

## Potenziale und Grenzen der Biomimetik

# Natur als Vorbild

Biomimetische Lösungen transportieren das Versprechen auf eine größere Naturverträglichkeit. Schlüsselargumente sind dabei seit Jahrmillionen erprobte Lösungen, die sich evolutionär durchgesetzt haben. Sie bieten damit auch eine Chance für die Industrial Ecology.

Von Arnim von Gleich und Stefan Gößling-Reisemann

**B**iomimetische Lösungen überzeugen unter anderem durch ihren Umgang mit Komplexität. Dieser Umgang manifestiert sich im Zwang zur Anpassung, in den beschränkten Möglichkeiten von Organismen zur Beherrschung ihrer Umwelt. Bestimmte Aspekte der Genese dieser Vorteile lassen sich als Erfolgsfaktoren der Evolution formulieren, die auch als Erfolgsfaktoren bei der Entwicklung und Umsetzung biomimetischer Lösungen berücksichtigt werden sollten. Es sind dies insbesondere Diversität und Modularität, Selbstorganisation und Selbstheilung, Fließgleichgewicht, Ressourceneffizienz und Kreislaufwirtschaft, Opportunismus (Nutzung des Vorhandenen) sowie mehrdimensionale Optimierung unter dynamischen Bedingungen (vgl. Gleich et al. 2010).

### Das Versprechen der Biomimetik

Die Überlegung, inwiefern biomimetische Lösungen ihr Versprechen auch tatsächlich einzulösen vermögen, lässt sich in zwei Fragen aufteilen (vgl. auch Isenmann 2003):

- Existiert das, was wir in der Natur als Vorbild sehen, dort tatsächlich, und wie können wir es erfassen (Möglichkeiten und Grenzen der Naturerkenntnis)?
- Wie können wir diese natürlichen in technisch-biomimetische Lösungen so umsetzen, dass dabei ihre Vorteile erhalten bleiben (Möglichkeiten und Grenzen des bionischen Abstraktionsprozesses)?

Am Beispiel Stoffströme beziehungsweise der Sanften Chemie kann dies kurz erläutert werden (vgl. dazu auch den Beitrag von Fischer in diesem Heft). Die biologische Evolution arbeitet mit einer stark eingeschränkten Stoffpalette (strukturbildend Kohlenstoff, Wasserstoff, Sauerstoff, Stickstoff, Phosphor, Schwefel, Calcium usw. und die daraus gebildeten Naturpolymere). Im Laufe der Evolution entwickelten Organismen eine Vielzahl von zum Teil hochkomplexen organischen Substan-

zen. Gleichzeitig entstanden ko-evolutiv in der Regel entsprechende Abbauewege.

### Natur als Vorbild?

Selbstverständlich lässt sich trefflich darüber streiten, inwiefern wir es in der Natur tatsächlich mit geschlossenen (Stoff-) Kreisläufen zu tun haben (Schramm 1997; Isenmann 2003). Oder darüber, inwieweit sich die Behauptung halten lässt, dass die Chlorchemie naturfremd sei (vgl. Naumann 1993). Trotzdem kann festgehalten werden, dass wir uns ökologisch etwas mehr auf der sicheren Seite bewegen, wenn wir uns technisch in ohnehin umlaufende große natürliche Stoffkreisläufe einklinken und uns bei der Entwicklung und Nutzung von Stoffen auf naturnahe Stoffe und Verfahren konzentrieren.

Dabei gilt es allerdings auch zu berücksichtigen, dass der ökologische Vorteil auf das Einklinken in vorhandene Stoffströme und auf den Aspekt der Abbaubarkeit von Stoffen (vgl. Europäische Umweltagentur 2001) fokussiert. Naturnahe Stoffe haben hier ihre Vorteile, sie sind allerdings mit Blick auf mögliche toxikologische und allergene Wirkungen eventuell ganz anders zu bewerten.

Wir müssen zudem konstatieren, dass unsere Vorstellung von einem hochwertigen Recycling in der Natur kaum eine Entsprechung findet. Wir bevorzugen die Wiederverwendung von Produkten. So etwas findet sich in der Natur allenfalls beim Einsiedlerkrebs, der in ein leeres Schneckenhaus umzieht. Auch die werkstoffliche Wiederverwertung ist dort eher selten. In der Biosphäre herrscht die vollständige Zerlegung in die elementaren Bausteine und ein grundlegender Wiederaufbau vor. Sie kann sich dies auf der Basis der unmittelbar verfügbaren Ressourcen auch leisten, zu denen nicht zuletzt auch die Sonnenenergie gehört.

### Grenzen der Natur

Und schließlich gilt es, bei der Orientierung am Vorbild Natur im Hinblick auf den Umgang mit Stoffen zwei weitere Einschränkungen zu berücksichtigen. Auf der qualitativen Seite geht es um die Tatsache, dass man mit großen Mengen ungiftiger und naturnaher Substanzen durchaus großes ökologisches Unheil anrichten kann. Man denke nur an die Wirkung eutrophierender Substanzen in nährstoffarmen Ökosystemen oder an den Klimawandel, hervorgerufen durch die Freisetzung von Kohlenstoffdioxid fossilen Ursprungs. Und nicht zuletzt stellt

sich die Frage, was genau unter natürlich beziehungsweise naturnah zu verstehen sei? Ab welchem Grad, ab welcher Eingriffstiefe von Stoffumwandlungen kann ein Stoff nicht mehr als natürlich oder naturnah bezeichnet werden?

Neben der stofflichen und der verbreiteten Form-Funktions-Ebene kann das Lernen von der Natur auch auf einer organisationalen oder systemischen Ebene stattfinden (Gleich/Gößling-Reisemann 2008). In diese Richtung geht zum Beispiel der Ansatz der Industrial Symbiosis, das heißt, räumlich nahe industrielle Komplexe so zu gestalten wie Ökosysteme. Dabei kann das Schließen von Stoffströmen eine Rolle spielen, im Sinne der Eigenschaft von Ökosystemen, jeden Abfall einer Verwendung zuzuführen. Hier stößt die Übertragung aber auch schnell an ihre Grenzen: Natürliche Systeme wachsen langsam, Systemkomponenten haben einen eingeschränkten Bewegungsradius und neuartige Stoffe werden vergleichsweise selten produziert, also ganz anders als bei teilweise sehr dynamischen Industriesystemen. Dennoch lässt sich daraus ein Designprinzip ableiten: Industrielle Ansiedlungen sollten so gestaltet werden, dass mögliche Abfälle und Nebenprodukte eine weitere Verwendung in unmittelbarer Nähe erfahren können. Die Umsetzung dieses Prinzips stößt naturgemäß dann an Grenzen, wenn sich Produktionsprozesse und Produkte ändern und damit auch die betroffenen Abfälle oder Reststoffe. Die vertragliche Regelung von Lieferbeziehungen ist unter diesen Umständen schwierig.

## Zwei Arten von Resilienz

Ein noch weiter gefasster Übertragungsversuch natürlicher Gestaltungsprinzipien lässt sich in der Debatte um resiliente sozio-technische Systeme erkennen (z. B. Smith/Stirling 2008). Dabei ist grundsätzlich zwischen zwei Arten von Resilienz zu unterscheiden: Einerseits die ingenieurwissenschaftlich basierte Vorstellung des Zurückspringens eines Systems nach einer Störung (engineering resilience), andererseits eine Form der Resilienz, welche die Flexibilität natürlicher Systeme zum Vorbild nimmt (ecosystem resilience, vgl. Holling 1996). Basierend auf der Beobachtung von Ökosystemen, lässt sich diese Form der Resilienz definieren als die Fähigkeit eines sozio-technischen Systems, seine Dienstleistung auch unter Stress und massiven Störungen aufrechterhalten zu können (z. B. für Energiesysteme: Gößling-Reisemann et al. 2013). Der Fokus liegt hier auf dem Erhalt der Dienstleistungen, nicht der Strukturen des Systems. Letztere müssen sich sogar eventuell grundlegend ändern, damit die Dienstleistungen aufrechterhalten werden können. Die Übertragung von Ökosystem-Eigenschaften auf sozio-technische Systeme fokussiert hier auf den Umgang mit Störungen und Unsicherheit und ist weniger an technischen Lösungen orientiert als an struktureller Organisation und Vorsorge. Mit Blick auf die Störungen lohnt sich dabei die Unterscheidung zwischen abrupt auftretenden und schleichend sich entwickelnden Störungen bzw. zwischen erwartbaren und unerwarteten Störereignissen.

## Gestaltungsprinzipien

Als Antworten auf diese Störungen muss das System dann über Widerstandsfähigkeit (für abrupte und erwartbare Störungen), Anpassungsfähigkeit (für schleichende und erwartbare Störungen), Innovationsfähigkeit (für schleichende und unerwartete Störungen) sowie Improvisationsfähigkeit (für abrupte und unerwartete Störungen) verfügen. Für die Verbesserung der Resilienz in sozio-technischen Systemen lassen sich durchaus Gestaltungsprinzipien und -elemente beschreiben (Gößling-Reisemann et al. 2013).

Dazu gehören beispielsweise ausreichend Speicher und Puffer, redundante Komponenten sowie funktionale Diversität und dezentrale Strukturen. Diese Prinzipien und Elemente sind oft nur mit einem zusätzlichen Aufwand zu implementieren, sodass hier ein Ausgleich mit den Nachhaltigkeitsprinzipien Effizienz und ökonomischer Effektivität vonnöten ist. Ferner ist noch weitgehend unklar, in welcher Menge und Zusammensetzung es dieser Komponenten bedarf, um wirklich Resilienz zu erzeugen. Hier reicht das Lernen von der Natur als Lösung also nicht aus, es muss ergänzt werden um eine Diskussion und Abwägung von Versorgungssicherheit, Risikovor-sorge und Nachhaltigkeit.

## Literatur

- Europäische Umweltagentur (2001): Späte Lehren aus frühen Warnungen: Das Vorsorgeprinzip 1896–2000. Environmental issue report No 22/2001, Kopenhagen.
- Gleich, A. von et al. (2010): Potentials and Trends in Biomimetics. Heidelberg.
- Gleich, A. von/Gößling-Reisemann, S. (Hrsg.) (2008): Industrial Ecology – Nachhaltige industrielle Systeme gestalten. Stuttgart.
- Gößling-Reisemann, S. et al. (2013): Vulnerabilität und Resilienz von Energiesystemen. In: Radtke, J./Hennig, B. (Hrsg.): Die deutsche „Energiewende“ nach Fukushima. metropolis Verlag, S. 367–395.
- Isenmann, R. (2003): Further efforts to clarify Industrial Ecology's hidden philosophy of nature. *Journal of Industrial Ecology* 6/3-4, S. 27–48.
- Holling, C. S. (1996): Engineering resilience versus ecological resilience. In: Schultze, P. (Hrsg.): Engineering within ecological constraints. National Academies Press, S. 31–44.
- Naumann, K. (1993): Chlorchemie der Natur. In: *Chemie in unserer Zeit* 27 (1), S. 33–41.
- Schramm, E. (1997): Im Namen des Kreislaufs: Ideengeschichte der Modelle vom ökologischen Kreislauf. Berlin.
- Smith, A./Stirling, A. (2008): Social-ecological resilience and socio-technical transitions: critical issues for sustainability governance. STEPS Centre. Brighton.

## AUTOREN + KONTAKT

**Dr. Arnim von Gleich** ist Professor für Technikgestaltung und Technologieentwicklung am Fachbereich Produktionstechnik der Universität Bremen, **Dr. Stefan Gößling-Reisemann** leitet dort die Arbeitsgruppe Stoffströme und Energiesysteme.

Universität Bremen, FB4/FG10, Badgasteiner Str. 1, 28359 Bremen. E-Mail: gleich@uni-bremen.de; sgr@uni-bremen.de

