie der Universität des Saarlandes und am Zentrum für Mechatronik und Automatisierungstechnik. Derzeit ist sie als Postdoc am Lehrstuhl für Technische Mechanik an der Universität des Saarlandes tätig.

Beitragstitel **Materialentwicklung nach dem »Zwergenprinzip« und der Devise »Weniger ist mehr«**

Anne Jung

Promotion an der Universität des Saarlandes

Universität des Saarlandes

Lehrstuhl für Technische Mechanik

Telefon +49 · 681 · 30221 69

E-Mail anne.jung@mx.uni-saarland.de