

Biomimetische Körperschutzwerkstoffe

Zum Schutz vor ballistischen Körpern wie Projektilen oder Granatsplittern sowie Stichwaffen werden heute bereits sehr leistungsfähige Werkstoffe eingesetzt. Dennoch sind Verbesserungen speziell im Bereich des Energieabsorptionsverhaltens, der Härte, der Flexibilität sowie eine Gewichtsreduktion von großem Interesse und stellen damit die wesentlichen Anforderungen an zukünftige Materialien für den ballistischen Körperschutz. Ein vielversprechender Ansatz zur Materialoptimierung ist hier die Übertragung biologischer Konzepte auf ballistische Materialien. Natürliche Vorbilder könnten beispielsweise Spinnenseide oder die Mikroarchitektur von Fischschuppen sein. Mit der umfassenden Einsetzbarkeit grundlegend neuer biomimetischer Körperschutzwerkstoffe ist allerdings erst langfristig zu rechnen.

Bei der Entwicklung von Körperschutzmaterialien kann grundsätzlich zwischen weichballistischen und hartballistischen Materialien unterschieden werden. Zu den weichballistischen Materialien zählen aktuell insbesondere Fasern und Gewebe aus Polymeren wie Para-Aramid (z. B. Kevlar) oder Polyethylen mit ultrahoher molarer Masse (ultra-hochmolekulares Polyethylen = UHMW-PE, z. B. Dyneema). Zu den hartballistischen Materialien, die aufgrund hoher Härte und Festigkeit auch im Bereich des Fahrzeugschutzes eingesetzt werden, zählen derzeit Metalle, Keramiken, Glas-keramiken, Gläser sowie Kunststoffe. Im Bereich des Körperschutzes werden hier maßgeblich Keramiken verwendet, die – teilweise optional – in Form von Einschüben mit weichballistischen Westen kombiniert werden.

Extrem widerstandsfähige biologische Materialien, die als Vorbilder für ballistische Schutzmaterialien herangezogen werden können, sind bei verschiedenen Organismen zu finden, u. a. bei Fischen und Reptilien (Schuppen), Krebsen (z. B. Gliedmaßen), Muscheln (Schalen), Schnecken (Zähne) oder Spinnen (Seide). Der Ansatz bei der Analyse dieser natürlichen Vorbilder ist oftmals, ihre grundlegende Architektur zu verstehen und diese anschließend auf bekannte Materialien, wie beispielsweise Pa-

ra-Aramide, UHMW-Polyethylen oder auch Glas zu übertragen. Dabei muss mindestens zwischen zwei Betrachtungsebenen unterschieden werden, dem molekularen Aufbau eines Materials (z. B. molekulare Aufbau einer Fischschuppe) und der Anordnung solcher Materialien im Verbund (z. B. Anordnung vieler Schuppen).

Insbesondere bei sehr widerstandsfähigen biologischen Materialien wie Schuppen, Knochen oder Perlmutter handelt es sich grundsätzlich um eine Kombination von harten und weichen Materialien. So gibt es Biokomposite, die aus einem organischen Proteingerüst bestehen, welches die Grundlage für eine sich darauf aufbauende mineralisierte Matrix darstellt. Sie entstehen in einem Bottom-up-Prozess, der als Biomineralisation bezeichnet wird und derzeit noch sehr schwer im Labor zu realisieren ist. Ein Beispiel hierfür sind die Keulen von Fangschreckenkrebsen, die aus Hydroxylapatit und Chitin bestehen. Ein anderes grundlegendes Konzept ist die Schichtung vieler verschiedener, verstärkender Lagen, bei der jede Materialschicht ihre eigenen Energieabsorptions- und Deformationseigenschaften aufweist. Ein Beispiel dafür sind Fischschuppen, die aus verschiedenen Materialien, wie z. B. Dentin oder Kollagen, bestehen. Hier liegt die härteste Schicht außen, während die Schichten nach innen weicher und elastischer werden.

Ein weiteres natürliches Vorbild ist Spinnenseide, die eine extrem hohe Zugfestigkeit bei vergleichsweise geringem Gewicht aufweisen kann. Ihre Zugfestigkeit kann in Bezug auf ihr Gewicht fünfmal höher als die von Stahl sein. Damit erscheint sie prinzipiell für eine Verwendung im Bereich ballistischer Schutzmaterialien attraktiv, auch wenn ihre Eigenschaften noch nicht an die aktueller ballistischer Polymere heranreichen. So ist natürliche Spinnenseide in der Praxis derzeit nur ungefähr halb so zugfest wie beispielsweise Dyneema-Fasern. Zudem ist sie im Vergleich zu den aktuellen ballistischen Fasern deutlich elastischer, wodurch sie als alleiniges Material zum Abfangen von Projektilen eher ungeeignet erscheint. Um diesem Aspekt zu begegnen,

gibt es Ansätze, Spinnenseide mit Metallen bzw. Kohlenstoffnanoröhren (CNT) zu verstärken. So gelang es, natürliche Spinnenseide mit CNT oder Graphen zu versetzen, indem die Spinnen selbst mit CNT oder Graphen in Kontakt gebracht wurden. Dabei konnte die Zugfestigkeit natürlicher Seiden um das Dreifache erhöht und die Elastizität ebenfalls um das Dreifache verringert werden. Die genauen molekularen Prozesse in diesem Zusammenhang sind jedoch noch weitgehend unklar.

Dazu kommt, dass das Ernten natürlicher Spinnenseide aufwändig und daher teuer ist. Eine langfristige Alternative stellt die Produktion künstlicher Spinnenseide dar. Diese kann biotechnologisch erfolgen, indem die relevanten Gene für die Spinnenseidenproteine in andere Organismen eingeführt und dort abgerufen werden. Diese sogenannten transgenen Organismen sind damit in der Lage, Spinnenseidenproteine zu produzieren. Zwar ist die Herstellung von Seidenfasern und sogar erster Gewebe schon prototypisch in Kleinanlagen erfolgt, jedoch wird die großtechnische industrielle Produktion von Spinnenseide frühestens in einigen Jahren möglich sein. Auch sind ihre Schutzigenschaften noch deutlich schlechter als die aktueller ballistischer Fasern. Herausforderungen bei der Herstellung besserer Seiden liegen insbesondere bei deren strukturellem Design und ihrer chemischen Zusammensetzung.

So sind grundlegend neue bioinspirierte Konzepte für ballistische Materialien auf molekularer Ebene erst langfristig zu erwarten. Materialien wie die Spinnenseide zeigen prinzipiell interessante Eigenschaften, sind jedoch von einem Einsatz als ballistisches Material weit entfernt. Kurzfristig ist eher mit pragmatischen Ansätzen zu rechnen, bei denen natürliche Biokomposite, wie z. B. Muschelschalenfragmente, direkt zugegeben werden, um weichballistische Materialien zu verstärken. Baldigen Erfolg verspricht auch die geeignete Kombination bekannter weicher und harter Materialien nach dem Vorbild natürlicher mikroskopischer Anordnungen.

Dr. Anna Julia Schulte