

# Aussichtsreiche Bioökonomie durch Bionik

Autor: Prof. Dr. Stefan Bringezu

*Auf Grundlage von Prinzipien und Funktionsweisen biologischer Systeme können klima- und ressourcenschonende Verfahren entwickelt werden. Ein Meilenstein ist die industrielle Fotosynthese, die es ohne den Einsatz von Biomasse ermöglicht, CO<sub>2</sub> als Rohstoff zu nutzen.*

## Was ist Bionik?

Bionik heißt, von der Natur zu lernen, indem Funktions- und Bauweisen biologischer Systeme insbesondere für das Design und die Ausführung von Technologien genutzt werden<sup>1</sup>. Bionik erweitert den Rahmen der Bioökonomie, indem auch die Verwendung

biologischer Prinzipien einbezogen wird<sup>2</sup>. Auf diese Weise können sowohl biotische und abiotische Rohstoffe effizienter eingesetzt als auch ein Beitrag zum Klimaschutz geleistet werden.

## Wo kommt Bionik zum Einsatz?

### Oberflächengestaltung

Ein bekanntes Beispiel ist die Nutzung des „Lotos-Effekts“ für selbstreinigende Oberflächen<sup>3</sup>. Die Blätter der Lotosblume haben eine wachsartige Oberfläche, von der Wassertropfen sehr schnell abperlen. Eine besonders glatte Lackierung von Fahrzeugen verringert dadurch den Verschmutzungsgrad und senkt den Fahrtwiderstand. Eine Beschichtung von Flugzeugen, die die Mikrostruktur der Haut von Haien nachbildet, könnte künftig erhebliche Mengen an Treibstoff einsparen<sup>4</sup>.



### Baukonstruktionen

Eines der ältesten Beispiele für Bionik ist der Stahlbeton. Die aus einem Opuntienblatt herauswitternde, vernetzte Faserstruktur diente Joseph Moniers 1880 als Vorbild für Betonbahnschwellen, die mit Metallrippen verstärkt wurden<sup>5</sup>. Der Aufbau von Grashalmen als knotenverstärkte Röhren diente der Konstruktion von Hochhäusern in Erdbebengebieten als Modell<sup>6</sup>. So waren Bambusrohre das Vorbild für das ehemals höchste Gebäude der Welt, das Taipei Financial Center, heute das höchste in Taiwan<sup>7</sup>.





## Maschinen und Sensoren

Hydro- und aerodynamische Formen wie sie von Delphinen bzw. Vögeln bekannt sind, haben den Flugzeug-, Ballon- und Fahrzeugbau inspiriert<sup>8</sup>. Die Robotik hat Laufmaschinen entwickelt, die sich an der Mechanik von Heuschreckenbeinen orientieren<sup>9</sup>, wobei neuere technologische Entwicklungen sogar zu schnellerer Fortbewegung führen<sup>10</sup>. Optische Signalverarbeitung hat sich einiges von der Konstruktion von Insektenaugen abgeschaut<sup>11</sup>.



## Künstliche Intelligenz

Das Prinzip der neuronalen Netzwerke hat die Computertechnologie revolutioniert. Ein künstliches neuronales Netz ist ein lernfähiges System, das mithilfe miteinander verbundener Knoten oder Neuronen in einer geschichteten Struktur, die dem menschlichen Gehirn ähnelt, Lernprozesse durchführt<sup>12</sup>. Es bildet damit eine wichtige Grundlage für Maschinelles Lernen und Künstliche Intelligenz.

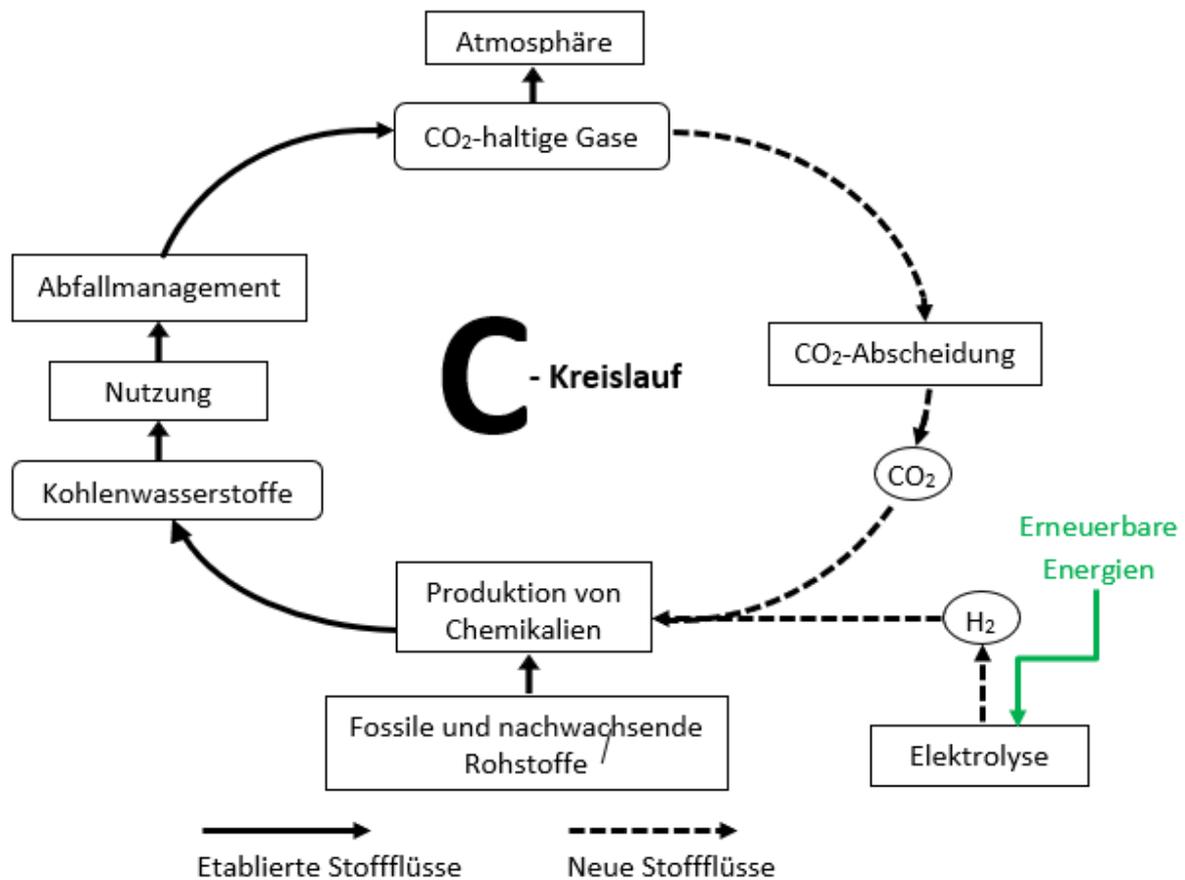
# Die Basis unseres Lebens: Fotosynthese

Ob Nahrungs- und Futtermittel oder nachwachsende Rohstoffe, sie stammen in der Regel von Pflanzen<sup>13</sup>, deren Wachstum auf dem Prozess der Fotosynthese basiert. In ihren Zellen wird Lichtstrahlung genutzt, um Wasser zu spalten und den resultierenden Wasserstoff ( $H_2$ ) mit Kohlenstoffdioxid ( $CO_2$ ) zu verbinden und Kohlenhydrate wie Zucker herzustellen.

Mit bereits verfügbaren Technologien zur Nutzung von  $CO_2$  als Rohstoff (*Carbon Capture and Utilization, CCU*), ist eine *industrielle Fotosynthese* möglich. Diese Technologien werden weltweit erforscht und gefördert, in Deutschland beispielsweise durch das BMBF<sup>14</sup>. Das  $CO_2$  kann von Punktquellen abgeschieden oder der Atmosphäre entzogen werden. Wenn  $H_2$  durch Elektrolyse mit Strom aus erneuerbaren Energieträgern, z.B. Wind oder Sonne, hergestellt wird, können Kohlenwasserstoffe wie Methan ( $CH_4$ ), Methanol ( $CH_3-OH$ ) oder Ameisensäure ( $HCOOH$ ) hergestellt werden. Sie dienen der chemischen Industrie als Plattformchemikalien und sind Ausgangsstoffe zur Synthese aller möglichen Spezialchemikalien und Kunststoffe. Auch wenn die damit hergestellten Produkte nach ihrer Nutzung verbrannt werden, kann der Kohlenstoff

über die Abscheidung und Wiedernutzung von  $CO_2$  im technischen Kreislauf geführt werden. Die chemische und kunststoffproduzierende Industrie kann damit ihre Stoffversorgung von der Versorgung mit fossilem Öl und Gas abkoppeln und zunehmend auf eine regenerative Basis stellen, ohne vermehrt nachwachsende Rohstoffe einsetzen zu müssen, für deren Anbau zu wenig Fläche vorhanden ist<sup>15</sup>. Dadurch werden biotische Ressourcen geschont.

Der Klimafußabdruck von CCU-Produkten ist in der Regel deutlich geringer als von konventionellen fossil basierten Erzeugnissen. Allerdings benötigt die Elektrolyse sehr viel Energie. Die dafür nötige Infrastruktur in Form von Solarmodulen oder Windkraftanlagen hat insgesamt einen hohen Ressourcenfußabdruck zur Folge. Einzelne Herstellungsrouten von CCU-Produkten schaffen es gleichwohl, den Klimafußabdruck mit nahezu gleichem Materialfußabdruck zu vermindern. Auf Grund der noch höheren Herstellungskosten dürften sich kunststoffbasierte CCU-Produkte eher bei höherpreisigen Endprodukten, z.B. im medizinischen oder automobilen Bereich durchsetzen<sup>16</sup>.



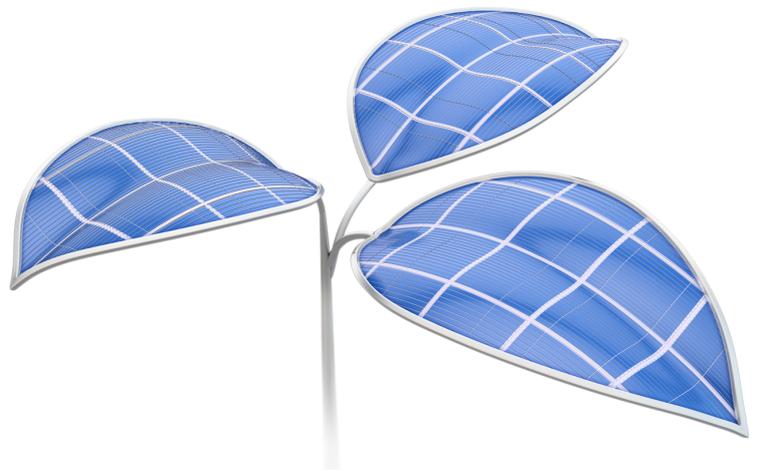
Schema der industriellen Fotosynthese (aus Bringezu 2022<sup>17</sup>, nach Hoppe und Bringezu 2016<sup>18</sup>)

Doch die Verfügbarkeit von erneuerbar erzeugtem Strom ist aktuell und absehbar in Deutschland nicht ausreichend, um die gesamte Produktion kohlenstoffhaltiger Chemikalien auf CCU-Basis zu ermöglichen. Obwohl es durchaus inländische Standorte gibt, die international, ökologisch und ökonomisch wettbewerbsfähig sein können, werden Importe von Wasserstoff oder CCU-basiertem Methanol oder Methan unumgänglich sein<sup>19</sup>. Zu deren Herstellung gibt es zahlreiche geeignete sonnen- und windreiche Regionen auf der Welt. Die Abhängigkeit Deutschlands von den Exportländern fossilen Öls und Gas kann dadurch vermindert werden.

In einigen Fällen kann es auch gelingen, ohne zusätzlichen Wasserstoff CCU-Produkte zu erzeugen, indem energieintensive Prozessketten durch weniger energieintensive ersetzt werden. Dies ist dem Unternehmen Covestro AG bei der Herstellung von Polyurethan

gelingen, das zu einem Viertel aus CO<sub>2</sub> produziert wird<sup>20</sup>.

Synthetisches Methanol kann zudem als nahezu klimaneutraler Treibstoff eingesetzt werden. Doch sollte es zunächst für eher dauerhaft nutzbare Produkte verwendet werden.



# Bauen mit CO<sub>2</sub>

CO<sub>2</sub> kann auch mineralisiert und in Form von Baustoffen festgelegt werden. Als Ausgangsmaterialien können Schlacken aus Industrieprozessen oder Abfallverbrennung, sowie spezielle Minerale wie Olivin oder Recyclingmaterial aus Altbeton verwendet werden<sup>21</sup>.

Wird Altbeton in seine Bestandteile zerlegt, werden seine Hauptbestandteile, Sand, Kies oder Bruchsteinkörnung, für eine weitere Verwendung verfügbar. Weil diese von einer Schicht ummantelt sind, die Kalziumoxid (CaO) enthält, kann dieses mit CO<sub>2</sub> zu Kalziumkarbonat (CaCO<sub>3</sub>) reagieren. Die Begasung von Betonabbruch mit CO<sub>2</sub> wird von Schweizer Firmen bereits praktiziert<sup>22</sup>. An der ETH Zürich wurde nachgewiesen, dass die behandelten Zuschlagstoffe zu Netto-Senken

von CO<sub>2</sub> werden, die es mit dem Einbau in neuen Beton langfristig binden können<sup>23</sup>.

Durch solche Carbon Capture Use and Sequestration (CCUS)-Technologien kann CO<sub>2</sub> nicht nur als Rohstoff eingesetzt, sondern auch langfristig der Atmosphäre entzogen werden. Der Baubestand dient als anthropogenes Lager für chemisch fest gebundenes CO<sub>2</sub>. In ähnlicher Weise hat die Natur in Form von Korallenriffen enorme Mengen von Kohlenstoff in Form von kalkhaltigen Konstruktionen gebunden. Auf diese Weise, durch das Lernen von der Natur, können mineralische Baustoffe als Alternative zu Holz und anderen nachwachsenden Rohstoffen nachhaltig eingesetzt werden. Die Übernutzung von Wäldern und Agrarland kann so vermindert werden.

## Botschaften für die Politik

- Um eine zirkuläre Bioökonomie zu entwickeln, ist mehr als eine effiziente Nutzung von Biomasse nötig.
- Von der Natur zu lernen heißt auch, mineralische Ressourcen effizient und nachhaltig einzusetzen.
- Neue Technologien zur Nutzung von CO<sub>2</sub> als Rohstoff – in Verbindung mit erneuerbaren Energien – erweitern die technische Kreislaufführung von Kohlenstoff und erhöhen die Unabhängigkeit von Erdöl, Erdgas und Kohle.
- Neue Entwicklungen beim Recycling von Beton ermöglichen zudem die langfristige Festlegung von CO<sub>2</sub> in Form von Karbonaten.
- Die CO<sub>2</sub>-basierten Roh- und Werkstoffe sind wichtige Alternativen zu nachwachsenden Rohstoffen wie Holz und helfen, deren Übernutzung zu vermindern.
- Die Entwicklung von CCU(S)-Technologien und damit verbundenen Innovationen sollte weiter mit Nachdruck vorangetrieben werden.
- Wenn die Bioökonomie in Richtung einer Bionikomie entwickelt würde, indem vermehrt die Prinzipien der Bionik angewendet werden, könnte die physische Basis von Wirtschaft und Gesellschaft insgesamt nachhaltiger gestaltet werden.

## Literatur

- <sup>1</sup>Nachtigall, W. (1998): Bionik – Grundlagen und Beispiele für Ingenieure und Naturwissenschaftler. Springer
- <sup>2</sup> BMBF und BMEL (2020): Nationale Bioökonomiestrategie. [https://www.bmel.de/SharedDocs/Downloads/DE/\\_Landwirtschaft/Nachwachsende-Rohstoffe/nationale-biooekonomiestrategie-langfassung.html](https://www.bmel.de/SharedDocs/Downloads/DE/_Landwirtschaft/Nachwachsende-Rohstoffe/nationale-biooekonomiestrategie-langfassung.html)
- <sup>3</sup> Nachtigall S. 94ff.
- <sup>4</sup> <https://www.bionicsurface.com/de/about-sharks-in-aviation-bionic-surface-technologies-and-lufthansa-group-researched-riblet-technology-on-aircraft/>
- <sup>5</sup> Nachtigall S. 69
- <sup>6</sup> Nachtigall S. 15
- <sup>7</sup> [https://de.wikipedia.org/wiki/Taipei\\_101](https://de.wikipedia.org/wiki/Taipei_101)
- <sup>8</sup> Nachtigall S.33ff., S. 177ff.
- <sup>9</sup> Nachtigall S. 172
- <sup>10</sup> <https://www.elektronikpraxis.de/sechsbeiniger-roboter-ueberholt-vorbild-aus-der-natur-a-4adcc703ade829493fe747a2b6797eee/>
- <sup>11</sup> Nachtigall S. 189ff.
- <sup>12</sup> <https://de.mathworks.com/discovery/neural-network.html>
- <sup>13</sup> Eine Ausnahme bilden Pilze, die sich heterotroph von toter Biomasse ernähren
- <sup>14</sup> <https://co2-utilization.net/de/>
- <sup>15</sup> Bringezu, S., Kaiser, S., Turnau, S. (2020): Zukünftige Nutzung von CO<sub>2</sub> als Rohstoffbasis der deutschen Chemie- und Kunststoffindustrie. Eine Roadmap. CESR (Hrsg.), Universität Kassel. <https://doi.org/10.17170/kobra-202002211019>
- <sup>16</sup> Kaiser, S., Gold, S., Bringezu, S. (2022): Environmental and economic assessment of CO<sub>2</sub>-based value chains for a circular carbon use in consumer products. Resources, Conservation & Recycling 184 (2022) 106422, <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2022.106422>
- <sup>17</sup> Bringezu, S. (2022): Das Weltbudget. Springer
- <sup>18</sup> Hoppe, W., Bringezu, S. (2016): Vergleichende Ökobilanz der CO<sub>2</sub>-basierten und konventionellen Methan- und Methanolproduktion. NachhaltigkeitsManagementForum | Sustainability Management Forum, Springer, vol. 24(1), 43-47
- <sup>19</sup> Kaiser, S., Pronnicki, K., Bringezu, S. (2021): Environmental and economic assessment of global and German production locations for CO<sub>2</sub>-based methanol and naphtha. Green Chemistry 23: 7659–7673
- <sup>20</sup> <https://www.covestro.com/press/de/erstes-thermoplastisches-polyurethan-auf-basis-der-co2-technologie/>
- <sup>21</sup> Digulla, F.-E., Bringezu, S. (2023): Comparative Life Cycle Assessment of Carbon Dioxide Mineralization Using Industrial Waste as Feedstock to Produce Cement Substitutes. Energies 16, 4118. <https://doi.org/10.3390/EN16104118>
- <sup>22</sup> Z.B. <https://www.neustark.com/de/>
- <sup>23</sup> Tiefenthaler, J., Braune, L., Bauer, C., Sacchi, R., Mazotti, M. (2021): Technological demonstration and life cycle assessment of a negative emission value chain in the Swiss concrete sector. Frontiers in Climate. <https://doi.org/10.3389/fclim.2021.729259>

## Fotos

AdobeStock: Stefan Schurr/imageBroker (Lotus, S. 1), kikujungboy (Tapei World Financial Center, S. 1), Amorn (Robotics, S. 2), Agnieszka (Neural networks, S. 2), Mopic (ill. industriellen Fotosynthese, S. 3)

## Gestaltung und Redaktion

Dr. Meghan Beck-O'Brien, Universität Kassel

## Kontakt

Stefan Bringezu, [bringezu@uni-kassel.de](mailto:bringezu@uni-kassel.de); Meghan Beck-O'Brien, [meghan.beck-obrien@uni-kassel.de](mailto:meghan.beck-obrien@uni-kassel.de)

GEFÖRDERT VOM



Bundesministerium  
für Bildung  
und Forschung

UNIKASSEL  
INSTITUTE  
FOR  
SUSTAINABILITY

CESR  
Center for  
Environmental  
Systems Research

UNIKASSEL  
VERSITÄT

Dieser Policy Brief wurde im Rahmen des Projekts SYMOBIO 2.0 an der Universität Kassel erstellt. Er basiert auf den Arbeiten des Autors, der für den Inhalt verantwortlich ist, und spiegelt nicht notwendigerweise die Auffassung der Universität Kassel, der Projektpartner oder des Bundesministerium für Bildung und Forschung wider.

Mehr Infos:  
[www.monitoring-bioökonomie.de](http://www.monitoring-bioökonomie.de)