

magazin

AM WOCHENENDE

7. MÄRZ 2026

Die Macht der **Mikroorganismen**

Pilze, Viren und Bakterien werden oft mit Krankheiten in Verbindung gebracht. Tatsächlich aber sind sie unverzichtbare Grundlagen des Lebens. Sie leisten ihre Dienste in der Medizin, in Lebensmitteln und sogar in Produktdesign und Architektur. Die folgenden Seiten handeln davon, wie Mikroorganismen ihr Potenzial im Verborgenen ausspielen – und wie wir davon profitieren.

Das Foto zeigt Mikroorganismen auf unterschiedlichen Nährmedien, aufgenommen im Leibniz-Institut für Naturstoff-Forschung und Infektionsbiologie in Jena.

Foto: Martin Schutt/dpa

FOTO: MARTIN SCHUTT/DPA

Nette Viren, netzwerkende Pilze

Lange galten Viren, Bakterien und Schimmelpilze vor allem als Krankheitserreger. Das Bild wandelt sich, denn nur ein Bruchteil kann uns gefährlich werden. Die Mehrheit aller Mikroorganismen bewirkt Gutes. Zuletzt haben einige innovative Produkte die Lebensmittelindustrie hierzulande erobert. *Von Diana Wieser*



Das Rohmaterial: Gekochte Sojabohnen werden in der Allgäuer Tempehmanufaktur abgessogen.



Das fertige Produkt: Unternehmer Markus Schnappinger präsentiert in seinen Fabrikationsräumen in Günzach marinierten Tempeh – gekochten Soja, der mit Schimmelpilzen „geimpft“ worden ist.

Fotos (2): Diana Wieser

Die 65 Mitarbeiter der Allgäuer Tempehmanufaktur haben womöglich einen der lebendigsten Berufe überhaupt. Sie sind millionenfach von fleißigen „Kollegen“ des Edelschimmelpilzes *Rhizopus* umgeben. Dieser fermentiert Hülsenfrüchte wie Soja zu einem festen würzigen Block, der zahlreiche Ballaststoffe sowie hochwertiges Protein liefert.

Rhizopus entzieht sich zwar dem Sehnerv, doch der Geruch seiner Stoffwechselprodukte trifft olfaktorisch ins Schwarze. Die Produktionshalle in der Gemeinde Günzach im Ostallgäu ist erfüllt von einem vielschichtigen Duft. Ein bisschen herb, ein bisschen erdig mit einem Hauch von Nüssen, Pilzen und Exotik. Als hätte sich ein herbstlicher Waldboden mit einer regenfeuchten Bananenplantage in einem Parfumflakon vereint. Apropos Banane: Die hat Tempeh zu seiner Entstehung verholten.

Von Indonesien ins Allgäu

Tempeh wird von Veganern und Fitness-Influencern regelrecht gefeiert. Markus Schnappinger, Gründer und Inhaber der Allgäuer Tempehmanufaktur, betont: „Tempeh ist kein Lifestyleprodukt aus dem Labor. Es ist vollkommen natürlichen Ursprungs.“ Seit Jahrhunderten steht Tempeh in Indonesien auf dem Speiseplan. „Dort hat man Sojabohnen einfach in Malven- oder Bananenblätter eingewickelt. Auf diesen kommt natürlicherweise der Edelschimmelpilz *Rhizopus* vor, der die Hülsenfrüchte fermentiert.“

Neben Soja kann Tempeh aus weiteren Hülsenfrüchten hergestellt werden. In der Allgäuer Manufaktur zum Beispiel aus heimischen Lupinen, schwarzen Bohnen oder Berglinsen. Zuerst werden die Hülsenfrüchte in großen Kesseln gekocht. Abgessogen und abgekühlt, wird die Masse mit dem Edelschimmel

geimpft. Für eine 100-Kilo-Box an Bohnen reichen bereits wenige Esslöffel. Nun wandert die Masse in den Reiferaum.

Duftend und atmend

Hier empfängt einen die nächste Wucht an Wohlgerüchen. Es duftet blumig-fruchtig mit einem Hauch von Obstessig. So angenehm riechen die Stoffwechselprodukte eines Berglinsen-Tempeh. Je nach Hülsenfrucht reift die Masse jetzt für zwei bis vier Tage bei ca. 30 Grad. Nach zwölf bis 20 Stunden sprießt der Pilz. Er bildet eine weiße Masse, welche die Hülsenfrüchte ummantelt, veredelt, fermentiert.

„Tempeh aus heimischer Produktion kann dazu beitragen, das Proteindefizit Europas auszugleichen.“

Die Zeit im Reiferaum ist sehr aufwändig, da viel Regulierung nötig ist. „Der Pilz lebt weiter, atmet, produziert CO₂“, erläutert Schnappinger. Umluftsysteme regulieren den Sauerstoffgehalt, auch die Temperatur muss überwacht werden, Echtzeitdaten erhält der Inhaber auf Handy. „Die Arbeit ist nervenaufreibend,

aber schön“, strahlt der junge Unternehmer. Anschließend wird Tempeh pasteurisiert, damit der Pilz nicht weiter reift, in Einzelblöcke geschnitten und mit Gewürzmischungen wie Gyros, Wildkräuter oder Curry mariniert. „Hinter Tempeh steckt viel Handwerkskunst. Wir haben verschiedene Rohwaren probiert, Rezepturen angepasst, Maschinen umgebaut.“ Zudem galt es, Tempeh im deutschsprachigen Raum bekannt zu machen. Was hat Markus Schnappinger bewogen, diese Pionierarbeit zu leisten?

Umweltfreundliches Protein

„In meiner Kindheit war ich ein Moppelchen und habe darunter gelitten.“ Eine Aussage, die beim Anblick des schlanken, durchtrainierten Firmengründers kaum zu glauben ist. Eines Tages setzte er sich mit Sport und gesunder Ernährung auseinander und studierte Ernährungswissenschaften. Bei einer Fortbildung in Holland kam er mit Tempeh in Berührung und war begeistert. Nach Studienabschluss gründete er mit seiner Frau, einer Gartenbauwissenschaftlerin, im Jahre 2010 in der Region Freising seine Tempehmanufaktur.

Für Schnappinger hat Tempeh zahlreiche Vorteile. „Wir nehmen heute viel weniger Ballaststoffe zu uns als noch vor 1000 bis 2000 Jahren. Diese kommen fast ausschließlich in pflanzlichen Lebensmitteln vor.“ Sie sind wichtig für ein gesundes Darmmikrobiom. Und: „Fermentierte Produkte kommen unserer natürlichen Ernährung viel näher.“ Vor der Erfindung von Kühlschränken diente die Fermentation der natürlichen Haltbarmachung, so etwa beim eingelegten Gemüse. „Menschen, die beispielsweise Brot schlecht verdauen können, kommen mit den ursprünglichen Sauerteigbrotten meist gut zurecht.“

Zudem liefert Tempeh hochwertiges Eiweiß. Mit rund 20 Gramm Eiweiß pro 100 Gramm übertrifft Tempeh den Ei-

weißgehalt von Eiern und liegt gleichauf mit magerem Rindfleisch. Das pflanzliche Eiweiß hat eine hohe Bioverfügbarkeit – das bedeutet: Ein besonders hoher Anteil davon wird vom menschlichen Organismus aufgenommen und verarbeitet. „Die Mikroorganismen bauen hemmende Stoffe ab und bringen dafür wichtige Nährstoffe ein. Sie verdauen das Eiweiß sozusagen vor und machen es sehr bekömmlich“, erklärt der Ernährungswissenschaftler. Tempeh kommt zudem der Umwelt zugute, da sein CO₂-Abdruck wesentlich geringer ist als der von Fleisch.

Neue Chance für Bauern

Noch besser wird es, wenn die Hülsenfrüchte regional angebaut werden. „Mit Tempeh können wir dazu beitragen, das Proteindefizit Europas auszugleichen. Denn 95 Prozent der weltweiten Sojaernte, für die auch Regenwälder abgeholzt werden, wandert in die Fütterung von Nutztieren.“ Europäisches Soja, das direkt der menschlichen Ernährung dient, unterliegt hingegen strengen Kontrollen.

Im Jahr 1873 kam Soja nach Europa, es wurde damals auf der Weltausstellung in Wien im japanischen Pavillon präsentiert. „Soja hat sich sehr gut an das hiesige Klima adaptiert und ist fast schon heimisch geworden“, so Schnappinger. Für seine Allgäuer Tempehmanufaktur bezieht er Sojabohnen überwiegend aus Süddeutschland und Österreich.

Andere Hülsenfrüchte wie Lupinen, Linsen oder Schwarze Bohnen gedeihen ebenfalls gut. Eine Chance für immer mehr Bauern, die in den Anbau einsteigen. Weiterer Vorteil: Hülsenfrüchte sind Bodenverbesserer, da sie Stickstoff binden. Zu verdanken ist dies den Mikroorganismen im Myzel ihrer Wurzeln. „Vereinfacht ausgedrückt bilden Hülsenfrüchte Eiweiß aus der Luft.“ Linsen im biologischen Anbau wachsen im Verbund mit Stützpflanzen wie Braugerste, Leindotter und Wildkräutern. Sie zählen

zu den artenreichsten Anbauflächen der Welt.

Fest steht: Für die fermentierten Tempeh-Produkte leiden keine Tiere, es werden keine Regenwälder zerstört und Mitarbeiter nicht ausgebeutet. Denn die unsichtbaren „Arbeitskollegen“ der Allgäuer Tempehmanufaktur tun einfach das, was sie seit Jahrmillionen sowieso tun.

Blut bakteriellen Ursprungs

Welche erstaunlichen Leistungen Mikroorganismen erbringen, hat Dirk Brockmann in seinem Buch „Survival of the Nettest – Wie die Natur durch Kooperation unsere Welt gestaltet“ aufgeschrieben. Das Werk wurde von „Bild der Wissenschaft“ als Wissenschaftsbuch des Jahres 2025 ausgezeichnet. Kein Wunder, begegnen der Leserschaft doch lauter Informationen, die das eigene Weltbild durcheinanderwirbeln. Dazu gehören Aussagen wie „Genetisch gesehen sind wir fünfmal mehr Virus als Homo sapiens.“

Der Physiker, Professor für Biologie sowie Gründungsdirektor des Zentrums Synergy of Systems an der Technischen Universität Dresden beschäftigt sich mit komplexen Systemen und Netzwerken. Sein Ziel: „Ich wollte mit diesem Buch einen Perspektivwechsel erreichen.“ Ob Bakterien, Viren, Archaeen, Pilze, Hefen, Protisten: „Sie dominieren die ganze Atmosphäre, zerlegen unsere Nahrung, schützen unsere Haut, steuern unser Nervensystem.“

Bakterien waren zwei Milliarden Jahre lang tonangebend. Der Autor klärt auf: „30 Prozent der Stoffwechselprodukte unseres Blutes sind bakteriellen Ursprungs.“ Brockmann plädiert für eine Sichtweise, die Mikroorganismen als Kooperationspartner betrachtet. Während Bakterien durch Begriffe wie Darmgesundheit langsam rehabilitiert werden, scheint die Vorstellung von „netten Viren“ für viele unbegreiflich, >>>>

>>>> **wiewohl diese** noch zahlreicher vorhanden sind. „In einem Teelöffel Ostseewasser befinden sich rund zehn bis 50 Millionen Viruspartikel, allesamt ungefährlich für uns Menschen.“ Ohne diese würde das gesamte Ökosystem Meer kippen, da diese täglich rund ein Drittel der mikrobiologischen Biomasse abtöten, um das Habitat in Balance zu halten.

Ohne Viren keine Babys

„Viren sind parasitär, das hört sich zunächst abschreckend an“, räumt der Professor ein. „Sie brauchen einen Wirt. Doch sie haben ein Interesse daran, diesen am Leben zu halten.“ Woraus etwas Komplexes entstehen kann wie Säugetiere. Indem ein Retrovirus vor Millionen von Jahren sein eigenes Erbgut in das eines Wirts einschleust hat, sind wir Menschen in der Lage, Babys auszutragen. „Dieses Retrovirus bewirkt, dass das mütterliche Immunsystem den Fötus nicht als Fremdkörper attackieren kann.“ Dies gelingt mithilfe der Plazenta, durch die Sauerstoff und Nährstoffe zum Embryo vordringen können, Zellen des mütterlichen Immunsystems aber außen vor bleiben. Für den Aufbau der Plazenta ist das Protein Syncytin verantwortlich, dessen Bauplan retroviralen Ursprungs ist.

Damit nicht genug. Das retrovirale ARC-Gen wirkt auf Nervenzellen ein. Dadurch haben wir Menschen die Fähigkeit entwickelt, uns erinnern zu können.

Evolution durch Kooperation

Dirk Brockmanns Buch ist reich an Beispielen dafür, wie Mikroorganismen als Meister der Kooperation faszinierende Lebewesen hervorbringen. Wie Elysia Chlorotica, eine Wasserschnecke, welche die Grenze der Spezies überschreitet. In ihrer Kindheit frisst sie Algen wie ein Tier, im Erwachsenenalter gewinnt sie ihre Energie aus Sonnenlicht wie Pflanzen. „Es existiert eine Tintenfischart mit einer leuchtender Bauchunterseite, die für Fische aussieht wie der Mond“, berichtet Brockmann. Seine Fähigkeit zur Lumineszenz erhält der Tintenfisch durch Bakterien, die sich in einem speziellen Organ ansiedeln. „Die Bakterien erhalten im Körper des Tintenfischs Schutz.“ Eine Win-win-Situation.

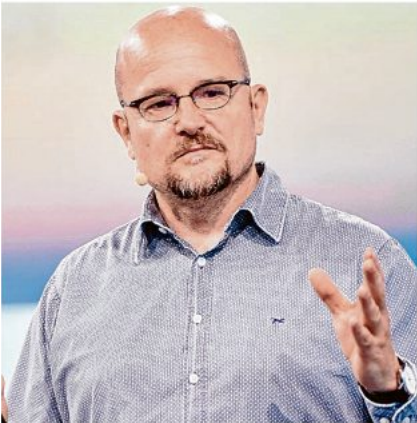


FOTO: ANNETTE REDD/DPA

Forscht interdisziplinär: Dirk Brockmann, Professor an der Technischen Universität Dresden

In Pilzen sieht Brockmann die Netzwerkspezialisten schlechthin. Sie bilden unterirdische „Autobahnen“, leiten Nährstoffe und Informationen weiter. Pilze können aus allen Umgebungen, sogar Steinen, Mineralien gewinnen, welche sie den Pflanzen weiterreichen. Von den Pflanzen erhalten sie dafür Energie in Form von Kohlenhydraten.

Mikroben machen glücklich

„Wie tief Mikroben in unseren Organismus eingreifen, zeigt die Neuroforschung“, schreibt Brockmann. Mikroorganismen beeinflussen unsere Psyche positiv. Ein Versuch mit sterilen Mäusen ohne Mikrobiom zeigte, dass die Tiere deutlich unruhiger und gestresster waren. Erhielten die sterilen Mäuse Mikroben, entwickelten sie sich normal. Allerdings nur, wenn die Gabe in deren Kindheit erfolgte. Was laut dem Biologieprofessor bedeutet, dass Mikroben auf die Entwicklung des Gehirns Einfluss nehmen. „Auch bei Kindern mit Autismus stellte sich heraus, dass die Zugabe bestimmter Bakterienstämme die Symptome lindern konnte.“ Jedoch wirken Bakterien nicht einzeln, sondern in vielschichtigen Netzwerken. Um dies zu verstehen, müsse noch viel geforscht werden.

Dirk Brockmanns Resümee: „Wir Menschen sind nicht nur Individuen, sondern ganze Ökosysteme.“ Eine Sichtweise, die nicht den Aspekt der Konkurrenz, sondern den der Kooperation betont.

Winzige Giganten

Zurück zu den Wurzeln: Jahrtausende alte Mikroorganismen sollen aktuelle Probleme lösen. Die Bandbreite reicht von Plastik produzierenden Cyanobakterien bis zu Häusern aus Pilzen.

Die Rolle des unendlich Kleinen ist unendlich groß.“ Louis Pasteur, Mitbegründer der medizinischen Mikrobiologie, sprach den winzig kleinen Lebewesen bereits im 19. Jahrhundert eine wichtige Rolle zu. Der Chemiker befasste sich mit der Gärung und Haltbarmachung durch Mikroorganismen, darunter die nach ihm benannte Pasteurisierung. Über 100 Jahre später nimmt die Forschung richtig Fahrt auf. Das symbiotische Zusammenspiel der Mikroben kann helfen, drängende Probleme in Zukunft zu lösen. Dazu liefert das Ulmer „Museum Brot und Kunst – Forum Welternährung“ in seiner Sonderausstellung „Winzige Giganten“ noch bis zum 12. April beeindruckende Einblicke.

Mehr Mikrobe als Mensch

Auf und in unserem Körper tummeln sich 1,3-mal mehr Mikroorganismen als menschliche Zellen. Allein das menschliche Darmmikrobiom bringt zwei Kilogramm auf die Waage. Martin Grassberger von der Universität Wien, spezialisiert auf Human- und Gesundheitssökologie, spricht daher nicht von Menschen, sondern von Holobionten, also Gesamtlebewesen. „Nur so können wir sie in Gesundheit und Krankheit verstehen“, so der Professor. Ein ausgewogenes Mikrobiom habe direkten Einfluss auf das Immunsystem, das zentrale Nervensystem und diverse Schutzbarrieren wie die Haut.

Von Geburt an nehmen wir Mikroorganismen auf, vor allem über die Nahrung. „Zuerst durch Muttermilch, dann durch pflanzliche Zusatzkost“, erläutert der Professor in einem Ausstellungsvideo. „Die Mikroorganismen schaffen das, weil sie in den Pflanzen als endophytische Bakterien vorliegen, innerhalb von Zellmembranen.“ So können sie den sauren Magen unbeschadet passieren und im Darm Gutes bewirken. Wichtigste Erkenntnis: „Eine hoch diverse Ernährung führt zu einem vielfältigen Mikrobiom, das wiederum ein Garant für Stabilität und Resilienz ist.“

Doch Antibiotika, Pestizide, übertriebene Hygiene und Fast Food haben zu einem Verlust der mikrobiellen Vielfalt geführt. Aus diesem Grund hat die ETH Zürich eine globale Stuhlproben-sammlung angelegt. Als Biobank oder vielmehr „Zeitkapsel“ des gesunden Mikrobioms werden die Darmbakterien bewahrt. So kann man durch das Einführen fremder Bakterienkulturen die Balance in einem erkrankten Darm wiederherstellen.

Beizen statt Kunstdünger

Die mikrobielle Vielfalt nimmt nicht nur im Darm ab, sondern auch im Boden. Laut Bundesumweltministerium befinden sich in einem Teelöffel Erde etwa eine Million Bakterien, 120.000 Pilze und 25.000 Algen, allesamt für das Auge unsichtbar. Doch Böden drohen durch konventionelle Landwirtschaft zu verarmen. Mit diesen Folgen befasst sich Michael Weiß, Leiter des Steinbeis-Innovationszentrums für Organismische Mykologie und Mikrobiologie in Tübingen. „Wir sehen immer mehr, was für ein komplexes System der Lebensraum Boden eigentlich ist. Das hat man früher definitiv unterschätzt“, so der Universitätsprofessor.

Mikroorganismen im Erdreich sorgen dafür, dass Pflanzen Nährstoffe über die Wurzeln aufnehmen können und stellen fruchtbaren Humus aus abgestorbenem organischem Material her. Humus verleiht dem Boden Stabilität und dient als Puffer vor Trockenheit.

Viren und Pilze

Netzwerker leben länger

Das menschliche Genom besteht aus rund 23.000 humanen Genen. Das gesamte Mikrobiom enthält neun Millionen verschiedener Gene – das entspricht einem Verhältnis von 390 zu 1. In einer gewöhnlichen menschlichen Stuhlprobe fanden Wissenschaftler virales Erbgut von 1715 Virusspezies. Keine davon ist gefähr-

lich, sondern sie tragen zu einem gesunden Darmmilieu bei.

Das größte, schwerste und älteste Lebewesen der Welt ist ein Netzwerkspezialist. Es handelt sich um Armillaria ostoyae, ein Pilz der Gattung Hallimasch, ansässig im Malheur National Forest in den Blue Mountains (US-Bundesstaat Oregon). Er ist 8,8 Quadratkilometer groß, wiegt 35.000 Tonnen. Sein Alter wird auf bis zu 8000 Jahre geschätzt.



Muster, welche die Natur bildet: In Petrischalen wachsen verschiedene Pilzkulturen heran.

Fotos (2): Diana Wieser

Professor Weiß warnt: „Diese komplexen Funktionen sind dadurch, dass wir im letzten Jahrhundert zunehmend dazu übergegangen sind, synthetische Kunstdünger zu verwenden, immer mehr verloren gegangen.“ Ersichtlich werde dies durch neue Messmethoden wie die DNA-Analytik. Zwar werden die wichtigsten Nährstoffe durch den Kunstdünger auf das Feld gebracht und somit den Pflanzen direkt vorgesetzt. Doch die Mikroorganismen, die dies ursprünglich taten, sind nun ihrer Rolle beraubt. Folge: Die Humusbildung geht zurück. Der Boden verliert seine Fähigkeit, Wasser zu speichern oder sich gegen Erosion zu schützen. „Aus heutiger Sicht gibt es keine andere Lösung, als dass wir uns mehr mit regenerativer Landwirtschaft beschäftigen müssen, die den Humus wieder aufbaut.“

Ob starker Gülleinsatz, Pestizide, Monokulturen – die konventionelle Landwirtschaft zerstört symbiotische Beziehungen. Bodenproben zeigten: Je mehr mit Gülle gedüngt wurde, desto mehr pathogene Keime befanden sich

im Erdreich. Am gesündesten zeigten sich natürliche Magerwiesen, auf denen eine Vielzahl verschiedener Pflanzen gedeiht. Resiliente Böden sind nicht nur für die Umwelt, sondern auch für die Ernährungssicherheit essenziell. Beispielsweise forscht das Start-up „Seed Forward“ aus Osnabrück an der Ertragssteigerung von Saatgut durch mikrobielles Beizen. Weizen, Mais, Ackerbohne und Erbse erhalten eine organische Saatgutbeschichtung mit auf sie abgestimmten, wachstumsfördernden Nährstoffen und Mykorrhiza-Pilzen.

Biokunststoffe durch Bakterien

Plastikverschmutzung zählt zu den größten Problemen unserer Gegenwart. An der Universität Tübingen wird geforscht, wie Cyanobakterien einen hundertprozentig biologischen Kunststoff herstellen können. Die Bakterienart betreibt Photosynthese, genau wie Pflanzen. Bei Stress kapseln sie ihre noch vorhandenen Energievorräte als Glykogen ein, das sich zu PHB – einem erfolgversprechenden Rohstoff für Bioplastik

– verfestigt. Künftig sollen Cyanobakterien in offenen Teichen am Tageslicht vollständig abbaubaren Bioplastik produzieren, ohne zusätzliche Energieresourcen. Im Permafrost haben Wissenschaftler wiederum kälteresistente Bakterien und Pilze entdeckt, die Plastik bereits ab 15 Grad zersetzen können.

Schlecht für die Umwelt ist auch die industrielle Lederproduktion, bei der Unmengen von schädlichen Chemikalien zum Einsatz kommen. Am Institut für Materialchemie an der Universität Wien haben Forscher veganes, umweltfreundliches Leder aus dem Fruchtkörper von Pilzen gewonnen.

Wohnen im Pilzhaus

Vera Meyer, Professorin am Institut für Biotechnologie an der Technischen Universität Berlin, hat eine Vision: „Wir wollen in Zukunft Häuser aus Pilzen bauen.“ Hoffnungen ruhen auf dem Myzel des Zunderschwamms. Sein Material sei äußerst stark, stabil, aber gleichzeitig leicht und wasserabweisend. Er soll Beton, Styropor und andere energieintensive und fossile Ressourcen ersetzen. Laut einer ersten Studie der Kansas University kann ein Haus aus pilzbasierten Stoffen sogar kostengünstiger sein als ein vergleichbares Haus aus Beton oder Holz.

„Wir forschen auch an Farben aus Pilzen, denn die meisten Farben sind heute chemisch, also erdölbasiert“, sagt Vera Meyer. Den Anfang macht Aspergillus Niger, bekannt als Zitronensäure-Schimmel. Er wird bereits seit 100 Jahren in der Lebensmittelindustrie eingesetzt. Künftig soll der Pilz als Quelle für schwarzen Farbstoff dienen.

Mikroorganismen gibt es seit Milliarden Jahren. „Sie haben gelernt, durch Kooperation und Symbiose die Elemente des Lebens in einen Kreislauf zu führen – Kohlenstoff, Wasserstoff, Schwefel, Phosphor – und sie haben nie Müll produziert.“ Die Biotechnologin ist überzeugt: Von ihnen könnten wir Menschen viel fürs Leben und Überleben lernen.

Diana Wieser



Baustoff der Zukunft? Aus verarbeiteten Pilzen könnten Gebäude entstehen, wie Forscher versprechen.