

Living Materials

Living Materials stellen einen neuen Ansatz in der Materialsynthese dar, der die Fachgebiete Materialwissenschaft, Synthetische Biologie und Biotechnologie innovativ miteinander verknüpft. Dabei werden lebende Zellen als aktive Komponenten verwendet, um nicht lebender Materie lebensähnliche Fähigkeiten zu verleihen, also z. B. die Fähigkeit, sich zu vermehren, zur Selbstheilung, zur Anpassung an Umweltreize oder zur Herstellung medizinischer Wirkstoffe. Als lebende Zellen kommen dabei Bakterien, Hefen oder Algen zum Einsatz, die oftmals zuvor gentechnisch verändert wurden, während die nicht lebende Materialkomponente aus organischen oder anorganischen Polymeren sowie Mineralien oder Metallen bestehen kann. Living Materials befinden sich derzeit noch im Stadium der Grundlagenforschung, allerdings konnten einige ihrer vielen denkbaren Anwendungsmöglichkeiten bereits für Versuchszwecke realisiert werden.

So wurden für die Herstellung von lebenden Baustoffen Fotosynthese betreibende Cyanobakterien auf einem Gerüst aus Sand und Gelatine angesiedelt, wobei letztere die Feuchtigkeit und die Nährstoffe für die Bakterien liefert. Diese nehmen CO₂ auf, um Energie zu gewinnen, und produzieren dabei Calciumcarbonat, wodurch ein Mineralisierungsprozess angestoßen wird, bei dem Sand und Gelatine zu einer festen Masse gebunden werden. Wird ein so gefertigter Stein in zwei Hälften zerbrochen, können beide Hälften innerhalb weniger Stunden wieder zu zwei vollständigen Steinen heranwachsen. Aus einem Stein konnten auf diese Weise mindestens acht Steine entstehen, wofür die Bakterien lediglich zusätzlichen Sand und Gelatine benötigten. Derartige lebende Baustoffe sind insbesondere für die Logistik und den Bau in abgelegenen und risikobehafteten Umgebungen von Interesse. Streitkräfte könnten einfach vorhandenen Sand und Wasser nutzen und müssten nur noch Bakterien hinzufügen, anstatt Tonnen von Baumaterialien in Einsatzgebiete zu transportieren. Auf diese Weise wurde im Rahmen des Programmes „Engineered Living Materi-

als“ der US-amerikanischen DARPA ein 232 m² großer Prototyp einer temporären Landebahn gebaut.

Das Bakterium *Escherichia coli* wurde gentechnisch so verändert, dass es in der Lage war, Biofilme zu produzieren, in die nicht lebende Materialien wie Gold-Nanopartikel integriert werden konnten. *E. coli*-Bakterien produzieren natürlicherweise Biofilme, die die darin eingebetteten Bakterien vor negativen äußeren Einflüssen schützen. Biofilme bestehen aus einer extrazellulären polymeren Matrix aus Cellulose und amyloiden Nanofasern, die jeweils aus einer sich wiederholenden Kette identischer Proteinuntereinheiten bestehen. Durch die Integration von Gold-Nanopartikeln in die Proteinketten entstanden Reihen von Gold-Nanodrähten, die Elektrizität leiten konnten und somit in Batterien und Solarzellen Anwendung finden könnten. Allerdings sind diese Filme sehr klein und dünn, was ihre Verwendung in großtechnischen Anwendungen erschwert.

Um in größerem Maßstab Living Materials herzustellen, wurde eine Mischung aus Bakterien und der Hefe *Saccharomyces cerevisiae* verwendet. In dieser symbiotischen Kultur aus Bakterien und Hefe produzieren die Bakterien große Mengen an Zellulose, die als Gerüst dient, in das entweder die Hefen selber oder nur die von ihnen produzierten Enzyme eingebaut werden. Die Hefen können gentechnisch so verändert werden, dass sie bzw. ihre Enzyme eine Vielzahl von Funktionen erfüllen können, wie das Erkennen und Abbauen von Umweltschadstoffen oder die Herstellung intelligenter Verpackungsmaterialien, die sich nach dem Gebrauch selber abbauen.

Ein weiteres Beispiel, in dem bakterielle Zellulose als Gerüst für die lebende Komponente des Living Materials dient, sind künstliche Blätter zur nachhaltigen Energiegewinnung. Auf ein Gewebe aus Bakterienzellulose wird mithilfe eines 3D-Druckers die Mikroalge *Chlamydomonas reinhardtii* aufgetragen. Die Bakterienzellulose sorgt für eine ausreichende mechanische Festigkeit des Materials, durch die Algen kann das Material Fo-

tosynthese betreiben, also mithilfe des Sonnenlichts Wasser und CO₂ in Sauerstoff und Energie umwandeln. Die Energie wird in den künstlichen Blättern in Form von Zucker gespeichert. Zusätzlich könnte das Material auch als nachhaltig produziertes und vollständig biologisch abbaubares fotosynthetisches Biotextil Anwendung finden.

Im Bereich smarte Textilien wurde auch eine selbstbelüftende Sportbekleidung entwickelt, wobei auf dem Textil kleine Klappen aus Latex angebracht waren, die von beiden Seiten mit *E. coli*-Bakterien beschichtet waren. Bei Trockenheit schrumpfen die Zellen, während sie bei feuchten Bedingungen anschwellen und so bewirken, dass sich der Latex verbiegt. Wenn der Träger des Textils ins Schwitzen gerät, krümmen sich die Klappen und erzeugen so kleine Belüftungsöffnungen.

Auch in der Medizin eröffnen Living Materials neue Möglichkeiten, z. B. den therapeutischen Einsatz zur Abgabe von medizinischen Wirkstoffen in den Körper bei chronischen Erkrankungen. Dabei werden Bakterien mithilfe synthetischer Biologie zielgerichtet so programmiert, dass sie in der Lage sind, medizinische Wirkstoffe zu produzieren und als Antwort auf bestimmte physiologische Reize hin freizusetzen. Die so programmierten Bakterien werden in ein implantierbares Trägermaterial eingeschlossen, welches durchlässig für den Wirkstoff, nicht aber für die Bakterien ist, welche somit dauerhaft im Trägermaterial verbleiben und als langfristige und personalisierte Wirkstoffproduzenten zur Verfügung stehen. Auch wenn sich das Forschungsfeld der lebenden Materialien derzeit sehr schnell weiterentwickelt, sind bis zu einer verbreiteten Einsatzreife noch viele Probleme zu lösen. So müssen Fragen bezüglich der Sicherheit bei der Herstellung und Anwendung sowie der Nachhaltigkeit der neuen Living Materials berücksichtigt werden. Hierbei werden insbesondere gentechnisch veränderte Organismen zu regulatorischen Problemen

Dr. Britta Pinzger