



Der krakenähnliche „Octobot“ erstrahlt in Pink und Blau, wenn man ihn ultraviolettem Licht aussetzt.

Foto Harvard University

Ein künstlicher Oktopus lernt zappeln

Roboter müssen heutzutage nicht mehr ausschließlich aus hartem Metall bestehen. Ein weicher Kunststoff tut es auch, wie dieser Roboter namens „Octobot“ beweist. Er ist die neueste Errungenschaft auf dem Gebiet der „Soft Robotics“. Das Wesen, das einem Kraken nachempfunden ist und von Wissenschaftlern der Harvard University in Cambridge entwickelt wurde, führt wie sein natürliches Vorbild geschmeidige Bewegungen aus, wenn er seine Glieder auf und ab be-

wegt. Dabei steuert sich Octobot selbst und kommt ganz ohne Kabel aus, wie Jennifer A. Lewis und ihre Kollegen in der Zeitschrift „Nature“ (doi: 10.1038/nature19100) berichten.

Denn nicht nur der Körper ist weich, auch das Regelsystem und die Stromquellen sind es, die in den Roboter integriert sind. Seine Arme bewegt Octobot auf der Grundlage eines pneumatischen Mechanismus, der auf der Vergrößerung von eingebetteten, aufblasbaren Kammern

basiert. Diese Auslöser werden in ein pneumatisches Netz integriert, das durch Wasserstoffperoxid angetrieben wird. Platin-Katalysatoren, die in den Reaktionsräumen eingebettet sind, zersetzen wiederum das Wasserstoffperoxid. Dabei entsteht Sauerstoff, dessen Druck die Kammern aufbläst, wodurch hebende und senkende Armbewegungen zustande kommen. Der weiche Roboter funktioniert zwischen vier und acht Minuten lang, eine Laufzeit, die in künftigen Ent-

wicklungen verbessert werden soll. Bereits heute werden weiche Orthesen, die eine Verbiegung, Verlängerung und Versteifung erlauben, bei Knöchel- und Fußrehabilitationen verwendet. Auch Menschen, die aufgrund einer partiellen Lähmung nicht mehr in der Lage sind zu greifen, können durch weiche Hand-Rehabilitationsroboter unterstützt werden. Die Ergebnisse der Forscher um Lewis könnten helfen, die Forschung in dieser Richtung voranzutreiben. (mica)

Grüne Revolution aus dem Algentank?

Ob als Nahrungsmittel, Energiequellen oder zur Herstellung von Wirk- und Kunststoffen – die Meeres-Einzeller haben großes Potential. Doch der Durchbruch lässt immer noch auf sich warten.

Von Uta Bilow

Lange Zeit galten Pflanzen wie Mais oder Raps als Schlüssel zu einer nachhaltigen Herstellung von biobasierten Produkten und Bioenergie. Doch das Unbehagen über monotone Mais-Landschaften wächst und darüber, wertvolle Ackerflächen dem Lebensmittelanbau vorzuenthalten. Einen Ausweg aus dem Dilemma „Tank oder Teller“ könnten Mikroalgen bieten, denen nach Meinung von Fachleuten ein großes Potential innewohnt. Denn Mikroalgen, die in der Natur vor allem die oberen Schichten der Weltmeere bevölkern, betreiben Photosynthese: Sie nutzen Sonnenlicht und Kohlendioxid, um Biomasse zu erzeugen, und liefern dabei ein Produktspektrum, das es wahrlich in sich hat. Unter den Inhaltsstoffen der unscheinbaren Einzeller findet man neben Fetten und Eiweißstoffen weitere hochwertige Substanzen wie Vitamine, Mineralstoffe, Pigmente und Spurenelemente, einige bilden auch antivirale oder antibiotische Inhaltsstoffe. Da Mikroalgen im Vergleich zu Landpflanzen außerdem hohe Wachstumsraten und Produktivität ausweisen – schließlich wachsen sie das ganze Jahr hindurch –, könnte die industrielle Nutzung von Mikroalgen bald richtig in Schwung kommen.

Vielen gesundheitsbewussten Verbrauchern bekannt sind die Süßwasseralgen Chlorella vulgaris und Spirulina platensis, die wegen ihres breiten Spektrums an Proteinen, Vitaminen, Spurenelementen und Mineralien geschätzt werden. Auch einige andere Mikroalgen sind bereits etabliert. Haematococcus pluvialis beispielsweise ist ein Einzeller, der einen roten Farbstoff namens Astaxanthin synthetisiert. Der Farbstoff wird für die Lachs-zucht in Aquakulturen verwendet, ist aber auch als Nahrungsergänzungsmittel zunehmend gefragt. Dunaliella salina wiederum erzeugt β -Carotin, das als Zusatzstoff von der Lebensmittelindustrie verwendet wird. Zuletzt gewann ein weiterer Farbstoff aus Mikroalgen Aufmerksamkeit: Ein blaues Eiweiß aus Spirulina-Al-

gen ermöglichte es einem Süßwaren-Produzenten, seine Gummibärchen erstmals auch in der Farbe Blau anzubieten.

Diese Beispiele aus der breiten Produktpalette, die mit Mikroalgen-Kulturen zugänglich sind, zeigen, welcher Schatz in den Einzellern schlummert. Deshalb interessieren sich eine Reihe von Industriezweigen für Mikroalgen, angefangen von der Lebensmittel- und Futtermittelindustrie über Hersteller von Kosmetika bis hin zu pharmazeutischen Unternehmen. In einem Statuspapier, das die „Gesellschaft für Chemische Technik und Biotechnologie“ (Dechema) kürzlich vorgelegt hat, beschreiben Experten den erreichten Stand sowie die Potentiale und Herausforderungen auf dem Gebiet der Mikroalgen-Biotechnologie. Viele Verfahren sind noch unwirtschaftlich. Astaxanthin beispielsweise kann die chemische Industrie auch konventionell herstellen. Das synthetische Pendant kostet gerade einmal ein Drittel des natürlichen Farbstoffs. Des-

tern daher viele Forscher, darunter auch die Gruppe von Carola Griehl an der Hochschule Anhalt in Köthen, die auf sogenannte Tannenbaum-Reaktoren setzt. Silikonschläuche wunden sich um ein Gestell in Form eines Kegeltumpfs, so dass bei kleinem Raumbedarf die Algensuspension optimal beleuchtet wird. Am Fraunhofer-Zentrum für Chemisch-Biotechnologische Prozesse in Leuna setzen die Wissenschaftler dagegen auf Plattenreaktoren, in denen sie besonders hochkonzentrierte Algenkulturen züchten. Zwischen senkrecht stehenden Glasplatten schwimmt die Algensuspension. Durch einen geschlitzten Schlauch am Boden blubbert Luft, die das nötige Kohlendioxid liefert und gleichzeitig für eine Durchmischung der Suspension sorgt. Eine Pumpe wird nicht benötigt. An der Universität Köln wiederum erprobt man derzeit einen Reaktor mit Schichtaufbau. Algen und flüssiges Nährmedium sind durch eine poröse Oberfläche getrennt,



Mit Tannenbaum-Reaktoren kultiviert man in Köthen Mikroalgen. Foto Hochschule Anhalt

halb gibt es vielfältige Forschungsansätze, die Wirtschaftlichkeit zu verbessern. Mikroalgen-Kulturen lassen sich auf zwei Arten betreiben: in geschlossenen Reaktoren oder aber in offenen Becken, wobei letztere in europäischen Klima wenig vorteilhaft sind. Als Standorte für solche Anlagen kommen vor allem Gebiete in Betracht, wo keine Konkurrenz zur Nahrungsmittelproduktion auftritt. Geeignet sind beispielsweise Trockengebiete, Industriebrachen oder Brackwasserzonen. Damit die Mikroalgen die gewünschten Produkte herstellen, brauchen sie lediglich Wasser, Nährstoffe, Kohlendioxid und Licht. Genügend Sonnenlicht gelangt allerdings nur in die trüben, meist grünen Suspensionen, wenn die Reaktoren eine große Oberfläche und wenig Tiefe aufweisen. Am optimalen Anlagendesign tüf-

eln daher viele Forscher, darunter auch die Gruppe von Carola Griehl an der Hochschule Anhalt in Köthen, die auf sogenannte Tannenbaum-Reaktoren setzt. Silikonschläuche wunden sich um ein Gestell in Form eines Kegeltumpfs, so dass bei kleinem Raumbedarf die Algensuspension optimal beleuchtet wird. Am Fraunhofer-Zentrum für Chemisch-Biotechnologische Prozesse in Leuna setzen die Wissenschaftler dagegen auf Plattenreaktoren, in denen sie besonders hochkonzentrierte Algenkulturen züchten. Zwischen senkrecht stehenden Glasplatten schwimmt die Algensuspension. Durch einen geschlitzten Schlauch am Boden blubbert Luft, die das nötige Kohlendioxid liefert und gleichzeitig für eine Durchmischung der Suspension sorgt. Eine Pumpe wird nicht benötigt. An der Universität Köln wiederum erprobt man derzeit einen Reaktor mit Schichtaufbau. Algen und flüssiges Nährmedium sind durch eine poröse Oberfläche getrennt,

ist andererseits nicht gut für die Mikroalgen, denn dann wird es heiß, und sie geraten in Gefahr abzustehen. Forscher um Michael Hippler von der Universität Münster haben kürzlich das Sonnenschutz-Protein einer Mikroalge entdeckt („Nature Communications“, doi:10.1038/ncomms11847). Der Eiweißstoff namens Calredoxin ist der Hauptbestandteil eines Systems, das vor Schäden durch zu hohe Lichtintensität schützt. Die Entdeckung könnte in Zukunft helfen, die Ernteerträge von Algenkulturen zu optimieren. Denn auf dieser Basis lassen sich vielleicht Mikroalgen mit eingebautem Sonnenschutz und besonders hoher Syntheseleistung züchten.

Mehr als 100.000 verschiedene Mikroalgen gibt es, davon werden heute gerade einmal 15 Arten wirtschaftlich genutzt. In Screening-Projekten sucht man nach weiteren leistungsfähigen Stämmen und versucht, diese durch Züchtung und molekularbiologische Verfahren an die Bedingungen im Bioreaktor anzupassen und das Produktspektrum zu lenken. Vor einigen Jahren haben amerikanische Forscher gezeigt, dass rekombinante Proteine wie etwa Interferon oder Proinsulin auch aus gentechnisch veränderten Algen gewonnen werden können („Plant Biotechnology Journal“, doi: 10.1111/j.1467-7652.2010.00503.x). Das lässt erahnen, welches Potential Mikroalgen innewohnt. In die gleiche Richtung gehen auch Arbeiten von Franziska Hempel und Uwe Maier von der Philipps-Universität Marburg, die zeigen konnten, dass modifizierte Mikroalgen so verschiedene Produkte wie Biokunststoff PHB oder humane Antikörper („Plos One“, doi: 10.1371/journal.pone.0028424) herstellen können.

Mikroalgen sind kraftvolle Zellfabriken. Ebenso wie die typischen Arbeitspferde der Biotechnologie – Hefen, Bakterien oder Säugetierzellen – können sie in Kulturen eine Vielzahl von interessanten und wertvollen Produkten herstellen, benötigen dabei aber kein kostspieliges Futter, sondern wachsen nur mit Licht und Luft beziehungsweise Kohlendioxid heran. Neben hochwertigen Inhaltsstoffen wie pharmazeutischen Wirkstoffen zielen die Kulturen auf so verschiedene Produkte wie Feinchemikalien, Monomere für Biokunststoffe, mehrfach ungesättigte Fettsäuren oder Öle, die sich zur Biodieselherstellung verwenden lassen. Versuche beispielsweise an der Technischen Hochschule Mittelhessen haben gezeigt, dass Mikroalgen auch äußerst effizient Phosphor aus dem Ablaufwasser einer Kläranlage aufnehmen und so die Abwasserreinigung unterstützen. Was auch immer die Algen leisten und liefern: Selbst am Ende ihres Lebenszyklus besitzen sie noch einen Wert. Die restliche Biomasse lässt sich als Energieträger nutzen und in Biogasanlagen zu Methan vergären.

Sind Frauen mit Brustkrebs bald von der Chemo erlöst?

Dank besserer Gentests könnte die Art des Tumors in der Therapie bald keine Rolle mehr spielen

Viele, zumal erblich belastete Frauen treibt die Angst um, an Brustkrebs zu erkranken. Fast noch mehr als vor der Diagnose fürchten sich manche vor der Behandlung, insbesondere der Chemotherapie. Denn Berichte über die toxischen Nebenwirkungen der dabei verwendeten Mittel, der Zytostatika, gibt es zuhauf. Teilweise lebensrettend, kommen diese Mittel aber nicht allen Behandlungen zugute. So erleiden einige Patientinnen trotz Chemotherapie einen Rückfall, während andere auf die Zytostatika verzichten könnten, weil das Krebsleiden auch so nicht wiederkehren würde.

Um die Zahl der unnötigen Behandlungen zu minimieren, läuft die Suche nach biologischen Markern, mit denen sich die Wahrscheinlichkeit von Rückfällen bestimmen lässt, weltweit auf Hochtour. Ein Ansatz besteht darin, die Genaktivität des Tumors zu messen – in der Hoffnung, Hinweise auf dessen Aggressivität zu erhalten. Diesen Weg sind unter anderem Wissenschaftler des Niederländischen Krebsinstituts in Amsterdam um Laura van't Veer gegangen und dabei auf 70 Gene gestoßen, deren Aktivität das Rückfallrisiko beeinflusst. Den Nutzen ihres Genexpressionstests, der unter dem Namen MammaPrint auf dem Markt ist, haben die Forscher nun in einer großen europäischen Studie mit dem Kürzel „MINDACT“ überprüft. Wie daraus hervorgeht, erleichtert das Verfahren zwar teilweise die Entscheidung für oder gegen eine Chemotherapie, aber es liefert ebenfalls keine absolute Sicherheit.

Die Teilnehmerinnen der Studie, knapp 6700 durchschnittlich 55 Jahre alte Frauen mit Mammakarzinom im Frühstadium, hatten sich alle einer Tumorektomie unterzogen. Das Risiko für einen Rückfall wurde dabei auf zwei-erlei Art gemessen: anhand der herkömmlichen Kriterien – hierzu zählen etwa die Tumorgöße, das Ausmaß der Zellarten und die Zahl der befallenen Lymphknoten – und mit Hilfe des Genexpressionstests. Patientinnen, denen beide diagnostische Verfahren ein hohes oder ein geringes Wiedererkrankungsrisiko bescheinigten, erhielten die gängigen Behandlungsempfehlungen: Ersteren wurde zu einer Chemotherapie geraten und Letzteren nicht. Das besondere Interesse der Wissenschaftler galt allerdings einer anderen Gruppe – und zwar jenen 1550 Frauen, denen der Gentest eine niedrige, die herkömmliche Untersuchung hingegen eine hohe Rückfallgefahr attestierte. Um herauszufinden, welches Verfahren in dem Fall mehr Aussagekraft besitzt, behandelten sie eine Hälfte von ihnen mit Zytostatika und die andere Hälfte nicht.

Wie Frau van't Veer und ihre Kollegen im „New England Journal of Medicine“ (doi: 10.1056/NEJMoa1602253) schreiben, erfüllte der Genexpressionstest ihre Erwartungen: Je nachdem, ob sich die betreffenden Patientinnen einer Chemotherapie unterzogen hatten oder nicht, lag ihre tumorfreie Überlebensrate nach fünf Jahren bei 95 Prozent beziehungsweise bei 96,5 Prozent. Der Genaktivitätstest kam somit dem Gros der Frauen eine Chemotherapie ersparen. Einige

Frauen, und zwar 1,5 Prozent, hätten aber möglicherweise von dieser Behandlung profitiert.

Was bedeutet dieses Ergebnis in der Praxis? Wie interpretiert eine Patientin, die wissen will, ob sie sich einer Chemotherapie unterziehen soll oder nicht, ein um 1,5 Prozent geringeres Rückfallrisiko? Laut David Hunter von der Harvard T.H. Chan School of Public Health in Boston/Massachusetts sind Wahrscheinlichkeitsangaben nicht nur für die Patienten, sondern auch für viele Ärzte schwer nachvollziehbar. Der enorme Kenntniszuwachs in der Medizin bringe es aber mit sich, schreibt der Epidemiologe in einem Kommentar (doi: 10.1056/NEJMp1608282), dass Erkrankungsrisiken und Therapieerfolge zunehmend in dieser Form vermittelt würden. Hunter sieht daher einen dringenden Bedarf an Methoden, die es Patienten und Ärzten erlauben, solche Informationen besser zu verstehen. Denn nur so seien diese in der Lage, die richtige Entscheidung zu treffen.

Neben MammaPrint gibt es noch eine ganze Reihe weiterer Genaktivitätstests, mit denen sich das Risiko für ein Wiederaufflammen von Brustkrebs erfassen lässt. „Diese Tests sollten aber nur angewandt werden, wenn alle anderen diagnostischen Kriterien keine Therapieentscheidung zulassen“, betont Jens-Uwe Blohmer, Direktor der Klinik für Gynäkologie und des Brustzentrums der Charité in Berlin, auf Anfrage. „In solchen unklaren Situationen bieten die Tests eine Chance, zusätzliche Informationen zu erhalten, die dem Patienten und dem Arzt die Entscheidung erleichtern – und das in beide Richtungen, also sowohl für als auch gegen eine Chemotherapie.“

Laut Matthias Beckmann, Direktor der Frauenklinik am Universitätsklinikum Erlangen, sind die Genaktivitätstests schon wieder überholt. „Inzwischen geht die Entwicklung in eine ganz andere Richtung. Diese besteht darin, nicht nur einzelne Gene, sondern das gesamte Genom des Tumors zu sequenzieren, um darin nach möglichen Angriffspunkten zu fahnden.“ Dabei spiele es keine Rolle mehr, ob sich die Wucherung in der weiblichen Brust, in der Lunge oder in einem anderen Gewebe befindet. Unabhängig von ihrem Ursprungsort könnten Tumore nämlich identische Schwachstellen haben. „Es gibt mittlerweile rund 70 bis 80 verschiedene Antikörper gegen krebspezifische Moleküle“, sagt Beckmann. Diese seien nur zur Behandlung ganz bestimmter Tumorarten zugelassen, wirkten jedoch teilweise auch gegen andere. „Bei der Therapie von Patientinnen mit Brustkrebs können wir auf sechs Antikörper zurückgreifen“, erklärt der Gynäkologe. „Was aber ist, wenn die Betroffene nicht auf diese, sondern auf einen der anderen Antikörper anspricht?“

Um das herauszufinden, müsse man das Genom des Tumors analysieren. Anders als in den Vereinigten Staaten werde dieser Ansatz hierzulande aber nur selten genutzt. „Die Untersuchung kostet rund 10.000 Dollar.“ Das sei zwar teuer, aber immer noch vergleichsweise günstig. Denn eine Chemotherapie schlage mit 15.000 bis 20.000 Euro zu Buche. NICOLA VON LUTTEROTTI

Fliegen und Energie sparen

Manche Meeresvögel optimieren ihre Flugleistung

Fliegen wie ein Vogel, das bleibt für uns Menschen wohl für immer bloß ein Traum. Messgeräte im Miniaturformat erlauben es zumindest, einen Vogel beim Flug zu begleiten und die Bewegungsabläufe zu studieren. Mit einem GPS-Logger etwa lässt sich die Flugroute exakt verfolgen und mit einem Beschleunigungssensor beispielsweise der Flügelschlag registrieren. Wissenschaftler um Yukihisa Kogure von der Universität Tokio und Sarah Wanless vom Centre for Ecology and Hydrology in Penicuik, Midlothian, haben Krähen-scharben – Verwandte des Kormorans – mit solchen Sensoren ausgestattet. Dabei fanden sie heraus, wie diese Meeresvögel ihre Flugleistung optimieren: Offenbar fliegen die Krähenscharben immer gerade so schnell, dass sie für die zurückgelegte Strecke möglichst wenig Stoffwechsellenergie aufwenden müssen.

Als Forschungsobjekte dienten Krähenscharben, die auf der Isle of May, einem schottischen Naturschutzgebiet an der Mündung des Firth of Forth, ihren Nachwuchs großziehen. Anders als der Kormoran (Phalacrocorax carbo) lebt die etwas kleinere Krähenscharbe (Phalacrocorax aristotelis) stets an der Meeresküste. Ihr Nest baut sie in Nischen an Küstenfelsen. Von dort fliegt sie immer wieder aufs Meer hinaus, um sich und ihre Jungen mit Fisch zu versorgen. Wer einen solchen Vogel während der Brutzeit mit Messgeräten ausrüstet, kann ihn später am Nest abfangen und die Apparatur mitsamt den aufgezeichneten Daten zurückerhalten.

Warum die Krähenscharbe zu ihren Ausflügen routinemäßig gegen den Wind startet, weiß jeder, der als Kind einmal einen Drachen hat steigen lassen: Die Luft, die den Flügeln entgegenströmt, gibt diesen Tragflächen so viel Auftrieb, dass der Vogel rasch an Fahrt

gewinnt. Bei frischem Wind muss er sich gar nicht sonderlich anstrengen. Um sich in die Luft zu erheben, genügen dann schon Flügelschläge, wie sie sonst erst nach dem Abflug üblich sind, berichten die Forscher um Yukihisa Kogure im „Journal of Experimental Biology“ (doi: 10.1242/jeb.131441).

Weht während des Ausflugs nur eine schwache bis mäßige Brise, so behalten die Krähenscharben relativ zur Windgeschwindigkeit ein ziemlich konstantes Tempo von etwa 50 Kilometern pro Stunde bei. Bei frischem bis starkem Rückenwind lassen sie es ein bisschen geruh-samer angehen; bei ebenso heftigem Gegenwind legen sie sich deutlich mehr ins Zeug. Nach Berechnungen der Wissenschaftler gelingt es den Krähenscharben durch diese Anpassung, ihre Reisekosten in Form von Stoffwechsellenergie immer so gering wie möglich zu halten. Gute Voraussetzungen, um von den Fanggründen auf hoher See ausreichend Futter für die hungrigen Nestlinge heimzubringen. Der Kerguelenscharbe (Phalacrocorax verucosus) – auf den Kerguelen-Inseln im Süden des Indischen Ozeans zu Hause – fehlt dagegen die Fähigkeit, ihre Fluggeschwindigkeit entsprechend anzupassen. Relativ zum Wind fliegt sie immer nur so schnell wie unbedingt nötig, um nicht abzustürzen. Mit etwa 46 Kilometern pro Stunde ist sie dabei freilich recht flott unterwegs.

Wie ihre europäischen Verwandten schwimmen und tauchen die Kerguelenscharben, indem sie kräftig mit den Füßen paddeln. Als Spezialisten für tiefe Tauchgänge suchen sie bisweilen aber mehr als hundert Meter unter dem Meeresspiegel nach Beute. Deshalb zahlt es sich aus, zwischen den Federn der verhältnismäßig kleinen Flügel relativ wenig Luft mitzunehmen: Der entsprechend geringe Auftrieb kommt dem Tauchvermögen zugute. DIEMUT KLÄRNER