

## NatureTech: The Next Frontier

**Bereichert durch die Erkenntnisse des Industriezeitalters nutzt die Technik der Zukunft die Biosphäre des Planeten klug, maßvoll und effektiv**

*Von Niels Boeing*

Ende April auf einer kleinen Insel in der griechischen Ägäis. Das Meer ist noch erfrischend kühl, der Touristenansturm des Sommers in weiter Ferne. In der herrlichen Bucht tummeln sich noch keine Urlauber – aber der Strand ist nicht leer. Flaschen, Kanister, Seile und etliche andere Teile aus Plastik hat das Meer in den Monaten zuvor angespült. Eine Stunde dauert es, den größten Plastikmüll auf einem Haufen zusammenzutragen. Doch das ist noch harmlos.

In Abwassergräben in den Slums vor allem südlicher Metropolen finden sich wahre Plastikhalde, vor allem PET-Flaschen. Eine Million dieser Flaschen werden nach Schätzungen weltweit in jeder Minute verkauft. In den Weltmeeren wiederum treiben viele Quadratkilometer große Teppiche aus den Kunststoffüberresten der modernen Zivilisation umher. Bilder von Meeresbewohnern, in deren Mägen Plastikunrat gefunden wird, gehören heute ebenso zum Alltag wie Krebse, die in Joghurtbechern leben, oder Schildkröten, deren Panzer grotesk deformiert herangewachsen sind, weil sie sich als Jungtier in einem Plastikring verfangen haben.

### Mit Bakterien gegen die Plastikepidemie

An Vorschlägen, wie diese Plastikepidemie zu bekämpfen wäre, mangelt es nicht. Tüftler ersinnen schwimmende Meeresstaubsauger und andere Maschinen, die den Unrat einsammeln sollen. Die Lösung könnte jedoch viel einfacher sein. 2016 entdeckten japanische Forscher ein Bakterium, das PET-Flaschen zersetzen kann, und nannten es *Ideonella sakaiensis*.<sup>1</sup> Durch Mutation waren im Stoffwechsel des Einzellers zwei neue Enzyme entstanden, die das Polymer PET in die unschädlichen Bestandteile Terephtalsäure und Ethylenglykol aufbrechen können. 2018 veröffentlichten dann britische Forscher eine Strukturanalyse des einen der beiden Wunderenzyme – mehr noch: Es war ihnen gelungen, das Enzym noch zu verbessern.<sup>2</sup> Ähnlich wie bei anderen in der Industrie eingesetzten Enzymen gehen

---

1 Karl Mathiesen, „Could a new plastic-eating bacteria help combat this pollution scourge?“, The Guardian, 10.3.2016, <https://www.theguardian.com/environment/2016/mar/10/could-a-new-plastic-eating-bacteria-help-combat-this-pollution-scourge>

2 Damian Carrington, „Scientists accidentally create mutant enzyme that eats plastic bottles“, The Guardian, 16.4.2018, <https://www.theguardian.com/environment/2018/apr/16/scientists-accidentally-create-mutant-enzyme-that-eats-plastic-bottles>

die Briten davon aus, dass sich seine Effektivität noch um einen Faktor 1000 steigern lässt gegenüber dem mutierten, langsam arbeitenden Enzym von *Ideonella sakaiensis*.

Diese Entdeckung ist über ihren Nutzwert hinaus aus zwei Gründen bemerkenswert. Sie zeigt zum einen, dass die Evolution weitergeht. Mitunter in einem erstaunlichen Tempo: Seit der Einführung des Kunststoffes PET sind nur siebeneinhalb Jahrzehnte vergangen, bis ein Mikroorganismus so mutierte, dass er diese natürlich nicht vorkommende Substanz verarbeiten kann. In evolutionären Zeiträumen ein Wimpernschlag. Zum anderen verdeutlicht sie, dass die Technik der Zukunft auf Lösungen setzen sollte, die in der Biosphäre des Planeten zu entdecken sind.

Jahrtausende lang war das eine Selbstverständlichkeit. Die belebte Natur lieferte alle nötigen Rohstoffe. Holz, Leder, Heilmittel, Hanfseile, Wolle und vieles andere lässt sich seit jeher aus Pflanzen und Tieren gewinnen. Zwar wurden mit Beginn des Bronzezeitalters Metalle und mit dem Anfang des Städtebaus Gesteine aller Art in die Ausstattung der menschlichen Zivilisation eingeführt. Doch erst mit dem Industriezeitalter nahmen sie überhand. Und gebaren wahre Kolosse, wie etwa die Überreste von Eisenwerken wie der Völklinger Hütte zeigen: eine Ansammlung enormer Maschinen, aus Stahl gefertigt. Dieser Gigantismus ist zwar in Zeiten der Digitalisierung überwunden. Der Bedarf an Rohstoffen für Fahrzeuge, Computer, Hightech-Gebäude – darunter fossile Energieträger und seltene Metalle – wächst mit der Globalisierung jedoch rasant weiter.

Die Verwandlung von Rohstoffen, die aus den obersten Schichten der Erdkruste gewonnen werden, hat inzwischen dramatische Folgen. Großflächige Biotope werden zerstört, ganze Landstriche ökologisch ausgelaugt. Der Stoffwechsel aus Infrastruktur und Industrieproduktion setzt immer weitere Treibhausgase frei, die einen globalen Klimawandel antreiben. Die Entstofflichung durch Digitalisierung bleibt wirkungslos, weil Aufbau und Betrieb der globalen Informationsinfrastruktur alle Ressourcen-Einsparungen wieder aufzehren. Noch.

Denn die Fortschritte der Digitalisierung eröffnen, gepaart mit Erkenntnissen aus Ökologie und Biotechnik, im 21. Jahrhundert einen neuen Horizont: NatureTech. Eine Technik, die sparsam mit Ressourcen umgeht und die Biosphäre nicht ausbeutet, sondern nutzt. Nature Tech klinkt sich in die biologische Evolution ein, anstatt Erdoberfläche und –atmosphäre umzupflügen und zu belasten. Die Errungenschaften der physikalisch-chemischen Technik des Industriezeitalters verwirft sie nicht in Bausch und Bogen, sondern verschaltet sie, allen voran die Informationstechnik, mit biologischen Systemen. Der Brutalismus der Industrietechnik vergangener Tage ist jedoch Geschichte.

### **NatureTech: Mit der Biosphäre verschaltet**

NatureTech ist der folgerichtige Endpunkt einer Entwicklung, die vor Jahrzehnten begonnen hat. Mit der Bionik – im englischen Sprachraum häufig auch Biomimetics genannt – entdeckten die Ingenieurwissenschaften den Wert von Konstruktionsprinzipien biologischer Systeme. Die haben sich in den langen Zeiträumen der Evolution verfeinert und zeichnen sich durch Effizienz im Materialverbrauch und Effektivität in der Funktion aus. Heraus kamen alltägliche

Dinge wie Klettverschlüsse, aber auch auch Formen für Maschinenbauteile, deren Struktur dem Inneren von Knochen nachempfunden ist. Wo Flugzeugbauer etwa früher schwere Gelenkteile für Tragflächenscharniere aus Metall gossen, können sie diese heute mit materialsparenden Aussteifungen im Metall-3D-Druck herstellen.

Doch das ist erst der Anfang. Anstatt Millionen neue, bionisch ausgeklügelte Maschinen und Bauteile zu entwickeln, nutzt NatureTech vorhandene biologische Systeme und ihre Materialien intelligent aus. Mikroben, Pflanzen und Tiere werden zu Sensoren, Produktionssystemen und ausgeklügelten Rohstoffen – aber in einer Art und Weise, die weit über das hinausgeht, was im vorindustriellen Zeitalter möglich, ja überhaupt denkbar war.

Das Wunderenzym von *Ideonella sakaiensis*, dem plastikfressenden Bakterium, könnte beispielsweise in das Genom des Bakteriums *Escherichia coli*, kurz: *E. coli*, eingesetzt werden. *E. coli* teilt sich wesentlich schneller als *Ideonella sakaiensis*. Eine andere Möglichkeit: Das Enzym wird in ein Designer-Bakterium mit einem sparsam ausgestatteten Genom eingebaut. Ein solches „Minimalgenom“ hat 2016 erstmals das J. Craig Venter Institute hergestellt. Die Forscher um Craig Venter, der durch seinen Wettlauf mit dem Human Genome Project um die Sequenzierung des menschlichen Genoms berühmt wurde, reduzierten die Gene des Einzellers *Mycoplasma mycoides fast* auf die Hälfte – die Mikrobe blieb lebensfähig. Venters Ziel ist es, ein „Chassis“ für synthetische Einzeller zu entwickeln, deren Genom dann mit Genen für bestimmte Funktionen ergänzt werden kann. Die Einzeller würden dann Kraftstoffe oder medizinische Wirkstoffe produzieren, oder eben Plastik zersetzen.

## **Von synthetischer Biologie zu Augmented Nature**

Diese „synthetische Biologie“ ist keine fixe akademische Idee mehr. Am Massachusetts Institute of Technology (M.I.T.) haben Biologen in mehr als zehn Jahren inzwischen 15.000 sogenannte Biobricks in einer öffentlich zugänglichen Datenbank gesammelt. Bei den Biobricks handelt es sich um genetische Bausteine, die Mikroben bestimmte Fähigkeiten verleihen, wenn man sie in deren Genom einfügt. Dazu gehören Bakterienkulturen, die ihre Farbe ändern, wenn ihr Stoffwechsel in Wasserproben Arsen in gefährlicher Konzentration registriert. Start-ups haben Verfahren entwickelt, wie genetisch umprogrammierte Hefepilze und Bakterien pflanzliche Zellulose in Kraftstoffe wie Diesel und Ethanol umwandeln. Vorerst sind derartige Ansätze nicht über Pilotanlagen hinausgekommen. Auf industrielle Produktionsmengen hochskaliert war ihr Output im Vergleich zu fossilen Kraftstoffen noch zu teuer. Sie zeigen aber: Im Prinzip ist diese Herstellungsweise möglich.

Nature Tech beschränkt sich nicht auf Einzeller. Auch Tiere und Pflanzen können zu Sensoren werden. Eine aktuelle Forschungsarbeit des M.I.T. verwandelte Topfpflanzen in Sensoren für eine etwaige Bleibelastung von Wasser.<sup>3</sup> Hierzu werden über das Wasser, das die Pflanze aufnimmt, präparierte Kohlenstoffnanoröhren in

---

<sup>3</sup> Harpreet Sarpeen, „Cyborg botany: augmented plants as sensors, displays and actuators“, M.I.T. Master Thesis, 2017, <https://dspace.mit.edu/handle/1721.1/114063>

den Blättern eingelagert. An den Röhrenmolekülen sitzen kurze DNA-Stränge, die um ein fluoreszierendes Molekül erweitert sind. Sind im Wasser auch Bleiatome vorhanden, ändert sich die Struktur der DNA-Stränge und des Leucht-moleküls, und die messbare Fluoreszenz nimmt ab – umso mehr, je höher die Bleikonzentration ist.

Fische und Wale, die mit funkenden Sensoren ausgestattet sind, liefern der Meeresforschung seit längerem wertvolle Daten über Temperatur und Salzgehalt der Ozeane. 1,4 Millionen Datensätze gibt es in der World Ocean Database bereits. Das internationale Forschungsprojekt Icarus überträgt diesen Ansatz nun auf Landtiere. Forscher haben Zugvögel, Hunde, Elefanten und andere Tierarten mit winzigen Funkchips versehen, die ab 2019 Bewegungsdaten an einen Server auf der Internationalen Raumstation ISS liefern. Aus den Daten wollen die Wissenschaftler neue Erkenntnisse über Artenvielfalt, Ausbreitungswege von Infektionskrankheiten oder die Veränderung von Ökosystemen gewinnen.

Ingenieure am Imperial College London und am Royal College of Art verfolgen ein noch ehrgeizigeres Ziel. Sie statten den Halsbandpekkari, eine Schweineart, die unter anderem im Amazonas-Gebiet lebt, mit einer digitalen Halskrause aus. Die kann nicht nur Daten senden und empfangen, sondern nimmt mit einer Kamera das Sehfeld der Schweine auf. Über Vibrationen wollen die Forscher Halsbandpekkaris zu gerodeten oder degradierten Stellen dirigieren, wo die Tiere dann ihre Ökosystemfunktion ausüben: auf der Suche nach Futter den Boden aufwühlen und dabei Samen verteilen. Auf diese Weise sollen sich Lücken in der Vegetation schneller schließen. „Augmented Nature“ nennt das Londoner Team diesen Ansatz.<sup>4</sup>

### **Das Smart Material der Zukunft? Holz!**

Diese „Augmentation“ widerfährt seit einigen Jahren auch dem ältesten biologischen Baustoff, dem Holz. Materialwissenschaftler an der ETH Zürich machen Holz zum Beispiel feuerfest, indem sie es künstlich versteinern.<sup>5</sup> Das Holz wird in einer Lösung aus Kalziumchlorid und Kohlensäuredimethylester getränkt. Gibt man anschließend Natronlauge hinzu, kommt es zu einer chemischen Reaktion, die sich in der Zellstruktur des Holzes Kalziumkarbonat einlagert, auch kohlensaurer Kalk genannt. Die Folge: Die Holzfasern brennen nicht mehr. Und im Unterschied zu chemischen Brandschutzmitteln ist das um Kalk erweiterte Holz recycelbar.

Diese und andere Bearbeitungen von Holz sind umso wichtiger, als der Baustoff derzeit eine Renaissance im Hochbau erlebt. Die Sumitomo Forestry Company plant sogar einen 350 Meter hohen Wolkenkratzer in Tokio. Der „W350“ genannte Turm soll zu 90 Prozent aus Holz gefertigt werden. Das ist eine gute Idee, denn der weltweite Bauboom bringt inzwischen eine ganz eigene Rohstoffknappheit hervor: Es mangelt zunehmend an Sand für die Herstellung von Beton. Aufgrund seiner Körnung eignet sich der Sand auf dem Grunde der Ozeane am besten, Wüstensand

---

4 <https://www.augmentednature.co.uk/peccary-tag>

5 Lorenz Huber, „Holz, das dem Feuer trotzt“, EMPA News, 5.4.2016  
<https://www.empa.ch/web/s604/fireproof-wood>

hingegen gar nicht. 11 Milliarden Tonnen Sand wurden nach Schätzungen der UN-Umweltorganisation UNEP im Jahr 2010 in Flussbetten und Kontinentalschelfen abgebaut, und der Bedarf steigt.<sup>6</sup> Meeressand ist zwar ein Sediment, das nachgebildet wird, macht aber nur einen geringen Teil aller Sande der Welt aus.

Holz statt Beton ist ein weiteres Beispiel für die eigentliche Bedeutung von NatureTech: Sie verwendet in hohem Maße Materialien aus der Biosphäre statt Rohstoffe aus der Erdkruste. Chemisch betrachtet enthalten diese Materialien Elemente, die der niederländische Rohstoffexperte André Diederer einmal „Elemente der Hoffnung“ genannt hat.<sup>7</sup> Dazu gehören die Nichtmetalle Wasserstoff, Kohlenstoff, Stickstoff, Sauerstoff, Phosphor, Schwefel und Chlor sowie die reichlich vorhandenen Metalle Natrium, Magnesium, Aluminium, Silizium, Kalium, Kalzium und Eisen. Die Biosphäre kombiniert diese Elemente seit Jahrmilliarden immer wieder neu. Sie ist die Kreislaufwirtschaft par excellence.

### **Ein neues technisches Paradigma**

Nun wird die Vorstellung einer NatureTech nicht jedem behagen. Denn die Umprogrammierung von Genomen wird ein zentraler Bestandteil dieses technischen Paradigmas sein. Ein Ende des Streits, ob selbst das biotechnische Einbringen arteigener Gene aus anderen Sorten und Varianten in die DNA eines Organismus wider die Natur sei, ist derzeit nicht in Sicht.

Ungeklärt bleibt im Hintergrund die Frage, von welcher Natur die Rede ist. Der US-Geowissenschaftler Peter Ward weist darauf hin, dass im Prinzip die gesamte Biosphäre des Planeten seit der letzten Eiszeit vom Menschen umgeformt worden ist:

„So wie Physiker durch technische Prozesse unnatürliche Elemente in die natürliche Welt einbringen, hat unsere Spezies neue Wege ersonnen, Varianten von Pflanzen und Tieren hervorzubringen, die außer durch menschliche Einwirkung niemals diesen Planeten geziert hätten.“ (Ward 2001, S.7)

Die Eingriffe der vergangenen Jahrtausende durch den Homo sapiens sind nicht mehr rückgängig zu machen. Er wäre deshalb gut beraten, die von ihm geschaffene Biosphäre mit einer Technik zu nutzen, die klug, maßvoll und effektiv ist. Und die aus den Elementen der Hoffnung „Kunst-Stoffe“ hervorbringt, die sich wieder in den biosphärischen Kreislauf einfügen. Ökosysteme und Biodiversität zu erhalten, ist nicht länger ein Add-on, sondern wird zur zentralen Aufgabe, um die Herausforderungen für eine Milliarden zählende Menschheit zu meistern. Die Technik kehrt nach einem schmerzlichen Lernprozess wieder zu ihren Ursprüngen zurück,

---

<sup>6</sup> Aurora Torres, Jianguo Liu, Jodi Brandt, Kristen Lear, „The world is facing a global sand crisis“, The Conversation, 7.9.2017, <https://theconversation.com/the-world-is-facing-a-global-sand-crisis-83557>

bereichert um Erkenntnisse des naturwissenschaftlichen Zeitalters, die der frühe Homo sapiens noch nicht haben konnte. Sein Sonderweg, der ihn scheinbar aus der biologischen Evolution führte, biegt in eben jene wieder ein und verbindet sich mit ihr.