

Thomas Marzi · Manfred Renner

Das Weltbild der Circular Economy und Bioökonomie

Vorbild Natur?

OPEN ACCESS



Springer Spektrum

Das Weltbild der Circular Economy und Bioökonomie



Thomas Marzi · Manfred Renner

Das Weltbild der Circular Economy und Bioökonomie

Vorbild Natur?

 Springer Spektrum

Thomas Marzi
Fraunhofer-Institut UMSICHT
Oberhausen, Deutschland

Manfred Renner
Fraunhofer-Institut UMSICHT
Oberhausen, Deutschland



ISBN 978-3-662-68229-6 ISBN 978-3-662-68230-2 (eBook)
<https://doi.org/10.1007/978-3-662-68230-2>

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.d-nb.de> abrufbar.

© Der/die Herausgeber bzw. der/die Autor(en) 2024. Dieses Buch ist eine Open-Access-Publikation.

Folgende Abbildungen sind von der CC-BY-Lizenz ausgeschlossen und dürfen nur im Rahmen der gesetzlichen Bestimmungen des Urheberrechts verwendet werden: – Das Titelbild Circles in a Circle, 1923, Vasily Kandinsky, Philadelphia Museum of Art: The Louise and Walter Arensberg Collection, 1950, 1950-134-104 – Die Fotos der Autoren im Vorwort - Die Abbildungen 1-1, 1-2, 1-3, 1-4, 1-5, 1-6, 2-5, 4-1, 4-2, 4-4, 4-6, 5-8, 5-10, 5-11, 5-18, 6-4, 7-4, 7-7 und 7-12 – Das Zitat-Icon sowie die Abbildungen in den Zitaten 4-16, 4-17, 4-18, 4-19, 4-20, 4-21, 4-22, 4-23, 4-24, 4-25, 4-26, 4-27, 4-28, 4-29, 4-30, 4-31, 4-32, 4-33, 4-34, 4-35, 4-36 und 4-37 – Hinweise zur Herkunft und Nutzungsrechten der Abbildungen finden sich im Anhang

Open Access Dieses Buch wird unter der Creative Commons Namensnennung 4.0 International Lizenz (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.de>) veröffentlicht, welche die Nutzung, Vervielfältigung, Bearbeitung, Verbreitung und Wiedergabe in jeglichem Medium und Format erlaubt, sofern Sie den/die ursprünglichen Autor(en) und die Quelle ordnungsgemäß nennen, einen Link zur Creative Commons Lizenz beifügen und angeben, ob Änderungen vorgenommen wurden.

Die in diesem Buch enthaltenen Bilder und sonstiges Drittmaterial unterliegen ebenfalls der genannten Creative Commons Lizenz, sofern sich aus der Abbildungslegende nichts anderes ergibt. Die Abbildungen der oben gemachten Aufzählung fallen nicht unter die CC-BY-Lizenz. Hier gelten die Bestimmungen der Rechteinhaber. Sofern das betreffende Material nicht unter der genannten Creative Commons Lizenz steht und die betreffende Handlung nicht nach gesetzlichen Vorschriften erlaubt ist, ist für die oben aufgeführten Weiterverwendungen des Materials die Einwilligung des jeweiligen Rechteinhabers einzuholen.

Die Wiedergabe von allgemein beschreibenden Bezeichnungen, Marken, Unternehmensnamen etc. in diesem Werk bedeutet nicht, dass diese frei durch jedermann benutzt werden dürfen. Die Berechtigung zur Benutzung unterliegt, auch ohne gesonderten Hinweis hierzu, den Regeln des Markenrechts. Die Rechte des jeweiligen Zeicheninhabers sind zu beachten.

Der Verlag, die Autoren und die Herausgeber gehen davon aus, dass die Angaben und Informationen in diesem Werk zum Zeitpunkt der Veröffentlichung vollständig und korrekt sind. Weder der Verlag noch die Autoren oder die Herausgeber übernehmen, ausdrücklich oder implizit, Gewähr für den Inhalt des Werkes, etwaige Fehler oder Äußerungen. Der Verlag bleibt im Hinblick auf geografische Zuordnungen und Gebietsbezeichnungen in veröffentlichten Karten und Institutionsadressen neutral.

Vasily Kandinsky, Circles in a Circle, 1923, Philadelphia Museum of Art: The Louise and Walter Arensberg Collection, 1950, 1950-134-104

Planung/Lektorat: Stefanie Wolf
Springer Spektrum ist ein Imprint der eingetragenen Gesellschaft Springer-Verlag GmbH, DE und ist ein Teil von Springer Nature.

Die Anschrift der Gesellschaft ist: Heidelberger Platz 3, 14197 Berlin, Germany

Wenn Sie dieses Produkt entsorgen, geben Sie das Papier bitte zum Recycling.

Warum dieses Buch? – Ein Vorwort

„Green Economy, Blue Economy, grünes Wachstum, Kreislaufwirtschaft, Industrielle Ökologie: Es herrscht kein Mangel im Wettbewerb der Begriffe für den notwendigen Wandel in Richtung eines nachhaltigen Wirtschaftens.“¹ Der Satz, den wir hier an den Anfang unseres Buches gestellt haben, stammt nicht von uns, sondern von der ehemaligen Journalistin der Wochenzeitung „Die Zeit“, Christiane Grefe. Er steht im Vorwort ihres 2016 erschienenen Buches „Global Gardening“, in dem sie sich differenziert mit der Bioökonomie auseinandersetzt, um die die obige Aufzählung also noch ergänzt werden muss. Bereits die Zahl der von ihr genannten Begriffe deutet an, worum es heute geht. Es geht nicht mehr um die Frage, ob wir mehr Nachhaltigkeit brauchen, sondern darum, wie wir sie erreichen. Über dieses „Wie“ wird allerdings vehement gestritten.

Sollen wir, wie in der Green Economy vorgesehen, auf neue, umweltschonendere Technologien setzen, oder, wie teilweise gefordert, Verzicht üben und unsere wirtschaftlichen Aktivitäten auf ein notwendiges Minimum reduzieren? Am besten wäre es wohl, wenn es gelänge, wirtschaftliches Handeln mit dem Schutz der Natur zu verbinden. Es werden also Konzepte gesucht, in denen ökologisches, soziales und ökonomisches Denken nicht in Widerspruch zueinander stehen. Der Circular Economy und Bioökonomie wird dieses Potenzial zugeschrieben. Beide sollen die Umwelt schützen, für wirtschaftliches Wachstum sorgen und die Transformation zu einer nachhaltigen Lebensweise ermöglichen. Bis vor einigen Jahren wurden sie dabei überwiegend noch als Alternativen wahrgenommen, die ggf. sogar in Konkurrenz zueinander stehen.² Inzwischen werden oft ihre Synergien betont, und es ist von einer „zirkulären Bioökonomie“ die Rede, in der die Bioökonomie als Teil der Circular Economy aufgefasst wird.³ Unser Buch befasst sich deshalb mit beiden Ansätzen. Dabei verwenden wir, wie in den vorangehenden Sätzen schon deutlich wurde, anstelle des deutschen Begriffs „Kreislaufwirtschaft“ den englischsprachigen Ausdruck „Circular Economy“. Grund hierfür ist, dass eine Kreislaufwirtschaft oft nur mit Abfallverwertung und Recycling

¹ Grefe 2016, S. 16.

² Gottwald und Krätzer 2014, S. 121 ff.

³ Europäische Kommission 2018.

assoziiert wird, während mit Circular Economy meistens ein systemischer Ansatz gemeint ist.

Unser Buch handelt also sowohl von der Bioökonomie als auch von der Circular Economy, wenn auch anders, als Sie, liebe Leserin, und Sie, lieber Leser, das vielleicht gewöhnt sind. Wir nehmen keine technische oder ökonomische Analyse vor, wir beschreiben nicht im Detail, über welche Potenziale die beiden Wirtschaftsformen verfügen, und wir machen auch so gut wie keine Vorschläge, mit welchen Maßnahmen sie umgesetzt werden können. Hierzu gibt es bereits einschlägige Literatur, auf die wir guten Gewissens verweisen können.⁴ Unser Anliegen ist ein anderes. Wir wollen die Circular Economy und Bioökonomie aus einer ungewohnten Perspektive betrachten und der Frage nachgehen, welche Motive und Leitbilder sie prägen. Wir wollen wissen, welche Erzählungen mit den beiden Konzepten verbunden werden und auf welche Vorstellungen, man könnte auch sagen auf welches Weltbild, sie zurückgreifen. Unser besonderes Interesse gilt dabei der Frage, welche Rolle der Natur in der Circular Economy und Bioökonomie zugewiesen wird. Wenn auch nicht in allen Konzepten der Circular Economy, zumindest aber in Teilen davon, ist die Natur ein Vorbild. In der Bioökonomie wird dagegen „mit der Natur gearbeitet“⁵.

Der Circular Economy und Bioökonomie liegt ein Weltbild zugrunde, das die aktuelle Wirklichkeit mit der „Bio- und Technosphäre“ gedanklich in einen natürlichen und einen technisch-ökonomischen Bereich aufteilt. Während die Technosphäre bzw. die Wirtschaft linear und verschwenderisch organisiert sind, arbeitet die Biosphäre effizient und in Kreisläufen. Letztere gelten in der Bioökonomie und Teilen der Circular Economy zusammen mit der Ressourceneffizienz als eine Art Naturprinzip. Die Natur wird dabei als perfekte Kreislaufwirtschaft gedeutet. Um aus dem ökonomischen System bzw. der Technosphäre ebenfalls eine perfekte Kreislaufwirtschaft zu machen, so die oft verwendete Argumentation, muss das Prinzip der Natur, der Kreislauf, Eingang in die Technosphäre finden. Die Kreislaufwirtschaft der Natur soll deshalb in die menschliche Wirtschaft übertragen oder direkt ökonomisch genutzt werden.

Was ist aber damit gemeint, wenn in der Bioökonomie oder Teilen der Circular Economy von Natur die Rede ist oder Naturprinzipien übertragen werden sollen? Welches Naturbild steckt dahinter und was können wir überhaupt über die Prinzipien der Natur wissen? Diese Fragen sind alles andere als trivial. Was Natur

⁴ Für die Circular Economy sind beispielsweise der Aktionsplan der Europäischen Union (Europäische Union 2020), die Circular Economy Roadmap der acatech (Kadner et al. 2021), die im Auftrag des WWF erfolgte Machbarkeitsstudie „Modell Deutschland Circular Economy“ (Prakash et al. 2022) oder die Schriften der Ellen Mac Arthur Foundation (EMF 2022) zu nennen. Für die Bioökonomie finden sich entsprechende Informationen in dem von Iris Lewandowski herausgegebenen Buch „Bioeconomy“ (Lewandowski 2018), den aktuellen deutschen und europäischen Bioökonomiestrategien (Bundesregierung 2020b; Europäische Kommission 2018) sowie den Arbeitspapieren des Bioökonomierats (Bioökonomierat 2022).

⁵ „Working with nature“, Europäische Kommission 2013.

ist und wie viel wir über sie wissen können, gehört zu den ältesten und grundlegendsten Fragen der Philosophie überhaupt. Wir können deshalb nicht so tun, als ob es sich bei Natur und Naturprinzipien um „Dinge“ handelt, die einer objektiven Erkenntnis direkt zugänglich sind. Zu berücksichtigen ist, dass unsere Vorstellungen über die Natur auch kulturell bedingte, sich wandelnde Deutungen sind. Auch die Perspektiven, aus denen die Bioökonomie und Circular Economy die Natur betrachten, unterliegen bestimmten Prämissen. Sie sind entsprechend „gefärbt“ und eingeschränkt. Wenn die Natur in der Circular Economy als Vorbild oder in der Bioökonomie als Partnerin betrachtet wird, muss also zumindest klar sein, auf welche Naturvorstellungen sich bezogen wird und woher die Erkenntnis der verwendeten Naturprinzipien kommt.

Wir können uns vorstellen, dass unsere Perspektive, aus der wir in diesem Buch die Bioökonomie und Circular Economy betrachten, für Leserinnen und Leser, die wie wir aus der angewandten Forschung kommen und dort an der Entwicklung technischer Verfahren arbeiten, ungewohnt ist. Sie werden vielleicht einwenden, dass das, was wir hier über die Bioökonomie und Circular Economy schreiben, für angewandte Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler ohne Belang und eher für die Kulturwissenschaften oder die Philosophie interessant ist. Letzteres ist sicherlich richtig, es ist auch ein kulturwissenschaftliches und philosophisches Thema. Eine verantwortungsbewusste angewandte Wissenschaft muss aber, wie wir meinen, ihre eigene Tätigkeit reflektieren und Erkenntnisse, die Kolleginnen und Kollegen aus anderen Wissensbereichen erarbeitet haben, wahrnehmen. Mit dem Argument, dass sich die Circular Economy und Bioökonomie an der Natur orientieren, werden jedenfalls Entwicklungsarbeiten in der angewandten Forschung begründet, es steht in Einleitungen von Fachartikeln und wird in Vorträgen eingesetzt, um positive Assoziationen bei der Zuhörerschaft in Politik, Industrie und Gesellschaft auszulösen.

In der angewandten Forschung überführen Wissenschaftler und Wissenschaftlerinnen ihre Ideen in Anwendungen und verändern auf diese Weise den Status quo. Dabei spielen die sie leitenden Motive und Vorstellungen eine wichtige Rolle. In der Bewertung der Bedeutung, die diese Motive haben, schließen wir uns im Folgenden der Position von Reinhard Loske an. Loske, der vor allem durch seine Forschungsarbeiten zu Nachhaltigkeitsthemen und seine politische Tätigkeit – er war bundespolitischer Sprecher von Bündnis 90/Die Grünen und Umweltsenator in Bremen – bekannt wurde, schreibt in seinem Buch „Politik der Zukunftsfähigkeit“, dass „bei der Frage nach dem Umgang mit Umwelt- und Ressourcenproblemen auch die Grundhaltung und die Weltsicht“ von Bedeutung sind. Als ehemaliger Politiker hat Loske ein ausgeprägtes Verständnis dafür entwickeln können, welche Motive und Vorstellungen hinter bestimmten Entscheidungen und Handlungen stehen. Er weiß wohl, wovon er spricht, wenn er schreibt, dass jemand, der „überzeugt ist, dass wir als Menschen in etwas Größeres eingebettet oder Teil eines lebendigen Netzes sind, [...] an Fragen der Naturnutzung anders herangehen [wird] als jemand, der den Zweck der Natur vornehm-

lich darin sieht, für den modernen Menschen da zu sein [...]“⁶. Die Vorstellungen, die im Hintergrund der Circular Economy und Bioökonomie wirken, sind also alles andere als unerheblich.

In diesem Buch werden wir den Versuch unternehmen, das Weltbild bzw. die Weltbilder der Circular Economy und Bioökonomie herauszuarbeiten und die mit ihnen verbundenen Erzählungen offenzulegen. Das geschieht, in dem wir uns in Kap. 1 zunächst einen Überblick über die aktuelle Situation verschaffen und nach Möglichkeiten zur Erreichung von Nachhaltigkeit fragen. In Kap. 2 berichten wir über die Entstehungsgeschichte der Bioökonomie und Circular Economy. Wir gehen auf unterschiedliche Lesarten der Bioökonomie ein und stellen verschiedene Denkschulen der Circular Economy vor. In Kap. 3 untersuchen wir, welche Motive und Inhalte mit den Erzählungen zur Bioökonomie und Circular Economy vermittelt werden. Hierzu gehören die Fragen nach Natur (Kap. 4) und Technik und deren systemischem Verständnis als Bio- und Technosphäre (Kap. 5). Ein weiterer wichtiger Punkt besteht darin, zu klären, ob die Orientierung an der Natur als metaphorische Sprache, Analogiebildung oder Systemübertragung zu verstehen ist (Kap. 6). Mit diesem Hintergrundwissen ausgestattet, fragen wir in Kap. 7 erneut nach der Rolle, die der Natur in der Bioökonomie und Circular Economy zugewiesen wird. Abschließend werden in Kap. 8 grundsätzliche Hemmnisse behandelt.

Das vorliegende Buch ist der erste Band einer dreiteiligen Reihe. Die Bände haben unterschiedliche Schwerpunkte und ergänzen sich, sind aber separat für sich lesbar und abgeschlossen. Während wir im vorliegenden Band der Frage nachgehen, was es mit der Orientierung an der Natur bei der Circular Economy und Bioökonomie auf sich hat, sind Kreisläufe Thema von Band 2. Der Kreislauf ist „das“ Leitmotiv der Circular Economy und Bioökonomie. Schwerpunkt des dritten Bandes werden unterschiedliche Denkschulen und Konzepte sein. Wir wollen darin die verschiedenen Ansätze beschreiben und ihre Entstehung sowie ihre Zusammenhänge nachzeichnen.

Uns ist bewusst, dass wir in der vorliegenden Arbeit die Grenzen unsere eigenen Fachdisziplin überschreiten. Wir tun das, weil wir davon überzeugt sind, dass die Reflexion der Circular Economy und Bioökonomie auch in der angewandten Forschung selbst erfolgen muss. Unsere Arbeit verstehen wir ausdrücklich als Einladung und Ausgangspunkt zu einem disziplinübergreifenden Diskurs.

Oberhausen/Bochum
Juli 2023

Thomas Marzi
Manfred Renner

⁶ Loske 2015, S. 27.

Inhaltsverzeichnis

1	Unser Blick auf den Status quo	1
1.1	Früher war die Zukunft besser	1
1.2	Die Kehrseite der Medaille	6
1.3	Die Umweltbewegung	10
1.4	Zurück zur Natur?	16
1.5	Nachhaltigkeitsstrategien	18
1.6	Zwischen Green Economy und Postwachstumsökonomie	23
2	Circular Economy und Bioökonomie	27
2.1	Die Entwicklung der Circular Economy und Bioökonomie	27
2.2	Circular Economy	32
2.3	Bioökonomie	48
2.4	Zirkuläre Bioökonomie	65
3	Das Narrativ der Circular Economy und Bioökonomie	73
3.1	Geschichten, Erzählungen, Narrative und Weltbilder	73
3.2	Geschichten und Erzählungen der Circular Economy und Bioökonomie	81
3.3	Das Natur-Narrativ	94
4	Natur und ihre Erkenntnis	99
4.1	Was ist Natur?	99
4.2	Die Natur Henri Rousseaus	100
4.3	Historische Naturdeutungen	105
4.4	An welche Natur glauben die Naturwissenschaften?	115
4.5	Gründe für eine Orientierung am Vorbild Natur?	122
4.6	Was können wir über Natur wissen?	123
4.7	Prinzipien der Natur	130
4.8	Naturbilder	134
5	Natürliche, technische und ökonomische Systeme	151
5.1	Systeme	151
5.2	Ökosysteme: Die modellierte Natur	167
5.3	Die Biosphäre, das Ökosystem der Erde	177
5.4	Die Technosphäre	182
5.5	Das Wirtschaftssystem	192

5.6	Sind Ökosysteme ökonomisch organisiert?	200
5.7	Natur und Kultur.	204
6	Metaphern, Analogien und Modellübertragungen.	217
6.1	Metaphern und Analogien	217
6.2	Von der Metapher zur Modellübertragung	227
6.3	Formale Gleichsetzung begründet keine Identität	229
6.4	Umgang mit Metaphern, Analogien und Modellübertragungen.	232
7	Circular Economy und Bioökonomie: Weltbild und Weltanschauung.	235
7.1	Weltbildfragmente	235
7.2	Metaphern, Analogien und Modellübertragungen in der Circular Economy und Bioökonomie.	253
7.3	Der „blinde Fleck“: Natur ist nicht gleich Wirtschaft	261
7.4	Circular Economy, Bioökonomie und Weltanschauung?	266
8	Wie viel Kreislauf ist möglich?	271
8.1	Endlose Kreisläufe?	271
8.2	Kopplung ökologischer und ökonomischer Systeme	278
8.3	Wie zirkulär ist die Wirtschaft?	279
8.4	Strukturelle Hemmnisse	282
8.5	Was ist möglich?	284
9	Fazit	287
	Anhang.	293
	Literatur.	301

Über die Autoren



© Fraunhofer-Institut
UMSICHT

Dr. rer. nat. Thomas Marzi studierte Chemie an der Universität-Gh-Duisburg und promovierte dort in Physikalischer Chemie. Er ist seit 30 Jahren am Fraunhofer-Institut UMSICHT in Oberhausen tätig. Dort leitete er u. a. eine Abteilung für chemische Energiespeicher. In den letzten Jahren untersucht er zunehmend multidisziplinäre Aspekte übergreifender Themen wie die der Circular Economy und Bioökonomie. Er lehrt hierzu an der Ruhr-Universität Bochum (RUB).



© Fraunhofer-Institut UM-
SICHT/Mike Henning

Prof. Dr.-Ing. Manfred Renner ist promovierter Maschinenbauingenieur. Er leitet das Fraunhofer-Institut UMSICHT in Oberhausen und ist Inhaber des von ihm gegründeten Lehrstuhls „Responsible Process Engineering“ an der Fakultät für Maschinenbau der Ruhr-Universität Bochum (RUB). Im Rahmen seiner Professur untersucht er seit 2022 die systemische Entwicklung der Circular Economy auf Unternehmens-, regionaler und europäischer Ebene.



Unser Blick auf den Status quo

1

Das Ausmaß, in dem technisch-ökonomische Entwicklungen in den letzten Jahrhunderten die Welt verändert haben, ist schlichtweg atemberaubend. Menschen stehen heute Möglichkeiten offen, die sich ihre Vorfahren nicht vorstellen konnten. Dieses Wunder hat jedoch seinen Preis. Es kostet immer mehr Ressourcen, verursacht wachsende Emissionen und führt dazu, dass ein immer größer werdender Teil der Welt von Menschen zur Deckung ihrer Bedürfnisse in Anspruch genommen wird, während anderen Arten immer weniger Lebensraum zur Verfügung steht. Letztlich zeigt sich hier ein Dilemma: Auf der einen Seite können wir unsere Lebensgrundlagen nicht ohne Wirtschaft und Technik erhalten, auf der anderen Seite führen aber unsere Art zu wirtschaften und der intensive Technikeinsatz zu deren Bedrohung. Klimawandel und Artensterben betreffen nicht nur andere Lebewesen, sie gefährden auch uns selbst. Der Ansatz, mit dem diesem Dilemma begegnet werden soll, heißt Nachhaltigkeit. Sie soll mithilfe unterschiedlicher Strategien erreicht werden. Die Circular Economy und Bioökonomie, um die es in diesem Buch geht, sind ein Teil dieser Strategien.

1.1 Früher war die Zukunft besser¹

Wenn es nach der US-amerikanischen Fernsehserie Star Trek geht, die in Deutschland auch unter dem Namen „Raumschiff Enterprise“ bekannt ist, wird die Zukunft großartig. Es wird zwar noch Auseinandersetzungen mit außerirdischen Spezies oder Gefahren durch kosmische Phänomene geben, die Probleme von

¹Die Kapitelüberschrift ist an den gleichlautenden Titel eines Spiegel-Artikels von Francesco Giannarco zum 50-jährigen Jubiläum der Star-Trek-Serie angelehnt, Giannarco 2016. Der Ausdruck „Die Zukunft war früher auch besser“ geht ursprünglich wahrscheinlich auf den bayrischen Humoristen Karl Valentin zurück, Valentin 2013.

heute aber werden nicht mehr existieren. Sie gehören im 22. Jahrhundert der Vergangenheit an. Die Menschen leben in Frieden zusammen, jeder Mangel ist überwunden, und niemand muss mehr hungern oder frieren. Die Star-Trek-Gesellschaft ist eine „Überflussgesellschaft“, in der unbegrenzte Ressourcen zur Verfügung stehen. Reichtum ist nicht mehr die treibende Kraft im Leben, weil von allem mehr als genug vorhanden ist. Alle arbeiten, um ihren Interessen nachzugehen und um sich selbst und die Menschheit zu verbessern. Weil es nicht gebraucht wird, gibt es in der Star-Trek-Gesellschaft auch kein Geld mehr. An die Stelle von Nationalstaaten ist in der Serie eine geeinte Menschheit getreten, die als Teil einer interstellaren Föderation das Weltall besiedelt.²

Technische Innovationen haben bei Star Trek eine große Bedeutung. Die sozialen Fortschritte, die die Menschen des 22. Jahrhunderts gemacht haben, und der Überfluss, in dem sie leben, gibt es nur, weil es technischen Fortschritt gibt. „Warp-Antriebe“ ermöglichen Reisen durch den Weltraum, „Materie-Antimaterie-Reaktoren“ stellen Energie in unbegrenzter Menge zur Verfügung und mit „Replikatoren“ kann alles Mögliche aus jeder Art von Materie hergestellt werden. Mithilfe der Technik werden Grenzen überschritten. Für die Protagonisten der Serie ist sie der Schlüssel zu Sicherheit, Wohlstand, Frieden, Freiheit, neuen Erkenntnissen und einem sinnerfüllten Leben.³

Einige der technischen Ideen, die bei Star Trek zu sehen waren, sind inzwischen Wirklichkeit geworden. In der Serie sah man Tablets, Laptops, Touchscreens und Menschen, die Videokonferenzen abhalten und mit Computern sprechen. Manche Erfinder hat Star Trek bei ihren Entwicklungen inspiriert. Das erste Klapptelefon, das Motorola unter dem Namen „StarTAC“ auf den Markt brachte, erinnert auch optisch an den Kommunikator, den die Raumschiffbesatzung benutzte.⁴ Wird also vielleicht auch die Star-Trek-Gesellschaft eines Tages Wirklichkeit sein?

Was die Zukunft bringen wird, können uns Science-Fiction-Geschichten leider nicht verraten. Sie beschreiben nicht, wie es sein wird, sondern wie es sich die Autoren und Autorinnen der Geschichten vorgestellt haben. Mehr als über die Zukunft sagen sie etwas über die kulturelle Situation aus, in der sie entstanden sind. Das gilt auch für Star Trek. Die erste Folge wurde 1966, mitten in der Hochphase des US-amerikanischen Weltraumprogramms, ausgestrahlt. In der Serie findet sich somit der Glaube an die unbegrenzten Möglichkeiten der Technik wieder, von dem auch die Weltraummissionen getragen wurden. Letzterer wurde in der historischen Rede J. F. Kennedys sichtbar, der 1961 das Ziel ausgab, „bevor [das] Jahrzehnt zu Ende geht, einen Menschen auf dem Mond zu landen und [...] sicher wieder zur Erde zurück zu bringen“⁵. Im Juli 1969 wurde das von Kennedy ausgegebene Ziel, das er selbst nicht mehr erlebte, Wirklichkeit. Vor den Augen

² Schmid und Beyer-Fistrich 2021; Giammarco 2016.

³ Schmid und Beyer-Fistrich 2021; Giammarco 2016.

⁴ Giammarco 2016.

⁵ Proske 1970, S. 34.

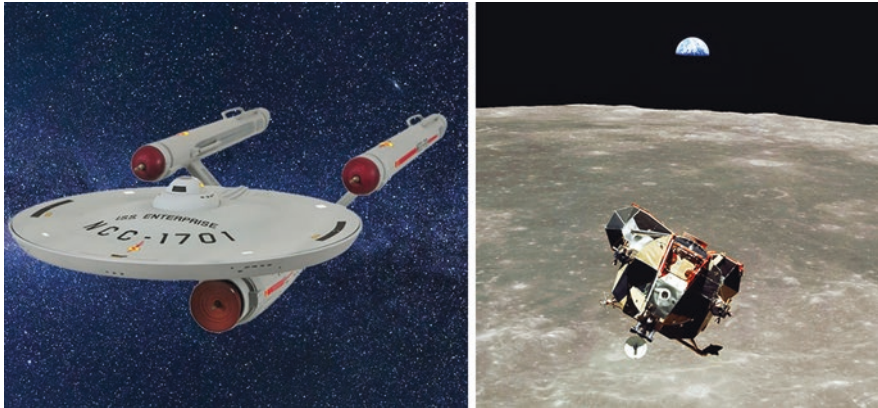


Abb. 1.1 Triumph der Technik: Star Trek und die Mondmissionen. Die in den 1960er-Jahren konzipierte Science-Fiction-Serie Raumschiff Enterprise (links) vermittelt eine positive Technikvision. Sie spiegelt den Technikoptimismus der Mondmissionen, hier 1969 die Aufstiegsstufe der Mondlandefähre bei der Rückkehr von der Mondoberfläche zur Kommandokapsel von Apollo 11. (Bildquellen: pixabay (links), NASA AS11-44-6642 (rechts))

von mehr als einer halben Milliarde Fernsehzuschauerinnen und -zuschauer wurde ein Menschheitstraum wahr.⁶ Neil Armstrong und Buzz Aldrin betraten den Mond und gelangten wohlbehalten wieder zur Erde zurück. Menschen hatten zum ersten Mal in ihrer Geschichte die Grenzen ihres Planeten überschritten und einen anderen Himmelskörper betreten. Wenn das möglich war, dachte man, sei es nur noch eine Frage der Zeit, bis sie zu anderen Planeten reisen und diese bewohnen würden. So gab es zur Zeit der Mondlandung bereits Pläne zur Entwicklung von Raumstationen, die schon Ende der 1970er-Jahre mit 50 Menschen an Bord die Erde umkreisen sollten. Die Mondlandung wurde als eine Zeitenwende erlebt, die vielleicht die Menschen vereinen und Kriege überflüssig machen könnte.⁷ Mithilfe der Technik, so schien es, war nun nichts mehr unmöglich (Abb. 1.1).

Mit der Mondlandung wurden Grenzen überwunden, die Menschen jahrhunderttausendlang nicht überschreiten konnten. Doch warum, könnte man fragen, geschah das nicht schon viel früher? Die Vision zum Mond zu reisen gab es schließlich schon lange. Bereits der antike griechische Satiriker Lukian berichtete von einer fiktiven Reise zum Mond. Warum also erst 1969? Menschen, die biologisch über dieselben kognitiven Fähigkeiten verfügen wie wir, gibt es schon seit etwa 200.000 bis 300.000 Jahren, und soweit wir wissen, haben sie schon immer versucht, mit Technik ihre Ziele zu erreichen. Sie nutzten Feuer, stellten Werkzeuge her und fertigten Kleidung an. Technik gehört damit unmittelbar zum Menschsein dazu. Wie der griechische Prometheus-

⁶ZDF 2019.

⁷Proske 1970, S. 5.

Mythos in der Version Platons berichtet, ist sie ursprünglich eine göttliche Fähigkeit, die einen natürlichen Mangel, den Menschen gegenüber Tieren haben, kompensieren soll. Viele Tieren können schneller laufen als Menschen, haben Reißzähne und Krallen, sind stärker oder tragen ein wärmendes Fell. Im Mythos entwendet Prometheus den Göttern das Feuer und die Handwerkskunst und schenkt sie den Menschen, damit sie überleben können.⁸ Er schenkte sie ihnen jedoch nicht, um damit zum Mond zu fliegen.

Anscheinend ist die Technik, die die Mondlandung ermöglichte, etwas anderes als die der Antike.⁹ Sie war ein technisches Großprojekt, das nicht möglich gewesen wäre, wenn es in den letzten Jahrhunderten nicht Entwicklungen gegeben hätte, die das, was Technik ausmacht, fundamental verändert haben. Gemeint sind die Ideen der „Aufklärung“, die als historische Epoche Ende des 17. Jahrhunderts begann. Sie beendete endgültig das Mittelalter, baute auf den Gedanken der Renaissance auf und stellte das bestehende Ordnungssystem aus Adel und Kirche infrage.¹⁰ Zumindest in der „westlichen Welt“ wurde die menschliche Vernunft nun zum Maß aller Dinge. Sie galt als das Mittel, das den Menschen individuelle, politische und ökonomische Freiheit bringen sollte.

Im Denken der Aufklärung wurden die Naturwissenschaften immer wichtiger. Ihre Erkenntnisse ermöglichten neue technische Anwendungen und stärkten den Glauben an den Fortschritt. Dabei fand der noch aus der Renaissance stammende Gedanke von René Descartes, die Natur mithilfe der Technik zugunsten der Menschen umzugestalten,¹¹ immer mehr Befürworter. Praktisch zeigte er sich in der Intensivierung industrieller Tätigkeiten. Es entstanden Fabriken, in denen zunächst noch einfache handbetriebene Maschinen wie Webstühle zum Einsatz kamen. Schon bald wurden sie durch Spinnmaschinen, die von Dampfmaschinen angetrieben wurden, ersetzt. Diese Entwicklung markiert den Beginn einer Transformation, die wir heute rückblickend als „industrielle Revolution“ bezeichnen. Sie veränderte die Lebensweise vieler Menschen, führte zu neuen Arbeits- und Gesellschaftsstrukturen und schuf geopolitische Machtverhältnisse, die bis heute fortwirken.

Die Technik, die aus der industriellen Revolution hervorgegangen ist, war es, die die Mondlandung ermöglichte. Sie ist etwas anderes als die Technik der Frühgeschichte, Antike oder des Mittelalters. Zwar hatte es auch dort Großprojekte wie den Pyramiden- und Kathedralenbau gegeben, die moderne Technik unterscheidet sich aber durch die Art und Weise, wie sie mit anderen Faktoren zusammenwirkt, grundlegend von ihnen. Angetrieben wurde die industrielle Revolution durch wissenschaftliche Erkenntnisse, technische Entwicklungen, ökonomische Veränderungen und individuelle Freiheit. Die intensive Nutzung fossiler Energie und die neue

⁸Platon 1855, 320–322 STA.

⁹Grundsätzliche Unterschiede zwischen moderner Technik und der Technik der Antike hat u. a. Martin Heidegger in seinem berühmten Aufsatz „Die Frage nach der Technik“ herausgearbeitet, Heidegger 2000.

¹⁰Toyka-Seid und Schneider 2022; Perret 2014.

¹¹Esfeld 2002, S. 16.

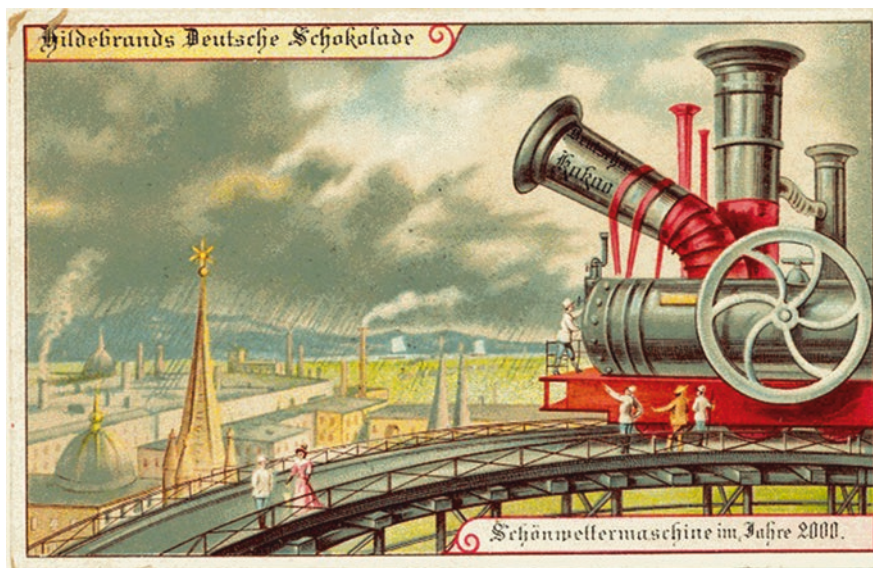


Abb. 1.2 „Schönwettermaschine“. Vorstellung von einer „Schönwettermaschine“, die es im Jahr 2000 geben sollte. Sammelbildchen einer Schokoladenfirma aus dem Jahr 1900. (Bildquelle: wikimedia)

Arbeitsorganisation ermöglichten es, Güter preiswert und in einer Größenordnung zu produzieren, die vorherige Möglichkeiten weit übertraf. Angebot und Nachfrage verstärkten sich gegenseitig, und das Kapital, das in Produktion investiert wurde, wuchs weiter an. Es entstand das, was wir Wirtschaftswachstum und Fortschritt nennen.

In der industriellen Revolution wurden Naturwissenschaften, Wirtschaft, Technik und Fortschrittsglaube zu sich gegenseitig antreibenden Faktoren, die seitdem nicht mehr getrennt betrachtet werden können. Sie gelten als Garanten für eine positive wirtschaftliche, soziale und moralische Entwicklung.¹² Besonders eindrücklich wurde dieser Fortschrittsoptimismus von dem Schriftsteller Stefan Zweig beschrieben. In seinem autobiografischen Buch „Die Welt von Gestern“ schreibt er, dass es aus der europäischen Perspektive des 19. Jahrhunderts heraus nur noch eine Frage der Zeit sein konnte, bis Wissenschaft und Technik eine perfekte Welt geschaffen hätten (Zitat 1.1). Wie man sich diese Welt für das Jahr 2000 vorstellte, zeigen Postkartenmotive aus dieser Zeit. Zu sehen sind Schwimmschuhe, mit denen Menschen über Wasser laufen können, höhenverstellbare Bürgersteige, Häuser, mit denen man verreisen kann und die in Abb. 1.2 dargestellte „Schönwettermaschine“¹³. Fortschrittsoptimismus dokumentieren auch die Romane von Jules

¹² WBGU 2011, S. 94; Ropohl 2013; Perret 2014.

¹³ Grothe 2009.

Verne¹⁴, der in seinen Büchern „Von der Erde zum Mond“ und „Die Reise um den Mond“ das Raumfahrtprogramm der 1960er-Jahre literarisch vorweggenommen hat. In der Mondlandung, die der Ausgangspunkt unserer Überlegungen war, erreichte der Technikoptimismus aus unserer Sicht seinen vorläufigen Höhepunkt.

Zitat 1.1: Stefan Zweig (1881–1942)



„Das neunzehnte Jahrhundert war [...] überzeugt, auf dem geraden und unfehlbaren Weg zur ‚besten aller Welten‘ zu sein. [...] Jetzt [...] war es doch nur eine Angelegenheit von Jahrzehnten, bis das letzte Böse und Gewalttätige endgültig überwunden sein würde [...], man glaubte an diesen ‚Fortschritt‘ schon mehr als an die Bibel, und sein Evangelium schien unumstößlich bewiesen durch die täglich neuen Wunder der Wissenschaft und der Technik. [...] Auf den Straßen flammten des Nachts [...] elektrische Lampen, dank des Telephons [konnte] der Mensch zum Menschen in die Ferne sprechen, [er] flog [...] dahin im pferdelosen Wagen [...und] schwang [...] sich empor in die Lüfte [...]. Der Komfort drang aus den vornehmen Häusern in die bürgerlichen, nicht mehr mußte das Wasser vom Brunnen oder Gang geholt werden, nicht mehr mühsam am Herd das Feuer entzündet, die Hygiene verbreitete sich, der Schmutz verschwand. Die Menschen wurden schöner, kräftiger, gestünder, [...] und all diese Wunder hatte die Wissenschaft vollbracht.“¹⁵

1.2 Die Kehrseite der Medaille

Obwohl viele Menschen den Technikoptimismus des 19. Jahrhunderts teilten, waren die negativen Begleiterscheinungen der industriellen Produktionsweise nicht zu übersehen. Durch die neuen Produktionsmethoden konnten viele klassische Berufe wie das Weben in Heimarbeit nicht mehr so ausgeübt werden, dass der Lebensunterhalt davon bestritten werden konnte. Viele Menschen waren gezwungen, in Fabriken zu arbeiten, in Städte zu ziehen und dort in elenden Verhältnissen zu leben.¹⁶ Auch der „Naturverbrauch“ nahm zu. Immer mehr ungenutzte Bereiche wurden in Ressourcen, Baugrund oder Kulturlandschaften umgewandelt.¹⁷ Es gab deshalb bereits schon zu Beginn der industriellen Revolution kritische Stimmen, die auf die negativen Folgen des neuen Lebensstils hinwiesen. Meistens wurden soziale Auswirkungen angesprochen, eine Bedrohung

¹⁴ Sudau 2011, 3 f.

¹⁵ Zweig 2020, S. 19.

¹⁶ Perret 2014.

¹⁷ Schiemann 2011, S. 65.

der natürlichen Lebensgrundlagen aber nicht thematisiert. Eine Ausnahme in dieser Hinsicht war der Philosoph Charles Fourier. Er ist heute vor allem wegen seiner feministischen Ansichten und der Forderung nach einem bedingungslosen Grundeinkommen bekannt.¹⁸ Fourier sprach bereits 1808 an, dass die industrielle Produktion die Umwelt zerstört, Wälder vernichtet, Quellen verunreinigt und das Klima verschlechtert.¹⁹ Gehört wurde Fourier nicht. Er galt als „Utopist“, „Spinner“ oder „Irrer“.²⁰ Fortschrittskritische Stimmen mehrten sich erst in der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts, als zunehmend die „Verschandelung von Stadt und Land, der Verlust traditioneller Werte“ und das zunehmende Gefühl einer „Entwurzelung“ der Menschen beklagt wurden.²¹

In dieser Zeit meldeten sich auch anerkannte Wissenschaftler zu Wort. John Stuart Mill beispielsweise entwickelte angesichts der wirtschaftlichen Dynamik eine neue ökonomische Theorie. Er war der Ansicht, dass wirtschaftliches Wachstum aufgrund von natürlichen Grenzen nicht ewig andauern kann und erwartete, dass nach einer Wachstumsphase ein stationärer Zustand erreicht wird, in dem weder die Produktions- und Kapitalmenge noch die Bevölkerungszahl weiter zunehmen. Auch andere wie Rudolf Clausius (Zitat 1.2) oder Franz Grashof (Zitat 1.3) wiesen auf die Abhängigkeit des Fortschritts von Ressourcen und auf deren Begrenztheit hin. Clausius kritisierte „den sorglosen Umgang mit der Kohlenenergie“ und nannte regenerative Energiequellen als Alternative.²² Besonders bemerkenswert sind die Äußerungen Grashofs. Auch er erwartete, dass die Kohlevorräte innerhalb historischer Zeiträume verbraucht würden. Seine Alternative war visionär! Grashof schlug vor, elektrischen Strom an den Meeresküsten herzustellen und über Leitungen zu industriellen Standorten im Inland zu transportieren, wo er auch zur Erzeugung von Wärme verwendet werden sollte. Grashof hat damit gedanklich nicht weniger als das vorweg genommen, was wir heute „Energie-wende“ nennen.

¹⁸ Precht 2018, 118 ff.

¹⁹ Saage 1999, S. 71; Precht 2018, S. 123.

²⁰ Saage 1999, S. 68; Precht 2018, S. 125.

²¹ Bachmann 2012; Perret 2014.

²² Hellige 1994, 294 f.

Zitat 1.2: Rudolf Clausius (1822–1888)



„Wir haben gefunden, dass unter der Erde Kohlenvorräthe aus alten Zeiten liegen, [...]. Diese verbrauchen wir nun, und verhalten uns dabei ganz wie lachende Erben, welche eine reiche Hinterlassenschaft verzehren. [...] Wenn dieser Vorrath verbraucht sein wird, so wird kein Mittel einer noch so vorgerückten Wissenschaft im Stande sein, eine weitere Energiequelle zu eröffnen, sondern die Menschen werden dann darauf angewiesen sein, sich mit der Energie zu behelfen, welche die Sonne ihnen im Verlaufe der ferneren Zeit noch fortwährend durch ihre Strahlen liefert. [...] Während das letztverflossene Jahrhundert sich dadurch ausgezeichnet hat, dass durch Erfindung oder Vervollkommnung von Maschinen [...] die Kraftquellen der Natur in einer früher nie geahnten Weise dem Menschen dienstbar gemacht sind, werden die folgenden Jahrhunderte die Aufgabe haben, in dem Verbrauch dessen, was uns an Kraftquellen in der Natur geboten ist, eine weise Ökonomie einzuführen, und besonders dasjenige, was wir als Hinterlassenschaft früherer Zeitepochen im Erdboden vorfinden, und was durch nichts wieder ersetzt werden kann, nicht verschwenderisch zu verschleudern.“²³

Zitat 1.3: Franz Grashof (1826–1893)



„Beschränken wir uns auf die Betrachtung einer näher liegenden Zukunft, einer Zeit, in der die Kohlenflötze [...] insoweit abgebaut sein mögen, [...] d. h. einer Zeit, deren Entfernung durchaus nicht etwa mit kosmischem, sondern mit historisch irdischem Zeitmaßstabe zu messen ist. [...] Die Aufgabe vortheilhafter Gewinnung von gewerblicher Betriebsarbeit aus dem Arbeitsvermögen der Meeresfluthen wird deshalb wesentlich Hand in Hand gehen müssen mit einer anderen: mit der Aufgabe, dieses Arbeitsvermögen auf vortheilhafte Weise viele Meilen weit in das Innere des Landes fortzuleiten. [...] ohne Zweifel kann Arbeitsvermögen auf solche Entfernungen als elektrischer Strom geleitet werden in hinlänglich dicken isolirten metallenen Leitungen, und es ist wohl denkbar, [...] den elektrischen Strom in ausgedehnterem Maße als Uebergangsform zu verwenden. Durch Maschinen, die im Princip schon heute bekannt sind und die nur constructiv dem technischen Bedürfniß entsprechend auszubilden wären, kann an der Küste das durch hydraulische Kraftmaschinen stetig gewonnene und durch sogenannte Accumulatoren aufgespeicherte Arbeitsvermögen daselbst in einen elektrischen Strom verwandelt, und [...] an den einzelnen Verbrauchsorten im Binnenlande wieder in Arbeit umgesetzt werden.“²⁴

²³ Clausius 1885, S. 21–22.

²⁴ Grashof 1877, 33 ff.

Sowohl Clausius als auch Grashof hatten Wichtiges in den Wissenschaften geleistet, Clausius als Mitbegründer der Thermodynamik und Entdecker des 2. Hauptsatzes und Grashof als Gründungsdirektor des Vereins Deutscher Ingenieure (VDI). Obwohl sie, anders als Fourier, gesellschaftlich anerkannt waren und ihre Warnungen physikalisch nachvollziehbar begründeten, konnten auch sie der Dynamik aus ökonomischer und technischer Entwicklung nichts entgegensetzen. Der Ressourcenverbrauch ging in der Folge nicht zurück, sondern nahm im Gegenteil bis heute zu. Besonders entscheidend bei dieser Entwicklung war die Hochkonjunkturphase nach dem 2. Weltkrieg, als neue technische Geräte wie Elektrohaushaltsgeräte, Radios, Fernseher und Autos zu Alltagsgegenständen wurden. Zumindest in der westlichen Welt gelangten in dieser Zeit viele Menschen zu materiellem Wohlstand.²⁵ Diese historische Phase wird heute rückblickend als „große Beschleunigung“ („Great Acceleration“) bezeichnet, weil sie mit einer „in der Geschichte beispiellose[n] Zunahme von menschlicher Aktivität“ verbunden ist,²⁶ die sich in einer wachsenden Weltbevölkerung, großflächigen Bodenversiegelungen, einer Intensivierung der Landwirtschaft, dem Entstehen von Megastädten, einer ökonomischen Globalisierung und der Entwicklung einer Konsumgesellschaft zeigte.²⁷

Zusammengefasst ist diese Entwicklung u. a. in einem Artikel von Steffen et al.²⁸, auf den wir uns mit Abb. 1.3 und 1.4 beziehen. Beide Abbildungen zeigen „Megatrends“, die alle etwa ab dem Ende des 2. Weltkrieges ein starkes Wachstum zeigen.²⁹ Der Anstieg der Kohlendioxidkonzentration in der Atmosphäre ist beispielsweise zum größten Teil erst nach 1945 erfolgt. Gleichzeitig hat auch das Aussterben von Arten zugenommen.³⁰ Das Ausmaß der Veränderungen wird deutlich, wenn wir uns vergegenwärtigen, dass der aktuelle jährliche Verbrauch von Erdöl und Erdgas dem globalen Kohlenstoffumsatz von mehreren Hunderttausend Jahren Planktonpopulation entspricht.³¹ Einen Überblick über die Dimension der globalen Veränderungen, die auf menschliche Aktivitäten zurückgehen, gibt u. a. ein Artikel mit dem Titel „The Anthropocene Biosphere“ von Williams et al.³² Dessen Autoren schreiben, dass nur etwa ein Drittel des eisfreien Landes auf der Erde noch als Wildnis bezeichnet werden kann und dass, auf die Masse bezogen, der größte Teil der Wirbeltiere heute Nutztiere sind.

²⁵ Perret 2014.

²⁶ BpB 2022.

²⁷ Gebhardt 2016.

²⁸ Steffen et al. 2015.

²⁹ Steffen et al. 2015; International Geosphere-Biosphere Programme 2015.

³⁰ Zalasiewicz 2017.

³¹ Steininger 2017.

³² Williams et al. 2015.

Socio-economic trends

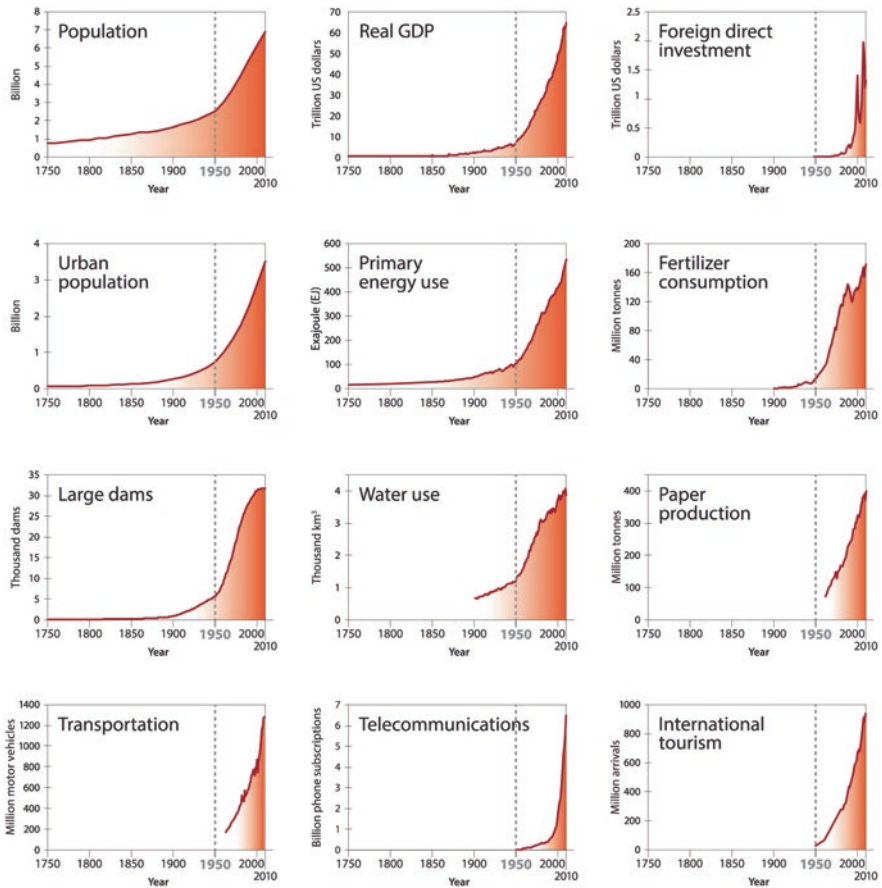


Abb. 1.3 „The Great Acceleration“ – Trends sozioökonomischer Parameter. (Bildzitat: Steffen et al. S. 84)

1.3 Die Umweltbewegung

Im Laufe des 20. Jahrhunderts hat sich die Einstellung zur Technik verändert. Immer mehr Menschen stellten die Fortschrittsvision des 18. und 19. Jahrhunderts, mit Wissenschaft und Technik die Natur zu beherrschen, infrage. Die Bewertung von Technik wurde, auch wenn dies zunächst keine praktischen Auswirkungen

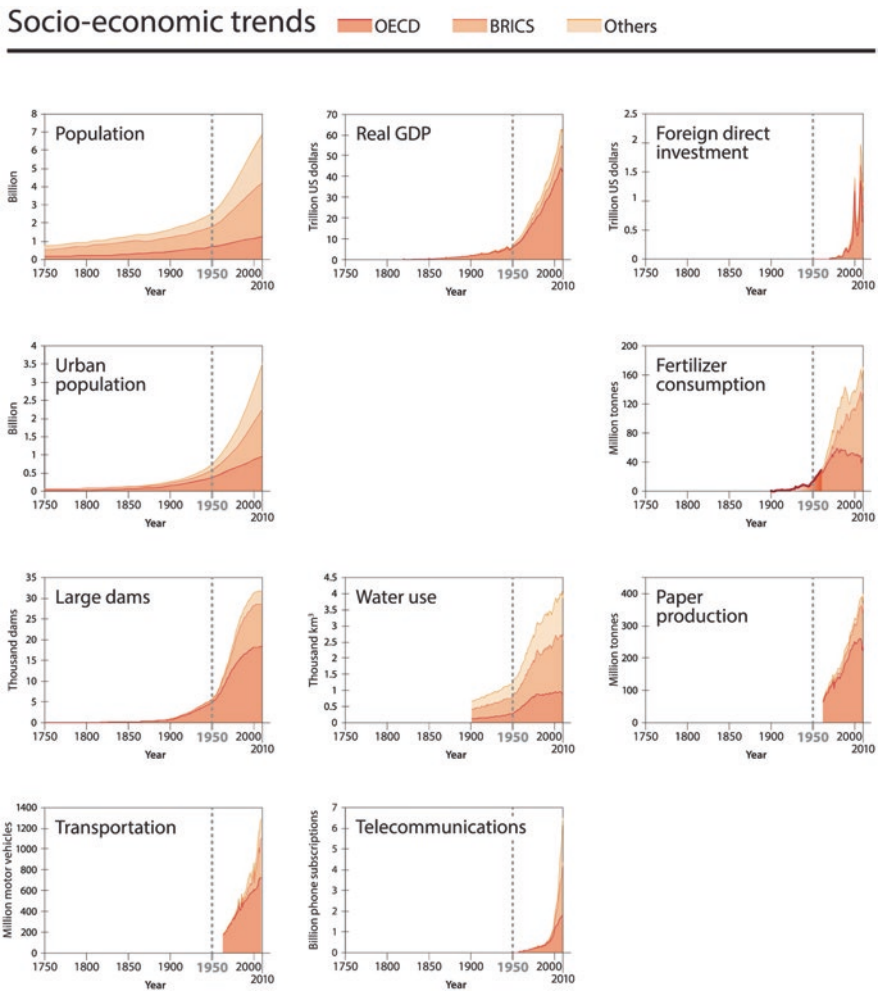


Abb. 1.4 „The Great Acceleration“ – Trends bei Parametern des Erdsystems. (Bildzitat: Steffen et al. 2015, S. 87)

hatte, ambivalenter.³³ Einerseits sorgte die technisch-ökonomische Entwicklung für Sicherheit und Wohlstand, andererseits war es aber genau diese Dynamik, die wachsende Risiken und Gefahren mit sich brachte. Der Wohlstand wurde, wie der Soziologe Ulrich Beck in seinem Buch „Risikogesellschaft“ schrieb, mithilfe von Risikotechnologien, wie der Atomkraft, „erkaufte“.³⁴ Als es 1986, dem Jahr, in dem

³³ Bühler 2016, 17 ff.; Becker 2013.

³⁴ Beck 2016.

sein Buch erschien, zur Kernschmelze in Tschernobyl kam, schien Becks Analyse bestätigt.

Im 20. Jahrhundert hatten nicht zuletzt die beiden Weltkriege gezeigt, welche Zerstörungen mit technischen Waffensystemen angerichtet werden können. Spätestens ab 1945, nachdem die japanischen Städte Hiroshima und Nagasaki durch Atombomben zerstört wurden, war klar, dass Technik das Leben nicht nur besser machen kann, sondern dass Menschen mit ihrer Hilfe sowohl ihr eigenes Leben als auch das ihrer Mitmenschen und das anderer Lebewesen vollständig vernichten können.³⁵ Welche Ambivalenz in Technik steckt, wird durch die Raketentechnik deutlich. Sie wurde im 2. Weltkrieg als Waffensystem entwickelt. Heute ist sie sowohl Grundlage einer militärischen atomaren Bedrohung als auch das Mittel, das Raumfahrt erst möglich macht.

Zu der atomaren Bedrohung im „Kalten Krieg“ kam hinzu, dass immer weniger ignoriert werden konnte, dass der wirtschaftliche Aufschwung der Nachkriegsjahre mit einem gigantischen Ressourcenverbrauch verbunden war. Er schädigte die Umwelt und gefährdete die Gesundheit. Auf die Frage, ab wann Umweltprobleme gesellschaftlich wahrgenommen wurden und wann sich ein fortschritts-optimistischer Zeitgeist in ein eher fortschrittsskeptisches Denken wandelte, nennen manche Publikationen³⁶ das 1962 erschienene Buch „Silent Spring“³⁷, in dem sich die Biologin Rachel Carson gegen den Einsatz von Pestiziden aussprach. 1968 erschien dann das Buch „Population Bomb“. Der Autor des Buches, der Biologe Paul Ehrlich, erwartete schon für die 1970er-Jahre gravierende Hungersnöte, deren Ursache er in der wachsenden Weltbevölkerung sah.³⁸

Umweltthemen spielten in der gesellschaftlichen Wahrnehmung der 1960er-Jahre jedoch noch keine große Rolle. Das Interesse der Menschen lag häufig anderswo. Meistens wird deshalb als Wendepunkt nicht das Erscheinen von Carsons Buch, sondern die Zeit um das Jahr 1970 genannt.³⁹ In diese fielen die Gründung der Umweltorganisation Greenpeace (1971)⁴⁰ und die Veröffentlichung der berühmten Studie des Club of Rome über „Die Grenzen des Wachstums“ (1972)⁴¹. In ihr wurden die Folgen eines exponentiell steigenden Bevölkerungswachstums und Ressourcenverbrauchs untersucht. Die Botschaft der Studie war, dass auf einem Planeten mit endlichen Ressourcen grenzenloses Bevölkerungswachstum und Wirtschaftswachstum nicht möglich sind. Wie abhängig wir von bestimmten Rohstoffen sind, wurde 1973 auch durch die „Ölkrise“ deutlich, als, verursacht durch einen drastischen Preisanstieg, Rohöl vorübergehend weniger verfügbar war. In

³⁵ Perret 2014.

³⁶ Z. B. Sillanpää und Neibi 2019, S. 2.

³⁷ Carson 1962.

³⁸ Ehrlich 1968.

³⁹ Bühler 2016, 17 ff.

⁴⁰ Bühler 2016, S. 17.

⁴¹ Meadows et al. 1972.

der Folge formierte sich die „Umweltbewegung“. Sie bestand aus ökologisch motivierten, politischen Strömungen, die sich u. a. gegen die Nutzung der Atomkraft, neue Autobahnen und Flughafenausbauten richteten und später zur Gründung „grüner“ Parteien führten. Innerhalb der Umweltbewegung wurde die Einstellung zum technischen Fortschritt kritischer und die Erwartungen an die Zukunft pessimistischer.⁴² Diese Haltung war jedoch durchaus widersprüchlich, da trotz zunehmender Technikkritik erwartet wurde, dass Umweltprobleme durch technischen Fortschritt und umwelttechnische Verfahren gelöst werden.⁴³

Der Stimmungswandel spiegelt sich auch in Science-Fiction-Filmen. Während die Star-Trek-Serie noch optimistisch in die Zukunft blickte, zeigten andere Filme und Serien zunehmend dystopische Zukunftsvisionen. Früher war also auch die Zukunft besser! Ein Beispiel ist der Film „Soylent Green“ (1973), der für das Jahr 2022 ein Szenario schildert, in dem die natürlichen Lebensgrundlagen fast vollständig zerstört sind und Menschen mit künstlich hergestellten Lebensmitteln versorgt werden. Eines dieser Lebensmittel, Soylent Green, wird angeblich aus Plankton hergestellt. Im Film stellt sich dann jedoch heraus, dass es bereits nicht mehr genügend Plankton gibt und Soylent Green stattdessen aus menschlichen Körpern hergestellt wird. Ein aktuelleres zukunfts pessimistisches Beispiel von 1999 ist der Film „Matrix“. In diesem haben Maschinen die Weltherrschaft übernommen, und Menschen werden von ihnen in riesigen Zuchtanlagen gehalten und dort als lebende Energiequellen benutzt. Ihre Gehirne sind dabei an eine komplexe Computersimulation, die Matrix, angeschlossen, die sie für das echte Leben halten. Was für ein Perspektivenwechsel: Auf der Enterprise befreite Technik die Menschen noch, durch die Matrix verklavt sie sie.⁴⁵

Dass der Blick auf die Zukunft zunehmend pessimistischer wurde, obwohl sich das „technologische Wunder“ der Mondlandung ereignete, ist bemerkenswert. Eigentlich passt das nicht zusammen: Technikskeptizismus entwickelt sich angesichts eines größtmöglichen technischen Erfolges. Was jedoch zunächst widersprüchlich klingt, lässt sich erklären, wenn wir berücksichtigen, dass die Bilder und Ergebnisse der Weltraummissionen nicht nur aus einer Perspektive wahrgenommen werden können. Auf der einen Seite lässt sich mit den Bildern der Mondflüge, wie das bei Star Trek geschieht, ein grandioses Zukunftsversprechen verbinden, das die Menschen über die Grenzen ihres Planeten hinausführen wird. Auf der anderen Seite waren es aber dieselben Bilder, die zeigten, dass außerhalb dieser Grenzen die unwirtliche und lebensfeindliche Welt des Alls nicht gerade auf uns wartet. Als besonders eindrucksvoll erwies sich dabei der Blick auf die Erde selbst (Abb. 1.5). Erstmals war es möglich, sie von außen, in all ihrer Schönheit, Verletzlichkeit und Einzigartigkeit zu betrachten. Die Bilder zeigen einen Körper, der isoliert, inmitten einer endlos scheinenden, schwarzen Leere schwebt, was den

⁴² Loske 2015, 23 ff.

⁴³ Perret 2014, Loske 2015b, S. 58.

⁴⁵ Giammarco 2016.

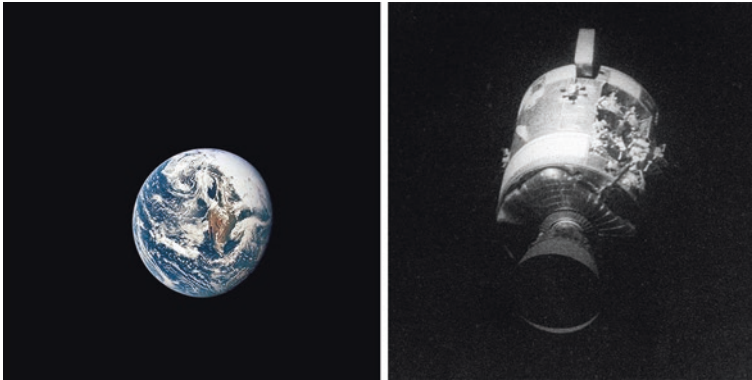


Abb. 1.5 Zwei „Raumschiffe“ im All: Links die Erde aus einer Entfernung von etwa 66.000 km und rechts das nach einer Explosion beschädigte Raumschiff Apollo 13. (Bildquelle: NASA AS 10-34-5013/ AS 13-598500)⁴⁴

Vergleich mit einem Raumschiff nahelegt, das in den Weiten des Alls auf sich gestellt ist. Das Überleben der gesamten „Besatzung“ dieses „Raumschiffs Erde“ hängt dann in dieser Analogie vom „Funktionieren“ der lebenserhaltenden Ökosysteme ab.

Die Raumschiffmetapher entwickelte sich zu einem wichtigen Leitmotiv der Umweltbewegung. Sie wurde sowohl von dem Ökonomen Kenneth Boulding als auch von dem Designer und Schriftsteller Richard Buckminster-Fuller verwendet, um die Ganzheit und Geschlossenheit der Erde zu illustrieren (Zitat 1.4).⁴⁶ Bouldings systemische, aus der Raumschiffmetapher abgeleitete Überlegungen und seine Vision von einer „Spaceman-Economy“ gelten heute als Ursprung der Circular Economy.

Zitat 1.4: Kenneth Boulding (1910–1993)



„The closed economy of the future might similarly be called the ‚spaceman‘ economy, in which the earth has become a single spaceship, without unlimited reservoirs of anything, either for extraction or for pollution, and in which, therefore, man must find his place in a cyclical ecological system which is capable of continuous reproduction of material form even though it cannot escape having inputs of energy.“⁴⁷

⁴⁴Nebeneinanderstellung zweier unabhängiger Bilder.

⁴⁶Boulding 1966; Fuller 1969.

⁴⁷Boulding 1966, S. 7–8.

Die ökologischen Grundlagen, von denen die Funktionen des „Erdraumschiffs“ und die Existenz seiner „Besatzung“ abhängen, sind heute insbesondere durch den menschengemachten Klimawandel bedroht. Er geht auf Kohlendioxid- und Methanemissionen zurück, die eine Erwärmung der unteren Atmosphärenschichten verursachen. Der dahinterstehende physikalische Zusammenhang ist seit etwa 200 Jahren, durch die Entdeckung Joseph Fouriers im Jahr 1824, als „Treibhauseffekt“ bekannt. Svante Arrhenius berechnete auf dieser Grundlage bereits 1896, dass eine Verdopplung der atmosphärischen Kohlendioxidkonzentration zu einer Erhöhung der mittleren globalen Temperatur um vier bis sechs Grad Celsius führen würde. Eine globale Temperaturzunahme wurde 1938 auch von Guy Stewart Callendar und 1941 von Hermann Flohn prognostiziert.⁴⁸

Politische Aufmerksamkeit erhielt der Klimawandel erstmals 1965. In einem an den US-Präsidenten gerichteten Bericht prognostizierte ein wissenschaftliches Beratergremium, dass die atmosphärische Kohlendioxidkonzentration weiter zunehmen würde, wodurch eine Störung des Wärmehaushalts der Atmosphäre zu erwarten wäre, die im 21. Jahrhundert eine Veränderung des globalen Klimas verursachen könne.⁴⁹ In den 1970er-Jahren gingen Klimamodelle bereits von einer Erhöhung der mittleren globalen Temperatur um zwei bis drei Grad bis zum Jahr 2050 aus.⁵⁰

Rückblickend auf diese Zeit lässt sich sagen, dass die wissenschaftlichen Prognosen, die einen bedrohlichen Klimawandel voraussagten, zwar bekannt waren, gesellschaftliche und politische Konsequenzen aber ausblieben. Viele Menschen glaubten den noch nicht absolut sicheren Vorhersagen nicht. Den Prognosen wurde entgegengehalten, dass man ja nicht wissen könne, ob die Modelle der Klimaforschung stimmen. „Vielleicht kommt alles ja ganz anders“, „Die Natur wird das schon aushalten und regeln“ und „Die Wirtschaft muss Vorrang haben“ waren Argumente, die in diesem Zusammenhang oft zu hören waren.⁵¹ Sie verhinderten lange eine ernsthafte gesellschaftliche Auseinandersetzung mit dem Klimawandel.

Heute wissen wir es besser. Wir wissen, dass unsere Art zu leben, unsere Wirtschaftsweise und die Technologien, die wir einsetzen, das Klima derart verändern, dass die Lebensgrundlagen von Menschen und anderen Lebewesen bedroht sind. Wir wissen auch, dass wir weniger Ressourcen in Emissionen und Abfälle verwandeln dürfen als bisher. Können wir aber einfach damit aufhören, industriell zu wirtschaften? Sollen wir etwa unsere kulturellen Errungenschaften mitsamt unserem Wohlstand aufgeben und stattdessen ein Leben in der Natur führen? Gibt es ein „Zurück zur Natur“?

⁴⁸ Mäder 2009, S. 4.

⁴⁹ Revelle et.al. 1965.

⁵⁰ Boeing 2019.

⁵¹ Erinnernte Wiedergabe von einem der beiden Autoren dieses Buches.



Abb. 1.6 Jean-Jacques Rousseau meditiert im Park von La Rochecordon bei Lyon. Alexandre Hyacinthe Dunouy (1770), Museum Marmottan Monet, Paris, The Picture Art Collection. (Bildquelle: Alamy Stock Photo)

1.4 Zurück zur Natur?

Die Redewendung „Zurück zur Natur“ wird in Zitatensammlungen dem Philosophen und Schriftsteller Jean-Jacques Rousseau zugeschrieben.⁵² Fälschlicherweise, denn er hat sie wörtlich wohl so nie ausgesprochen.⁵³ Richtig ist jedoch, dass Rousseau, der im Umgang mit Menschen eher als schwieriger Zeitgenosse galt, das Naturerlebnis suchte. Wie er selbst schrieb, liebte er es, sich auf einsamen Spaziergängen an einen „wilden Ort im Wald“ zurückzuziehen, wo ihn „nichts an die Hand des Menschen erinnerte“. Ihn trieb die „Sehnsucht“ nach der Natur.⁵⁴ Abb. 1.6 zeigt ihn während einer Rast auf einem seiner Spaziergänge. Rousseau sitzt dort, allerdings nicht in einer unberührten Natur, sondern in einer Parklandschaft.⁵⁵

Rousseaus Naturphilosophie stößt bis heute auf wenig Zustimmung. Er gilt, um den Philosophen Gregor Schiemann zu zitieren, auf den wir uns auch im Folgen-

⁵² gute zitate 2022.

⁵³ Benz 2014.

⁵⁴ Helferich und Lang 2012, S. 215.

⁵⁵ Parc de la Rochecordon, in der Nähe von Lyon.

den beziehen, als derjenige, der die „wahnwitzige Idee“ hatte, die Welt durch eine Rückkehr in den Naturzustand zu verbessern.⁵⁶ Ein Leben ohne Technik können wir uns heute nicht mehr vorstellen. Technik ermöglicht es, dass wir im Winter nicht frieren, in der Lage sind, mit anderen Menschen über große Entfernungen zu kommunizieren, mehr Lebensmittel produzieren, mit Medikamenten, Medizintechnik und Hygienestandards unser Leben verlängern und vieles andere mehr. Ohne den Einsatz von Technologie und Ökonomie wird es nicht möglich sein, die aktuell acht Milliarden Menschen der Weltbevölkerung zu versorgen.

Unserer Ansicht nach kann die Frage nach der Technik weder mit einer radikalen Technikfeindlichkeit noch mit einem blinden Technikoptimismus beantwortet werden. Sie lässt sich nicht in ein simples Schwarz-Weiß-Schema pressen, sondern offenbart ein grundsätzliches Dilemma, das darin besteht, dass wir auf der einen Seite unsere Lebensgrundlagen nicht ohne Wirtschaft und Technik erhalten können, auf der anderen Seite aber gerade die ökonomische Anwendung von Technik auch zur Bedrohung dieser Lebensgrundlagen führt. Da jede Technologie Ressourcen benötigt, lösen neue Technologien das Dilemma nicht auf. Sie helfen uns aber dabei, mit ihm umzugehen und uns in ihm zu bewegen. Gefragt ist bei der Technik kein Entweder-oder, sondern eine Reflexion, die berücksichtigt, was mit einer Technologie erreicht werden soll und welche Auswirkungen sie hat.

Es ist jedoch ein Missverständnis, zu glauben, dass Rousseau in eine ursprüngliche Natur ohne Technik zurückkehren wollte. Wie wir hielt er das für unmöglich.⁵⁷ Rousseau hat zwischen einer „äußeren“ Natur und einem „inneren“ menschlichen Naturzustand unterschieden. Die ursprüngliche äußere Natur war für ihn – er lebte lange vor Darwin – ein ohne menschliches Eingreifen stabiler, sich kaum verändernder Zustand. Rousseau wusste, dass diese ursprüngliche Natur im Frankreich seiner Zeit bereits nicht mehr existierte. Um sie dennoch zu beschreiben, musste gedanklich alles von der Welt abgezogen werden, was auf menschlichen Einfluss zurückgeht. Die innere Natur der Menschen hielt Rousseau – im Gegensatz zur äußeren Natur – grundsätzlich noch für intakt. Menschen waren für ihn von Natur aus gut, Schlechtes schrieb er dem Einfluss der Gesellschaft zu. Die kulturelle, wissenschaftliche und technische Entwicklung sah Rousseau kritisch, weil sie, wie er meinte, Menschen von ihrer ursprünglichen Natur entfremdet. Sein Ziel war es deshalb, die gesellschaftlichen Verhältnisse so zu verändern, dass sich die „gute“ menschliche Natur entwickeln kann.⁵⁸ In seinen 1762 veröffentlichten Roman „Émile oder Über die Erziehung“ schildert Rousseau, wie ein Junge namens Émile, von „negativen kulturellen Einflüssen verschont“, zu einem „selbstbewussten Mann“ heranwächst.⁵⁹ Das Buch löste einen Skandal aus.

⁵⁶ Schieman 2011, S. 67.

⁵⁷ Schieman 2011, 64 ff.

⁵⁸ Schieman 2011, 64 ff.

⁵⁹ Precht 2017, S. 424.

Es wurde in Paris verboten und in Genf öffentlich verbrannt.⁶⁰ Im ersten Abschnitt des Romans gibt uns Rousseau einen Einblick, wie er das Verhältnis zwischen Mensch und Natur bewertet. Sein Befund ist bemerkenswert aktuell und könnte, wenn man einmal von der Ausdrucksweise absieht, auch heute noch so niedergeschrieben sein (Zitat 1.5).

Zitat 1.5: Jean-Jacques Rousseau (1712–1778)



„Alles, was aus den Händen des Schöpfers kommt, ist gut; alles entartet unter den Händen des Menschen. Er zwingt einen Boden, die Erzeugnisse eines anderen zu züchten, einen Baum, die Früchte eines anderen zu tragen. Er vermischt und verwirrt Klima, Elemente und Jahreszeiten. Er verstümmelt seinen Hund, sein Pferd, seinen Sklaven. [...] Nichts will er so, wie es die Natur gemacht hat, nicht einmal den Menschen. Er muss ihn dressieren wie ein Zirkuspferd. Er muss ihn seiner Methode anpassen und umbiegen wie einen Baum in seinem Garten.“⁶¹

Rousseau schreibt, dass Menschen eine an sich „gute“ Natur gewaltsam zum schlechteren hin umwandeln. Mit seinen Worten gesprochen, „entarten“ Menschen die Natur, ordnen sie ihren Zwecken unter, „verwirren“ das Klima und machen vor ihrer eigenen Natur nicht halt. Sie domestizieren sich gewissermaßen selbst! Wie wir mit der Natur, anderen Menschen und uns selbst umgehen, hängt für Rousseau zusammen. Die Gewinnung von Metallerzen im Kongo oder die Verhältnisse an deutschen Schlachthöfen zeigen, dass er damit grundsätzlich nicht falsch liegt.⁶² Die Ausbeutung von Natur geht oft mit der von Menschen einher. Eine Fortschrittsidee darf deshalb das Wohl von Natur und Menschen nicht gegeneinander ausspielen. Gefragt sind „nachhaltige“ Handlungsprinzipien, die beide Aspekte berücksichtigen. Diese verfolgen das Ziel, ökologische, ökonomische und soziale Systeme in ihrer Funktionsfähigkeit zu erhalten.⁶³

1.5 Nachhaltigkeitsstrategien

Die Ursprünge des Nachhaltigkeitsgedankens liegen in der Forstwirtschaft des 18. Jahrhunderts. Weil die zu dieser Zeit intensive Nachfrage nach Holz die Entwaldung großer Flächen zur Folge hatte, forderte der sächsische Beamte Hans Carl von Carlowitz in seinem 1713 verfassten Werk „Sylvicultura oeconomica“

⁶⁰Tenorth 2006.

⁶¹Rousseau 2019, S. 11.

⁶²Polke-Majewski und Faigle 2014; zeit-online 2014.

⁶³Lexikon der Nachhaltigkeit 2015c.

eine „nachhaltende“ Waldnutzung. Das hieß, es sollte nur so viel Holz geschlagen werden, wie wieder nachwächst.⁶⁴ Heute wird der Begriff Nachhaltigkeit unterschiedlich ausgelegt. Die bekannteste Definition wurde 1987 durch eine von der damaligen norwegischen Ministerpräsidentin Gro Harlem Brundtland geleitete UN-Kommission für Umwelt und Entwicklung formuliert. Im Vordergrund steht hier der Aspekt der Generationengerechtigkeit. Lebensbedürfnisse heute lebender Menschen, so die „Brundtland-Kommission“, sollten nur so befriedigt werden, dass nachfolgende Generationen die ihrigen auch noch decken können.⁶⁵ Um das allgemeine Ziel einer nachhaltigen Entwicklung zu konkretisieren, wurden 2015 von der Generalversammlung der Vereinten Nationen (UN) 17 Ziele verabschiedet. Die „Sustainable Development Goals (SDG)“ adressieren Themen, die nach Meinung der Mitgliedsstaaten für eine nachhaltige Entwicklung wichtig sind. Sie berücksichtigen ökonomische, soziale und ökologische Aspekte.⁶⁶

Insgesamt lassen sich im Nachhaltigkeitsdiskurs mit einer „starken“ und „schwachen“ Nachhaltigkeit zwei Grundpositionen unterscheiden. Die Konzepte, die als starke Nachhaltigkeit zusammengefasst werden, betrachten ökologische Grenzen als limitierende Faktoren für die ökonomische und soziale Entwicklung. Während es bei der starken Nachhaltigkeit also ein ökologisches Primat gibt, soll in den Konzepten, die der schwachen Nachhaltigkeit zugerechnet werden, ein Interessensausgleich zwischen sozialen, ökonomischen und ökologischen Zielen hergestellt werden. Üblicherweise wird bei Nachhaltigkeitsstrategien zwischen Effizienz-, Konsistenz- und Suffizienzstrategien differenziert. Wir orientieren uns im Folgenden an einer Gliederung von Reinhard Loske, der zusätzlich noch auch zwischen „Subsistenz-“ und „Kooperationsstrategien“ unterscheidet.⁶⁷

Effizienzstrategien⁶⁸

Effizienzstrategien bauen hauptsächlich auf technischen Innovationen auf. Weil sie sich im Vergleich zu anderen am besten mit dem aktuellen Wirtschaftssystem vereinbaren lassen, haben sie die größte Verbreitung. Sie sind deshalb so populär, weil eine Verbesserung der Energie- und Ressourceneffizienz nicht nur die Natur schont und das Klima schützt, sondern zusätzlich auch Kosten senkt, zur Versorgungssicherheit beiträgt und Innovationen mit sich bringen kann. Zu den Effizienzstrategien gehören beispielsweise die energetische Gebäudesanierung, die Senkung des Kraftstoffverbrauchs bei Kraftfahrzeugen, energetische Optimierungen in der Industrie sowie neue Produkte, für deren Herstellung weniger Material und Energie als vorher verbraucht wird. Ob tatsächlich ökonomische Vorteile mit Effizienzsteigerungen verbunden sind und wie groß diese sind, hängt von den

⁶⁴Lexikon der Nachhaltigkeit 2015a.

⁶⁵Loske 2015a, 95 ff.

⁶⁶United Nations (UN) 2022.

⁶⁷Loske 2015, 101 ff.

⁶⁸Loske 2015, 101 ff.

Energie- und Ressourcenpreisen ab. Niedrige Preise setzen nur geringe Anreize zur Effizienzverbesserung.

Ein weiteres Problem in diesem Zusammenhang kann der „Rebound-Effekt“ sein. Er bezeichnet die zunächst paradox scheinende Beobachtung, dass Effizienzsteigerungen den Ressourcen- und Energieverbrauch ggf. nicht verringern, sondern sogar zu einem größeren Verbrauch führen können. Dies ist dann der Fall, wenn der Effizienzgewinn niedrigere Preise zur Folge hat, die einen Anstieg der Nachfrage initiieren. Ein Beispiel ist in Zitat 1.6 wiedergegeben.

Zitat 1.6: Umweltbundesamt (2019)



„Was ist der Rebound-Effekt?

Der nachhaltige Umgang mit Ressourcen erfordert einen effizienten Einsatz von Energie, Rohstoffen und Wasser. Durch die Steigerung der Effizienz können Produkte oder Dienstleistungen mit weniger Ressourcenverbrauch geschaffen werden. Oft sind damit auch Kosteneinsparungen verbunden. Diese haben wiederum Rückwirkungen auf das Kaufverhalten und den Gebrauch der Produkte.

Ein einfaches Beispiel: Wenn Pkw durch Effizienzsteigerungen günstiger werden, dann fällt beim nächsten Kauf die Entscheidung eventuell zugunsten des größeren Modells aus. Ein sparsamer Pkw verursacht geringere Treibstoffkosten pro gefahrenem Kilometer. Das wirkt sich zumeist auf das Fahrverhalten aus: Wege werden häufiger mit dem Pkw zurückgelegt, längere Strecken gefahren und öffentliche Verkehrsmittel oder das Fahrrad dafür weniger genutzt. So kommt es, dass die technisch möglichen Effizienzgewinne in der Praxis häufig nicht erreicht werden, weil das Produkt häufiger oder intensiver genutzt wird.

Neben der unmittelbaren Veränderung bei der Nutzung des betreffenden Produkts (direkter Rebound) sind weitere umweltrelevante Änderungen des Nachfrageverhaltens möglich. In dem Beispiel bedeutet das, dass das beim Pkw eingesparte Geld zum Beispiel für Flugreisen ausgegeben werden könnte (indirekter Rebound) und auf diese Weise ein Teil der Energieeinsparung kompensiert wird.“⁶⁹

Konsistenz- bzw. Substitutionsstrategien⁷⁰

Wie Effizienzstrategien sind auch Substitutionsstrategien hauptsächlich technologieorientiert. Es geht darum, technische Abläufe so zu organisieren, dass Natur möglichst wenig in Mitleidenschaft gezogen wird. Sie werden deshalb auch als „ökoeffektive“ Strategien bezeichnet. Es geht darum, nicht erneuerbare Ressourcen und Energiequellen wie Kohle, Öl, Gas und Uran durch erneuerbare wie Sonne, Wind, Wasser, Biomasse und Erdwärme zu ersetzen oder wiederverwertbare Materialien zu verwenden. Während Effizienzstrategien ggf. direkt mit einem

⁶⁹Umweltbundesamt (UBA) 2019.

⁷⁰Loske 2015, 104 ff.; Lexikon der Nachhaltigkeit 2015b.

wirtschaftlichen Vorteil verbunden sind, ist das bei Konsistenz- bzw. Substitutionsstrategien zunächst meist nicht der Fall. Will man in der chemischen Industrie ohne fossilen Kohlenstoff produzieren, müssen etablierte Rohstoffe durch Biomassen oder Kohlendioxid ersetzt werden. Dies erfordert, zumindest zunächst, einen größeren technischen, energetischen und logistischen Aufwand. Politisch gesetzte Rahmenbedingungen sind bei der Umsetzung von Substitutionsstrategien deshalb besonders zu Beginn von Bedeutung, wenn die Kostenvorteile noch zugunsten der etablierten Technologien wirken.

Suffizienzstrategien⁷¹

Suffizienzstrategien haben das Ziel, den Ressourcen- und Energieverbrauch durch Einsparungen zu verringern. Während Effizienz- und Substitutionsstrategien im Wesentlichen eine technologische Tendenz haben, zielen Suffizienzstrategien auf eine Veränderung des Lebensstils. Es sollen weniger Güter und Dienstleistungen konsumiert werden und dennoch oder gerade deshalb ein zufriedenstellendes Leben möglich sein. Letztlich geht es um die Frage, was und wie viel Menschen für ein gutes Leben brauchen. Suffizienzstrategien bauen auf einem Menschenbild auf, das sich wesentlich vom Homo oeconomicus der neoklassischen Ökonomie unterscheidet. Bei Letzterem handelt es sich um die abstrakte Vorstellung eines vernunftgeleiteten Individuums, das seinen eigenen Nutzen maximieren möchte. Suffizienzstrategien gehen dagegen von Menschen aus, die aus ökologischer Einsicht oder sozialer Verantwortung mindestens teilweise auf Konsum verzichten und diesen Verzicht als Befreiung von Überfluss erleben. Diese Sichtweise vertritt die Position, dass ab einem bestimmten materiellen Wohlstandsniveau ein wachsendes Bruttoinlandsprodukt nicht mehr zu einer signifikant größeren Zufriedenheit führt.

Subsistenzstrategien⁷²

Subsistenzwirtschaften sind Wirtschaftssysteme, in denen für den Eigenbedarf und nicht für einen Markt produziert wird. Ihre Elemente Eigenarbeit, Selbstversorgung und nicht kommerzialisierter Tausch gelten, im Vergleich zur „modernen“ Erwerbsarbeit und einer am Markt orientierten Warenproduktion, allerdings oft als rückständig. Subsistentes Verhalten hat jedoch für die meisten Gesellschaften eine tragende und stabilisierende Funktion. Es beinhaltet all die Tätigkeiten, die Menschen sich nicht gegenseitig in Rechnung stellen, wie Kindererziehung, Altenpflege, Nachbarschaftshilfe und ehrenamtliches Engagement. Auch städtische Gemeinschaftsgärten, Reparaturcafés, Tauschringe oder Freiwilligendienste können als Teil einer Subsistenzwirtschaft aufgefasst werden.

⁷¹Loske 2015, 107 ff.

⁷²Loske 2015, 110 ff.

Kooperationsstrategien⁷³

Kooperationsstrategien setzen voraus, dass Menschen nicht nur den eigenen Interessen folgen, sondern ihr wirtschaftliches Handeln auch an gesellschaftlichen Zielen orientieren und mit anderen kooperieren. Zu den kooperativen Wirtschaftsformen, die sich z. T. überlagern, werden gezählt:

Ökonomie des Teilens: In einer Ökonomie des Teilens bzw. einer Sharing Economy sind Dinge wie Räume, Autos, Geräte und Maschinen nicht der persönliche Besitz von Einzelnen. Sie werden gemeinschaftlich genutzt, indem sie geteilt, getauscht, verliehen oder verschenkt werden. Bislang werden die Instrumente der Sharing Economy hauptsächlich von Personen, die sich kennen, angewendet wie Verwandte, Freunde und Nachbarn. Nicht zuletzt durch Möglichkeiten, die digitale Technologien bieten, werden Teile der Sharing Economy zunehmend auch zu Geschäftsfeldern für Unternehmen. Theoretisch müsste in einer Sharing Economy weniger Material für Produkte benötigt werden, da weniger Neues produziert werden muss. Es ist aber nicht auszuschließen, dass es über sinkende Preise zu konsumstimulierenden Prozessen kommt, durch die immer die neuesten Produkte nachgefragt werden.

Ökonomie des regionalen Prosumierens: Der Begriff „Prosumieren“ ist eine Kombination der Wörter Produzieren und Konsumieren. Eine Ökonomie des Prosumierens richtet sich gegen die globale Entflechtung von Produktion und Konsum und möchte beides regional zusammenführen. Es geht darum, die Entfremdung zwischen Produzenten und Konsumenten zu verringern. Energiegenossenschaften und lokal erzeugte Lebensmittel sind Beispiele für solche Tendenzen. Grundsätzlich sollte die regionale Zusammenführung von Konsum und Produktion zu einem geringeren Ressourcenverbrauch führen, da Verkehrs- und Güterströme geringer werden. Möglicherweise wird auch rücksichtsvoller mit lokalen Ressourcen umgegangen, da Umweltprobleme und deren Verursacher mehr Aufmerksamkeit erhalten, als wenn der Umweltschaden Tausende von Kilometern entfernt auftritt. Nachteilig ist, dass nicht alle Standorte gleich geeignet sind, ein bestimmtes Produkt zu produzieren. Die Herstellung bestimmter Güter geht dann ggf. zulasten der Effizienz. Neben dem Aspekt der Ressourcenschonung geht es in der Ökonomie des regionalen Prosumierens auch darum, regionale Handlungsautonomie für Krisensituationen zurückzugewinnen. Die Anfälligkeit einer global organisierten Wirtschaft hat sich nicht zuletzt durch die Unterbrechung globaler Lieferketten während der Corona-Pandemie und durch den russischen Krieg gegen die Ukraine gezeigt.

Ökonomie der Langlebigkeit: Für den größer werden Ressourcenverbrauch werden in der aktuellen Ökonomie unterschiedliche Entwicklungen verantwortlich gemacht. Veränderungen des Geschmacks, Modetrends und der technische Fortschritt tragen beispielsweise dazu bei, dass viele Dinge schon nach einer kurzen Gebrauchszeit als veraltet gelten und durch neue ersetzt werden. Auch die Fähigkeit und Bereitschaft, Gebrauchsgegenstände zu pflegen, zu warten und zu

⁷³Loske 2015, 112 ff.

reparieren, geht zurück. Eine Ökonomie der Langlebigkeit versucht diesen Entwicklungen entgegenzuwirken, beispielsweise durch die Wiederbefähigung zum Reparieren.

Ökonomie der Gemeingüter: In der Ökonomie der Gemeingüter geht es um die Bewirtschaftung von gemeinschaftlichem Eigentum, sogenannte „Allmendegüter“. Zentraler Gedanke ist, dass eine kooperative und regelbasierte Bewirtschaftung von lokalen Ressourcen durch lokale Nutzergemeinschaften nachhaltiger ist als eine rein durch den Markt oder Staat organisierte Bewirtschaftung. Gründe für diese Annahme sind die lokale Orientierung, der Ausschluss von Nichtberechtigten, Eigenverantwortung, Partizipation sowie Regeleinhaltung und -überprüfung durch die Nutzergemeinschaften.

1.6 Zwischen Green Economy und Postwachstumsökonomie

Mittlerweile gibt es eine Reihe ökonomischer Modelle, die das Ziel einer nachhaltigen Entwicklung verfolgen, sich in ihrer Herangehensweise und ihrem Nachhaltigkeitsverständnis aber unterscheiden. Manche sind technologisch, geprägt während andere gegenüber technischen Lösungsansätzen skeptisch eingestellt sind. Sie folgen verschiedenen Nachhaltigkeitsstrategien und lassen sich mal mehr, mal weniger eindeutig den Grundpositionen aus starker und schwacher Nachhaltigkeit zuordnen.

Auf der einen Seite des Spektrums, bei der starken Nachhaltigkeit, finden sich Konzepte, die als „Degrowth“ oder „Postwachstumsökonomien“ bezeichnet werden. Dabei handelt es sich um ökonomische Modelle, die von einem im Vergleich zu heute deutlich reduzierten Konsum ausgehen und das Wachstum des Bruttoinlandsprodukts vermeiden.⁷⁴ Auf der anderen Seite steht die „Green Economy“, die dem Prinzip der schwachen Nachhaltigkeit zuzurechnen ist.⁷⁵ Im Gegensatz zur Postwachstumsökonomie setzt sie weiter auf kontinuierliches Wachstum. Ökologische Vorteile sollen hier nicht durch Zurückhaltung und Verzicht, sondern durch „grüne Technologien“ wie erneuerbare Energien und Biomaterialien erzielt werden. Der Begriff Green Economy stammt aus dem Umweltprogramm der Vereinten Nationen von 2008. Die OECD verwendet stattdessen die Bezeichnung „Green Growth“. „Grünes Wachstum“ definiert sie als eine an Wachstum orientierte wirtschaftliche Entwicklung, die auch am Erhalt der Ressourcen interessiert ist, die zur Aufrechterhaltung des Wohlstands benötigt werden.⁷⁶ Die Green Economy und Postwachstumsökonomie sind dementsprechend unterschiedlichen Nachhaltigkeitsstrategien zuzuordnen. Erstere folgt im Wesentlichen Effizienz- und Substitutions-

⁷⁴ Paech 2009.

⁷⁵ Loske 2015, 95 ff.

⁷⁶ Sillanpää und Ncibi 2019, 14 f.; Fedrigo-Fazio und Brink 2012, 8 f.

strategien, während Postwachstumsökonomien sich an einer Mischung aus Sufizienz-, Subsistenz- und Kooperationsstrategien orientieren (Zitat 1.7).

Zitat 1.7: Reinhard Loske (*1959)



„Auf die Frage, was eine nachhaltige Wirtschaft auszeichnet, geben Protagonisten der Grünen Ökonomie ganz andere Antworten als diejenigen der Postwachstumsökonomie. Während Erstere überwiegend von grünen Märkten, grünen Jobs, grünen Technologien, grünem Wachstum und hohen Innovationspotentialen schwärmen, um so an die politischen Hauptdiskurse anschlussfähig zu werden, sprechen Letztere eher von Dematerialisierung, Entschleunigung, Entrümpelung, Produktlanglebigkeit und einer Kultur des Teilens und Tauschens, Leihens und Schenkens, Reparierens und Kooperierens. Die Frage ist nun, ob sich Grüne Ökonomie und Postwachstumsökonomie ausschließen oder doch ergänzen und wechselseitig befruchten können.“⁷⁷

Zu den ökonomischen Modellen, die zu einer nachhaltigen Entwicklung beitragen sollen, indem sie den Ressourcenverbrauch reduzieren, Wirtschaftswachstum ermöglichen und Wettbewerbsfähigkeit sichern, gehören auch, wie Zitat 1.8 und 1.9 zeigen, die Konzepte, um die es in diesem Buch geht: die Bioökonomie und Circular Economy. Im folgenden Kap. 2 gehen wir näher auf sie ein. Wir beschreiben, welche Teilkonzepte ihnen zugeordnet werden, wie sie sich entwickelt haben, welcher Nachhaltigkeitsstrategie sie folgen und wie in jüngerer Zeit versucht wird, sie zu einer „zirkulären Bioökonomie“ zusammenzuführen.

Zitat 1.8: Europäische Kommission (2020)



„Die Ausweitung der Kreislaufwirtschaft [...] wird entscheidend dazu beitragen, bis 2050 Klimaneutralität zu erreichen, das Wirtschaftswachstum von der Ressourcennutzung zu entkoppeln und zugleich die langfristige Wettbewerbsfähigkeit der EU zu sichern und niemanden zurückzulassen.“⁷⁸

Zitat 1.9: Bioökonomierat (2022)



„Bei nachhaltiger Nutzung der biologischen Grundlagen kann die Bioökonomie ein fundamentaler Bestandteil und Treiber einer nachhaltigen Entwicklung sein und damit zum Erreichen der globalen Nachhaltigkeitsziele der Vereinten Nationen und der Klimaschutzziele von Paris signifikant beitragen.“⁷⁹

⁷⁷ Loske 2015, S. 99.

⁷⁸ Europäische Union 2020, S. 4.

⁷⁹ Bioökonomierat 2022, S. 4.

Open Access Dieses Kapitel wird unter der Creative Commons Namensnennung 4.0 International Lizenz (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.de>) veröffentlicht, welche die Nutzung, Vervielfältigung, Bearbeitung, Verbreitung und Wiedergabe in jeglichem Medium und Format erlaubt, sofern Sie den/die ursprünglichen Autor(en) und die Quelle ordnungsgemäß nennen, einen Link zur Creative Commons Lizenz beifügen und angeben, ob Änderungen vorgenommen wurden.

Die in diesem Kapitel enthaltenen Bilder und sonstiges Drittmaterial unterliegen ebenfalls der genannten Creative Commons Lizenz, sofern sich aus der Abbildungslegende nichts anderes ergibt. Sofern das betreffende Material nicht unter der genannten Creative Commons Lizenz steht und die betreffende Handlung nicht nach gesetzlichen Vorschriften erlaubt ist, ist für die oben aufgeführten Weiterverwendungen des Materials die Einwilligung des jeweiligen Rechteinhabers einzuholen.



Mit dem Begriff Circular Economy werden systemisch angelegte Konzepte zusammengefasst, die den Ressourcenverbrauch durch die Wiederverwendung und Aufbereitung von Produkten und Materialien verringern sollen. Historisch betrachtet sind ihre Methoden ein Merkmal von Volkswirtschaften, die keinen ausreichenden Zugang zu Rohstoffen hatten. Anders als ihre Vorläufer, haben moderne Circular-Economy-Konzepte in der Regel jedoch auch eine ökologische Perspektive. Ihre Entwicklung fiel mit der Zunahme des Umweltbewusstseins und dem Entstehen der Ökologischen Ökonomie zusammen, einer wirtschaftswissenschaftlichen Disziplin, die von einem stofflich geschlossenen Erdsystem ausgeht, das nur über begrenzte Ressourcen verfügt. Manche Konzepte der Circular Economy beziehen sich ausdrücklich auf sie.

Für die Ökologische Ökonomie ist als Pseudonym noch ein weiterer Begriff in Gebrauch. Sie wurde, vor allem in den 1970er- und 80er-Jahren, auch als „Bioökonomie“ bezeichnet. Diese Bedeutung des Begriffs Bioökonomie, die wir hier ihre klassische Variante nennen, steht mit dem, was heute darunter zusammengefasst wird, in keinem direkten Zusammenhang. Die modernen Varianten der Bioökonomie haben sich unabhängig von ihrer klassischen Vorgängerin entwickelt. Sie standen zunächst für die Vision einer biotechnisch ausgerichteten Wirtschaft und wurden später um das Ziel ergänzt, fossile Rohstoffe durch nachwachsende zu ersetzen. Den Entwicklungswegen der Bioökonomie und Circular Economy gehen wir in diesem Kapitel nach.

2.1 Die Entwicklung der Circular Economy und Bioökonomie

Zu den Wirtschaftsformen, die im Rahmen von Nachhaltigkeitsstrategien diskutiert und als Alternativen zur aktuellen Wirtschaft behandelt werden, gehören auch die Circular Economy und Bioökonomie. Beides sind Sammelbegriffe, die

unter ihrem Dach eine Reihe im Detail unterschiedlicher Konzepte vereinen. Während der Begriff Circular Economy Konzepte zusammenfasst, die Produkte, Materialien und Stoffe in Kreisläufen zirkulieren lassen, wird unter einer Bioökonomie heute meistens eine Wirtschaftsform verstanden, die hauptsächlich biologische Ressourcen wie Pflanzen, Tiere und Mikroorganismen verwertet.

Sowohl die Bioökonomie als auch die Circular Economy haben historische Vorläufer. Nachwachsende Rohstoffe wurden auch vor der industriellen Revolution intensiv genutzt und Metalle bereits in der Antike zurückgewonnen. Materialkreisläufe waren dabei in der Vergangenheit oft ein Merkmal von „Mangelwirtschaften“, die keinen ausreichenden Zugang zu Rohstoffen hatten. Heute ist zu beachten, dass die Begriffe Circular Economy und Bioökonomie keine homogenen Konzepte bezeichnen. Das gilt, aufgrund der Begriffshistorie, vor allem für die Bioökonomie, mit der unterschiedliche Bedeutungen verbunden werden.

Unterschiede zwischen Bioökonomie und Circular Economy zeigen sich beispielsweise in ihren jeweiligen Hintergründen. Während die Circular Economy von dem Auftreten der Umweltbewegung beeinflusst war und ökologische Ziele von Anfang an eine Rolle spielten, war das in der Bioökonomie, jedenfalls in ihrer modernen Form, nicht der Fall. Sie entwickelte sich zunächst völlig unabhängig von der Circular Economy. Der Ursprung der heutigen Bioökonomie liegt in den Biowissenschaften und fällt mit dem Aufkommen des Neoliberalismus zusammen.¹ An Umweltthemen war man hier zunächst kaum interessiert. Ziel war die Generierung von Wirtschaftswachstum. Die Auseinandersetzung mit Nachhaltigkeitsaspekten kam erst später hinzu. Wir haben diese Entwicklung in Abb. 2.1 zusammengefasst. Als Ausgangspunkt haben wir dabei einen Zeitraum gewählt, der mit dem Entstehen der Umweltbewegung zusammenfällt. In dieser Zeit wurden in der Ökonomie neue Theorien erarbeitet, weil die vorherrschenden Modelle keine Antworten auf ökologische Fragen geben konnten.

Ab den 1960er- und 1970er-Jahren wurden Umwelteffekte zunehmend wahrgenommen und mit der Art und Weise wie wir wirtschaften in Verbindung gebracht. Die Modelle der damaligen Ökonomie, die überwiegend der neoklassischen Wirtschaftstheorie zugerechnet werden, waren allerdings nicht geeignet, diese Problematik abzubilden. Ökologische Grenzen gab es für sie nicht. Wie in Abb. 2.1 dargestellt, entstanden deshalb mit der „Umweltökonomie“ und „Ökologischen Ökonomie“ neue wirtschaftswissenschaftliche Denkschulen, die diesen Mangel beheben sollten. Beide werden durch ihre Querbezüge und ähnlich klingende Bezeichnungen leicht miteinander verwechselt, verfolgen im Grundsatz aber andere Ansätze. Während die Umweltökonomie auf der neoklassischen Theorie aufbaut und sie erweitert, verfolgt die Ökologische Ökonomie einen ganz anderen Ansatz. Sie ist in Bezug auf die Neoklassik mehr als eine Alternative und weniger als eine Ergänzung einzuordnen.² Leitgedanke der Umweltökonomie ist,

¹ Birch et al. 2010; Cooper 2014.

² Wir gehen im Folgenden nur kurz auf die Umweltökonomie und Ökologische Ökonomie ein, kommen aber in Abschn. 2.3.1 auf die Ökologische Ökonomie und in Abschn. 5.5.2 auf beide Denkschulen zurück.

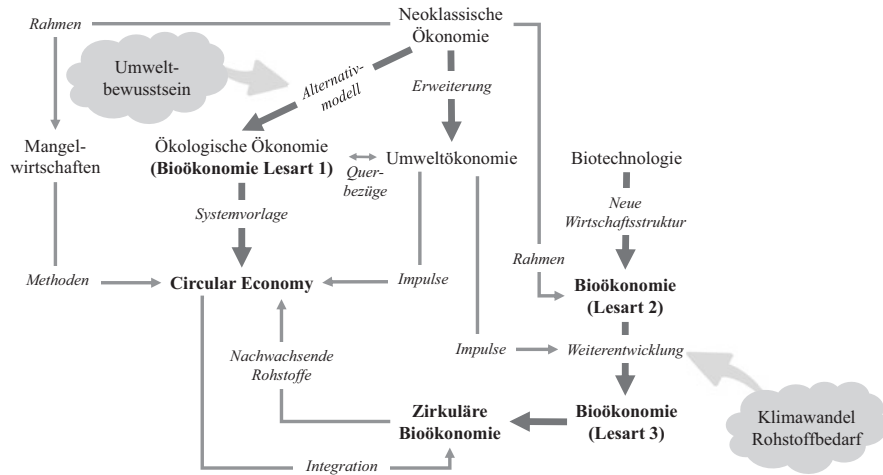


Abb. 2.1 Circular Economy und Bioökonomie – Entwicklung und Zusammenhänge. (Eigene Darstellung)

dass der Natur, die in der Standardökonomie nicht vorkommt oder eine kostenlos zur Verfügung stehende Ressource ist, ein ökonomischer Wert zugewiesen wird. Die Natur bzw. Umwelt wird sozusagen mit einem Preisschild versehen,³ damit Umweltbelastungen als Kosten in der Bilanz von Unternehmen relevant werden. Die Ökologische Ökonomie versucht dagegen, den Wirtschaftsprozess mithilfe biophysikalischer Modelle zu beschreiben. Für sie ist die Einhaltung ökologischer Randbedingungen zentral. Die Ökologische Ökonomie ist deshalb in Bezug auf die in Abschn. 1.5 erläuterten Grundpositionen eher einer starken Nachhaltigkeit zuzurechnen, während die Umweltökonomie, die Umwelteffekte in wirtschaftliche Entscheidungen einbeziehen möchte, eher einer schwachen Nachhaltigkeitsposition zugeordnet werden kann.

Einer der Wissenschaftler, die die Anfangszeit der Ökologischen Ökonomie prägten, war der bereits genannte Kenneth Boulding. Seine Raumschiffmetapher, auf die wir in Abschn. 1.3 eingegangen sind, vermittelt das Bild eines geschlossenen und begrenzten Erdsystems. Es ist das Leitbild der Ökologischen Ökonomie, das oft auch mit dem Ursprung der Circular Economy gleichgesetzt wird.⁴ Bouldings in Zitat 1.4 (Abschn. 1.3) wiedergegebene Vision einer „Spaceman Economy“ ist ein alternatives Modell zur konventionellen Wirtschaft, die Boulding „Cowboy Economy“ nennt, weil sie, wie ein Cowboy, der mit seinen Herden immer neues Weideland aufsuchen muss, ständig neue Ressourcen benötigt. In der Spaceman Economy muss die Weltbevölkerung dagegen wie

³ Bauer 2008, 212 f.; Leipprand und Moore 2012, S. 188.

⁴ Z. B. von Sillanpää und Ncibi 2019, S. 4.

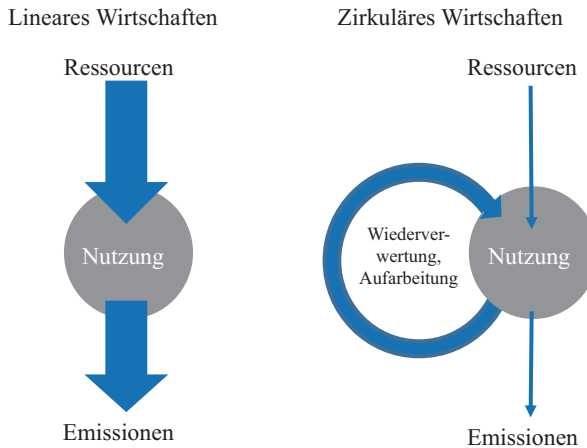


Abb. 2.2 „Lineares“ und „zirkuläres“ Wirtschaften.⁵ (Eigene Darstellung, in Anlehnung an Sillanpää und Ncibi 2019, S. 18)

die Besatzung eines Raumschiffs und anders als Cowboys mit den vorhandenen Ressourcen auskommen und sie so lange wie möglich im System zirkulieren lassen.⁶ Bouldings Spaceman Economy verbindet die Ökologische Ökonomie mit der Circular Economy. Sowohl die Spaceman Economy als auch die Circular Economy bezeichnen eine Wirtschaftsform, die das klassische lineare Wirtschaftssystem, das Ressourcen „verbraucht“ und in Abfälle und Emissionen umwandelt, ablöst und wie in Abb. 2.2 durch ein neues System ersetzt, das auf Wiederverwendung, Recycling und Rückgewinnung beruht.⁷

Die ersten, die die Bezeichnung Circular Economy verwendeten, waren wahrscheinlich die Ökonomen David W. Pearce und Robert K. Turner. In ihrem 1994 veröffentlichten Buch „Economics of Natural Resources and the Environment“ beschreiben sie im zweiten Kapitel ein Konzept für eine zirkuläre Wirtschaftsweise.⁸ Die Überschrift des Kapitels, in dem sie sich auch auf Boulding und andere Wissenschaftler beziehen, die der Ökologischen Ökonomie zugerechnet werden, lautet „Circular Economy“. Parallel zu Pearce und Turner und an sie anschließend entstanden weitere Denkschulen der Circular Economy. Wir gehen in Abschn. 2.2.3 auf sie ein. Zu ihnen gehören u. a. die Industrielle Ökologie, die Performance Economy oder Cradle to Cradle.

Die Begriffsgeschichte in der Circular Economy ist mit der historischen Entwicklung des Begriffs Bioökonomie nicht vergleichbar. Letztere verlief anders und

⁵ In Anlehnung an Sillanpää und Ncibi 2019, S. 18.

⁶ Boulding 1966.

⁷ Kirchherr et al. 2017, 224 f.

⁸ Pearce und Turner 1994.

war mit einem Bedeutungswandel verknüpft, der dazu geführt hat, dass mit dem Wort Bioökonomie unterschiedliche Konzepte verbunden werden. Es gibt verschiedene Auslegungen des Begriffs, die wir in Abb. 2.1 als Lesarten bezeichnet haben. Wir gehen im Folgenden kurz und in Abschn. 2.3.1 ausführlich auf sie ein.

Lesart 1 geht auf den Ökonomen Nicholas Georgescu-Roegen zurück. Er ist für die Ökologische Ökonomie mindestens ebenso bedeutend wie Boulding und gilt als ihr Begründer.⁹ Georgescu-Roegen nannte sein ökonomisches Modell „Bioökonomie“, genauer gesagt „Bioeconomics“.¹⁰ Der Begriff kann also auch als Synonym für die Ökologische Ökonomie verwendet werden.¹¹ Zur Abgrenzung von anderen, heute bekannteren Lesarten sprechen wir in der Folge von „klassischer Bioökonomie“ oder wie in Abb. 2.1 von einer „Bioökonomie der Lesart 1“, wenn wir uns auf Georgescu-Roegens Verständnis beziehen. Die Konzepte, die heute überwiegend gemeint sind, wenn von einer Bioökonomie die Rede ist, haben sich unabhängig von ihrer klassischen Namensvetterin entwickelt. Wie wir noch sehen werden, haben sie mit ihr, bis auf den Namen, kaum etwas gemeinsam. Sie entstanden in einem anderen Umfeld als ihre klassische Lesart und aus einer anderen Motivation heraus. Treiber waren die biotechnischen Wissenschaften, insbesondere die Gentechnik. Deren Protagonisten verstanden unter Bioökonomie eine auf biologischem Wissen und biotechnischen Verfahren aufbauende Wirtschaft. Sie wird in Abb. 2.1 als „Bioökonomie (Lesart 2)“ bezeichnet.

In der biotechnologisch interpretierten Bioökonomie spielte das Thema Nachhaltigkeit kaum eine Rolle. Das änderte sich erst, als mit der wachsenden Bedeutung, die das Thema Klimawandel bekam, in der Bioökonomie eine Möglichkeit gesehen wurde, klimaschädliche fossile Materialien durch nachwachsende Rohstoffe zu ersetzen. Das Interesse richtete sich deshalb zunehmend auf die Nutzung von Biomassen. Dabei wurden auch Impulse aus der Ökologischen Ökonomie und Umweltökonomie wie das Konzept der „Ökosystemleistungen“ oder die Bewirtschaftung von „Naturkapital“ (Abschn. 2.3.1) in die Bioökonomie einbezogen. Dieses bioökonomische Verständnis ist in Abb. 2.1 als „Bioökonomie (Lesart 3)“ ausgewiesen.

Es gibt somit mindestens drei Lesarten der Bioökonomie.¹² Eine vierte, die sowohl für das Verständnis der heutigen Bioökonomie als auch für das der Circular Economy wichtig ist, behandeln wir in Abschn. 5.6. Sie passt hier nicht in den Kontext. Abschließend fassen wir noch einmal die in Abb. 2.1 genannten Lesarten zusammen. Sie lauten:

1. Klassische Bioökonomie oder Ökologische Ökonomie als Wirtschaftsform, die sich an ökologischen Grenzen orientiert (Lesart 1),

⁹Mayumi 2001.

¹⁰Georgescu-Roegen 2011, S. 158.

¹¹Bonaiuti 2011, S. 52.

¹²Die genannten Lesarten wurden auch von Bugge et al. 2016 identifiziert.

2. Bioökonomie als biotechnologisch geprägte Wirtschaft (Lesart 2) und
3. Bioökonomie als biobasierte Kohlenstoffwirtschaft (Lesart 3).

Der Wandel in der Auslegung des Begriffs Bioökonomie geht weiter. Wie wir in Abschn. 2.4 beschreiben, wird in den letzten Jahren versucht, die Circular Economy und Bioökonomie in einer „zirkulären Bioökonomie“ aufeinander zu beziehen. Eine allgemeingültige Definition einer Bioökonomie vorzunehmen ist deshalb kaum möglich. Dies schreibt auch der aktuelle Bioökonomierat (Exkurs 1) in seinem ersten Arbeitspapier. Anders als seine Vorgänger verzichtet er darauf, die Bioökonomie zu definieren. Stattdessen hebt er hervor, dass „in der gesellschaftlichen Debatte unterschiedliche Verständnisse der Bioökonomie eine Rolle spielen“¹³.

2.2 Circular Economy

2.2.1 Vorläufer

Während moderne Circular-Economy-Konzepte unmittelbar mit den Themen Nachhaltigkeit, Ökologie, Klimawandel und Ressourcenschonung verknüpft sind, gilt dieser Zusammenhang nicht für kreislaufwirtschaftliche Strukturen im Allgemeinen. Aufarbeitungstechniken und den Gedanken, Materialien öfter zu verwenden, gab es schon, bevor ökologische Grenzen des Wirtschaftens diskutiert wurden. In der Vergangenheit wurden Materialien hauptsächlich aus Gründen der wirtschaftlichen Effizienz zurückgewonnen oder weil bestimmte Stoffe knapp waren. Die Sammlung von Metall und Glas und deren Einschmelzen wurden deshalb beispielsweise schon in der Antike praktiziert.¹⁴ Im Mittelalter wurden Kleidungsstücke möglichst lange getragen und an andere Personen weitergegeben, bevor sie von Lumpensammlern eingesammelt und zu Papier verarbeitet wurden.¹⁵ Ein Verfahren zur Wiederaufarbeitung von Papier wurde bereits 1778 entwickelt.¹⁶

Auch in der Industrie des 19. Jahrhunderts gab es bereits Bestrebungen, Reststoffe und Nebenprodukte möglichst zu verwerten, wie Zitat 2.1 für die Chemische Industrie zeigt. Laut August Wilhelm Hofmann, der der erste Präsident der britischen Royal Society of Chemistry war,¹⁷ gibt es in einer idealen chemischen Fabrik keine Abfälle, sondern nur Produkte. Für Hofmann war sie eine Anlage, in der alle anfallenden Stoffe verwertet werden.

¹³ Bioökonomierat 2022, S. 10.

¹⁴ Brumme 2016a.

¹⁵ Brumme 2016b.

¹⁶ Berlin Recycling 2018.

¹⁷ Osterath 2017.

Zitat 2.1: August Wilhelm Hofmann (1818–1892)



„[...] in an ideal chemical factory there is, strictly speaking, no waste but only products. The better a real factory makes use of its waste, the closer it gets to its ideal, the bigger is the profit.“¹⁸

Hofmanns aus dem Jahr 1848 stammende¹⁹ Vision klingt bereits sehr modern. Seine Forderung nach abfallfreien Fabriken, die alles wiederverwerten, gibt es auch in Konzepten, die der Circular Economy zugerechnet werden. Im Gegensatz zu deren Zielsetzungen ist Hofmanns Forderung allerdings ausschließlich ökonomisch motiviert. Er möchte, wie es auch in anderen Branchen seiner Zeit üblich war, nur verwerten, um Gewinne zu maximieren. Beispiele sind die Düngung mit Thomasmehl, einem phosphatreichen Nebenprodukt aus der damaligen Eisen- und Stahlerzeugung, die Verwendung von Schlacke in der Zementindustrie und die Herstellung von Farben aus Steinkohlenteer.²⁰

Abfälle wurden aber nicht nur aus ökonomischen Gründen verwertet. Grundsätzlich ergibt sich der Bedarf für Materialkreisläufe auch aus der Geschlossenheit eines Systems. Diese muss sich aber nicht unbedingt wie bei Boulding auf eine globale Begrenzung beziehen, sondern kann auch nationale Grenzen, Branchen oder soziale Gruppen betreffen. Sie muss noch nicht mal objektiv vorliegen. Bereits die Absicht, ein System zu schließen, beispielsweise aus ideologischen Gründen, kann, wie die Rohstoffwirtschaft des Deutschen Reiches zeigt, ausreichen, um zirkuläre Wirtschaftsprozesse zu initiieren.

Zirkuläre Wirtschaftsstrukturen waren während des 1. Weltkriegs für die deutsche Wirtschaft von großer Bedeutung, damit Waffen und Kriegsgerät hergestellt werden konnten. Da die Handelsbeziehungen des Deutschen Reiches kriegsbedingt gestört waren und es nicht genügend Devisen gab, mangelte es an metallhaltigen Erzen. Metallische Gebrauchsgegenstände wie Schmuck, Hausgeräte, Bierkrüge und Kirchenglocken wurden deshalb als sogenannte „Metallspende“ erschlossen.²¹ Zuständig war die „Kriegsrohstoffabteilung“, namentlich vertreten durch Walther Rathenau und Wichard Georg Otto von Moellendorff. Ihr Ziel war es, rohstoffautark zu werden, was bedeutete, dass Rohstoffe so weit wie möglich durch einheimische Ersatzstoffe substituiert werden sollten. Rathenau und von Moellendorf setzten sich für eine „generelle Verbrauchssenkung bei Rohstoffen und Energieträgern“ ein und sprachen sich für eine „bedarfsorientierte Produktion langlebiger Produkte“ aus. Der Effizienzgedanke war für sie eine „gesellschaftspolitische Zielsetzung“. Später, zur Zeit des Nationalsozialismus, war Rohstoff-

¹⁸ Lancaster 2007, S. 26 zitiert Hofman, gibt aber keine Quelle für das Zitat an.

¹⁹ Lancaster 2007, S. 26.

²⁰ Möller 2014.

²¹ Brumme 2016c.

autarkie auch aus ideologischen Gründen ein nationales Ziel. Der Konstruktionswissenschaftler Hugo Wögerbauer entwarf in dieser Zeit ein Modell für „einen geschlossenen Rohstoff- und Produktzyklus“. Es ähnelte bereits modernen Circular-Economy-Konzepten und berücksichtigte die Prioritätenreihenfolge „Vermeidung, Verringerung und Verwertung“. Auch die Praxis der Metallspenden wurde im 2. Weltkrieg wieder aufgenommen.²²

Die Rohstoffpolitik des Deutschen Reiches hatte großen Einfluss auf die Art und Weise, wie Altstoffe in der DDR zunächst verwertet wurden. Gesammelt wurden Schrotte, Holz-, Textil- und Lederreste, Verpackungsmaterialien, Flaschen, Gläser, Knochen und Speisereste, später auch Plaste und Elektronikschrott. Ab 1981 erfolgte die Sammlung über das „Volkseigene Kombinat Sekundärrohstoff-erfassung (SERO)“. Orientiert am Leitbild der Schrottaufarbeitung, wurden auch Ideen von „vollends geschlossenen Stoffkreisläufen“ verfolgt, um alle Reste vollständig zu verwerten. Dies sollte auch sprachlich durch den neuen Begriff des „Sekundärrohstoffs“ deutlich werden, der die bis dahin übliche Bezeichnung „Altstoff“ ersetzte (Zitat 2.2).

Zitat 2.2: Neues Deutschland (17. Januar 1971)



„Der Begriff Sekundärrohstoff [...] bezieht sich auf den Kreislauf des Metalls im Nutzungsprozess und weist darauf hin, daß sich der Rohstoff nach einer ersten (primären) Nutzung ein zweites (sekundäres) oder wiederholtes Mal einsetzen lässt.“²³

Abfallverwertung war in der DDR ein fester „Bestandteil der auf Wirtschaftswachstum und Konsumsteigerung ausgerichteten Politik“²⁴. Es ging darum, Rohstoffe zur Herstellung von Produkten zu gewinnen. Die Verwertung war somit zunächst nicht ökologisch, sondern „materialökonomisch“ motiviert. Diese Zielsetzung änderte sich in den 1970er-Jahren, als die Umwelt durch die Verwertung problematischer Abfälle besser geschützt werden sollte. Zu den ökonomischen Motiven kamen ökologische hinzu. Das Umweltministerium der DDR wollte eine kreislauforientierte Abfallverwertung etablieren und strebte eine „Einheit von Ökonomie und Ökologie“²⁵ an. Ab 1975 musste in einem Betrieb, der Abfallstoffe entsorgen wollte, die Betriebsleitung nachweisen, dass diese Materialien nicht als Sekundärrohstoffe verwendet werden konnten. Da es aber an der erforderlichen Aufbereitungstechnik fehlte, wurden viele Stoffe auf Halden zwischengelagert. Offiziell erfolgte die Lagerung nur vorübergehend, praktisch war sie aber keine

²² Hellige 1994.

²³ Möller 2014, S. 79.

²⁴ Möller 2014, S. 77.

²⁵ Möller 2014, S. 79 zitiert hier den ehemaligen Umweltminister der DDR Hans Reichelt.

Zwischenlagerung, sondern dauerhaft. Bei allen Mängeln, die die Verwertungspraxis in der DDR sicherlich auch hatte, zeigt ihr Beispiel, wie stark technische, ökonomische und soziale Zusammenhänge an den Gegebenheiten einer Kreislaufwirtschaft ausgerichtet sein können. Der Verwertungsgedanke war ständig in Medien, Schule und Alltag präsent und prägte, wie der Historiker Christian Möller schreibt, eine „besondere Kultur“²⁶. Eine besondere Kultur wird auch für eine Circular Economy benötigt. Sie muss mehr als die Anwendung von Recycling-Techniken sein und in einer Systemtransformation bestehen, die den ökonomischen und sozialen Bereich miteinschließt.

2.2.2 Definition und Prinzipien

Im deutschen Sprachraum wird eine Circular Economy oft mit der Verwertung von Abfällen gleichgesetzt. Das liegt daran, dass der Begriff „Kreislaufwirtschaft“, wie die Übersetzung von Circular Economy ins Deutsche lautet, gedanklich mit dem Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetz aus dem Jahr 1996 in Verbindung gebracht wird. Kreislaufwirtschaft ist dort als „Vermeidung und Verwertung von Abfällen“²⁷ definiert. Eine Circular Economy ist aber mehr als eine Abfallwirtschaft. Der mit ihr verbundene Paradigmenwechsel bezieht sich auf einen Wertstoffkreislauf, der schon beim Produktdesign beginnt. Er umfasst die Art und Weise, wie wir produzieren und konsumieren.²⁸ Eine Circular Economy setzt eine Transformation des Wirtschaftssystems voraus, in die auch gesellschaftliche Veränderungen eingeschlossen sind. Um die Assoziation mit einer reinen Abfallwirtschaft zu vermeiden, ist es deshalb besser, den Begriff Circular Economy nicht als Kreislaufwirtschaft, sondern als „zirkuläres Wirtschaften“ ins Deutsche zu übersetzen oder, wie es hier geschieht, stattdessen den englischsprachigen Ausdruck zu verwenden.²⁹

Was in der Literatur als Circular Economy bezeichnet wird, kann sich im Detail unterscheiden. Dies zeigt auch ein häufig zitiertes Review von Kirchherr et al.,³⁰ auf das auch wir uns im Folgenden beziehen. Es fasst die Ergebnisse einer Analyse von 114 in der wissenschaftlichen Literatur vorkommenden Definitionen zusammen. Wie Kirchherr et al. berichten, wird teilweise bereits von einer Circular Economy gesprochen, wenn lediglich ein Material recycelt wird, während das für andere nur gerechtfertigt ist, wenn es um mehr geht als nur um Recycling. Letztere weisen zurecht darauf hin, dass eine Circular Economy mit einem

²⁶ Möller 2014, S. 88.

²⁷ KrWG 2020.

²⁸ Prieto-Sandoval et al. 2018.

²⁹ Müller et al. 2020, S. 7; DKE – VDE 2022.

³⁰ Kirchherr et al. 2017.

Systemwandel verbunden sein muss.³¹ Die von Kirchherr et al. am häufigsten genannten Ziele einer Circular Economy sind wirtschaftlicher Wohlstand (46 %) und eine bessere Umweltqualität (37–38 %).³² Vor allem die ökologische Ausrichtung ist es, was eine Circular Economy von ihren Vorläufern, in denen Umweltaspekte noch keine Rolle spielten, unterscheidet. Aus den Gemeinsamkeiten der von ihnen in der Literatur gefundenen Auslegungen haben Kirchherr et al. die in Zitat 2.3 wiedergegebene Definition für eine Circular Economy erarbeitet.

Zitat 2.3: Julian Kirchherr, Denise Reike, Marko Hekkert (2017)



„A circular economy describes an economic system that is based on business models which replace the ‘end-of-life’ concept with reducing, alternatively reusing, recycling and recovering materials in production/distribution and consumption processes, thus operating at the micro level (products, companies, consumers), meso level (eco-industrial parks) and macro level (city, region, nation and beyond), with the aim to accomplish sustainable development, which implies creating environmental quality, economic prosperity and social equity, to the benefit of current and future generations.“³³

Eine wichtige Rolle in der Circular Economy spielen sogenannte Frameworks. Dabei handelt es sich um eine Bündelung von Prinzipien oder Strategien, mit denen die Transformation zu einer zirkulär organisierten Wirtschaft gelingen soll. Die Frameworks fassen Prinzipien zusammen und gliedern sie hierarchisch, wodurch die unterschiedliche Wertigkeit der Prinzipien in einer Circular Economy zum Ausdruck kommt. Die Hierarchie gibt an, welche gegenüber anderen zu bevorzugen sind. Weil ihre Bezeichnungen in der englischen Sprache alle mit der Silbe „Re-“ beginnen, was für „Wieder-“, „Zurück-“ oder „Rück-“ steht, werden ihre Bündelungen auch als „R-Frameworks“ bezeichnet. Unterschieden werden sie hinsichtlich der Zahl der gebündelten Prinzipien. Kirchherr et al. nennen 3R-, 4R-, 6R- und 9R-Frameworks.

Laut Kirchherr et al. definieren die meisten, d. h. 35–40 % der von ihnen analysierten Publikationen, eine Circular Economy mithilfe des 3R-Frameworks.³⁴ Wie ihre Definition der Circular Economy in Zitat 2.3 zeigt, wenden sie es auch selbst an. Es ist aus den drei Prinzipien „Reduce“ für Reduzieren, „Reuse“ für Wiederverwenden und „Recycling“ für eine stoffliche Wiederaufarbeitung aufgebaut. Das Reduce steht hier an oberster Stelle. Es zielt darauf, weniger Ressourcen zu verbrauchen, was beispielsweise durch effizientere Herstellungsverfahren,

³¹ Kirchherr et al. 2017, 226 f.

³² Kirchherr et al. 2017, 223 ff.

³³ Kirchherr et al. 2017, 224 f.

³⁴ Kirchherr et al. 2017, S. 226.

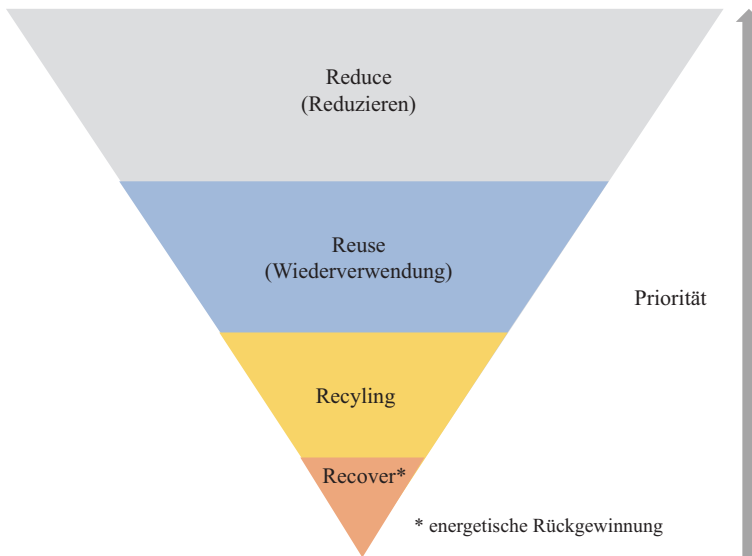


Abb. 2.3 Das „4R-Prinzip“. (Eigene Darstellung)

längere Produktlebensdauern oder den Verzicht auf bestimmte Produkte wie Verpackungen erreicht werden kann. Der Begriff Reuse steht in der Prioritätenreihenfolge an zweiter Stelle. Er bezieht sich auf eine Um- oder Zweitnutzung durch andere Konsumenten und ist auf das Ziel einer möglichst langen Produktnutzungsphase ausgerichtet. Das Recycling, die stoffliche Wiederaufbereitung von Materialien, ist im 3R-Framework die schlechteste Option. Es sollte erst in Betracht gezogen werden, wenn alle Möglichkeiten des Reduce und Reuse ausgeschöpft sind. Das 4R-Framework ergänzt die Prinzipien des 3R-Frameworks um den Begriff „Recover“ (Rückgewinnung). Er bezeichnet eine energetische Verwertung, die hierarchisch als letzte Option unterhalb des Recyclings eingeordnet wird. Frameworks werden oft wie in Abb. 2.3 das 4R-Framework als auf dem Kopf stehende Dreiecke dargestellt. Oben, an der Basis des Dreiecks, befindet sich das Prinzip mit der höchsten Priorität, das im Sinne einer Circular Economy gegenüber den anderen zu bevorzugen ist.³⁵

In Abb. 2.4 ist eine Darstellung des 9R-Frameworks wiedergegeben. Es enthält die Prinzipien des 3R- bzw. 4R-Frameworks und sechs bzw. fünf weitere. Letztere können grundsätzlich auch den Prinzipien des 3R- bzw. 4R-Frameworks zugeordnet werden. Das in der 9R-Strategie separat aufgeführte „Repair“, das die Reparatur und Wartung von Produkten umfasst, lässt sich beispielsweise auch als Teil eines Reuse auslegen, während der Begriff des Refuse, also der Verzicht auf

³⁵ Kirchherr et al. 2017, S. 223.

		Strategien	
Circular Economy	Geschickte Produkt-herstellung und -verwendung	R0 Refuse	Ein Produkt wird nicht mehr benötigt
		R1 Rethink	Intensivere, beispielsweise gemeinsame, Produktnutzung
		R2 Reduce	Material- und/oder energieeffizientere Produktherstellung bzw. -nutzung
	Verlängerung der Lebensdauer von Produkten und Komponenten	R3 Reuse	Wiederverwendung eines ausrangierten Produkts durch einen anderen Verbraucher
		R4 Repair	Reparatur und Wartung defekter Produkte
		R5 Refurbish	Wiederherstellung, d.h. Aufarbeitung eines alten zu einem neuwertigen Produkt
		R6 Remanufacture	Verwendung von Teilen eines ausrangierten Produkts in einem neuen Produkt, das die gleiche Funktion hat
	Intensive Material-nutzung	R7 Repurpose	Verwendung eines ausrangierten Produkts oder seiner Teile in einem neuen Produkt mit einer anderen Funktion
		R8 Recycle	Aufarbeitung gebrauchter Materialien
Lineare Wirtschaft		R9 Recover	Energetische Verwertung

Abb. 2.4 Das „9R-Prinzip“.³⁶ (Eigene Darstellung, angelehnt an Potting et al. 2017a, S. 5; Kirchherr et al. 2017, S. 224)

ein Produkt, im 3R- bzw. 4R-Framework als Teil des Reduce aufgefasst werden kann. Dass sie als eigenständige Prinzipien ausgewiesen werden, ist als konzeptionelle Konkretisierung zu verstehen. Die Differenzierung erhöht ihre Sichtbarkeit und weist ihnen eine größere Bedeutung zu.

2.2.3 Konzepte und Denkschulen

Nicht alle Konzepte, die eine in Kreisläufen organisierte Wirtschaft beschreiben, verwenden den Begriff Circular Economy. Im Umlauf sind u. a. der bereits genannte Begriff „Spaceman Economy“ sowie die Bezeichnungen „Loop Economy“, „Circular Industrial Economy“, „Functional Service Economy“, „Performance Economy“, „Industrielle Ökologie“ oder „Cradle to Cradle“. Im Folgenden stellen, wir die Konzepte, denen diese Begriffe zuzuordnen sind kurz vor³⁷.

Walter Stahel: Performance Economy

Einer der ersten, der aus der Vision Bouldings von einer Spaceman Economy ein konkretes Konzept für eine zirkuläre Wirtschaft entwickelte, war der Archi-

³⁶Angelehnt an Kirchherr et al. 2017, S. 224; Potting et al. 2017, S. 5.

³⁷Eine ausführlichere Beschreibung erfolgt in Band 3.

tekt Walter Stahel.³⁸ In einem 1976 an die Kommission der Europäischen Gemeinschaften in Brüssel gerichteten Forschungsbericht untersuchte er, gemeinsam mit Geneviève Reday-Mulvey, welche Auswirkungen ein Wirtschaften in Kreisläufen aufgrund der damit verbundenen Substitution von Energie durch menschliche Arbeit auf die Gesellschaft hat. Das Wirtschaften in Kreisläufen bezeichneten sie als Circular Industrial Economy.³⁹ Später, in den 1980er-Jahren, nannte Stahel sein Konzept zunächst „Loop Economy“, anschließend „Functional Service Economy“ und zuletzt Performance Economy. Ein Merkmal der Performance Economy ist, dass die Konsumenten kein Produkt, sondern eine Dienstleistung kaufen. Der Hersteller bleibt während und nach der Nutzungsphase Eigentümer und ist für das Produkt verantwortlich.⁴⁰ Die Geschäftsmodelle der Performance Economy orientieren sich grundsätzlich an den 3R-Prinzipien. Sie streben eine kommerzielle und private Wiederverwendung von Gütern – z. B. durch Secondhand-Märkte –, eine Verlängerung der Produktlebensdauer durch Wiederaufarbeitung – z. B. durch Reparaturen – und ein Recycling zur Rückgewinnung von Sekundärmaterialien an.⁴¹

Zitat 2.4: Walter Rudolf Stahel (*1946)



„A ‘circular economy’ would turn goods that are at the end of their service life into resources for others, closing loops in industrial ecosystems and minimizing waste. It would change economic logic because it replaces production with sufficiency: reuse what you can, recycle what cannot be reused, repair what is broken, remanufacture what cannot be repaired.“⁴²

Robert A. Frosch: Industrielle Ökologie

Zu den Denkschulen der Circular Economy kann auch die Industrielle Ökologie gerechnet werden.⁴³ Als maßgeblicher Impuls für ihre Entwicklung gilt der 1989 veröffentlichte Fachartikel „Strategies for Manufacturing“ von Robert A. Frosch und Nicholas Gallopoulos. Vergleichbare Überlegungen, für die auch bereits die Bezeichnung Industrielle Ökologie verwendet wurde, gab es zwar schon vorher, aber erst seit der Veröffentlichung von Frosch und Gallopoulos steht der Begriff für ein eigenständiges Fachgebiet. In der Industriellen Ökologie wird eine Analogie zwischen ökologischen und industriellen Systemen hergestellt. Dabei werden, über die Analogiebildung hinaus, Ökosystemmodelle auf industrielle

³⁸ Murray et al. 2017.

³⁹ Stahel 2020, S. 8.

⁴⁰ Stahel 2020.

⁴¹ Wautelet 2018.

⁴² Stahel 2016, S. 435.

⁴³ EMF 2021.

Systeme übertragen, um eine linear organisierte industrielle Produktion in ein zirkuläres System zu transferieren (Abschn. 6.2). Durch die Orientierung an Ökosystemen sollen industrielle Systeme nachhaltiger⁴⁴ und Abfälle zu Rohstoffen für neue Produkte werden⁴⁵.

Zitat 2.5: Robert A. Frosch (1928–2020)



„The idea of an industrial ecology is based upon a straightforward analogy with natural ecological systems. [...] The system structure of a natural ecology and the structure of an industrial system, or an economic system, are extremely similar. This may be a somewhat trivial and banal idea, but when consciously addressed it can help us to discover extremely useful directions in which the industrial system might develop.“⁴⁶

David W. Pearce und R. Kerry Turner: Circular Economy

Soweit bekannt, wurde die Bezeichnung Circular Economy, wie bereits oben geschrieben, erstmals von den britischen Ökonomen David Pearce und Kerry Turner in ihrem 1990 erschienenen Buch „Economics of Natural Resources and the Environment“ verwendet.⁴⁷ Darin entwerfen Pearce und Turner ein an einen Regelkreis erinnerndes Wirtschaftsmodell, das zwischen erneuerbaren und nicht erneuerbaren Rohstoffen unterscheidet. Ihre Argumentation leiten sie u. a. ausdrücklich aus den Arbeiten von Boulding und Georgescu-Roegen ab. Ein Ressourcenverbrauch führt in ihrem Modell durch den Nutzwert der hergestellten Produkte einerseits zu einem Gewinn, durch den Verbrauch von Ressourcen und Emissionen andererseits aber auch zu einem Verlust.

Zitat 2.6: David W. Pearce (1941–2005), R. Kerry Turner



„We are now in a position to complete our picture of the circular economy. Instead of being an open, linear system, it is closed and circular. The laws of thermodynamics ensure, that this must be so.“⁴⁸

⁴⁴ Bauer 2008, S. 266; Garner, Andy und Keoleian 1995, S. 2.

⁴⁵ Garner, Andy und Keoleian 1995, S. 2.

⁴⁶ Frosch 1992, S. 800.

⁴⁷ Pearce und Turner 1994.

⁴⁸ Pearce und Turner 1994, S. 40.

John T. Lyle: Regenerative Design

Das Regenerative-Design-Konzept wurde 1994 von dem Landschaftsarchitekten John T. Lyle entwickelt. Sein Ansatz richtete sich gegen eine industrielle Landnutzung, die im Gegensatz zu den, wie er sich ausdrückt, einzigartigen Plätzen in der Natur, durch einfache Muster und Strukturen sowie eine „managementfähige Gleichförmigkeit“ geprägt ist.⁴⁹ Die lineare Organisation des industriellen Systems, so Lyle, zerstört die Natur und damit seine eigene Lebensgrundlage. Lyle fordert einen grundlegend anderen Ansatz, der anstelle linearer Systeme auf „zyklischen Strömen“ beruhen sollte. In diesen zirkulär organisierten Systemen erfolgt durch systemeigene Funktionsprozesse eine kontinuierliche Erneuerung von Energie und Materialien. Ziel des Regenerative Design ist die völlige Abfallfreiheit. Wie Mang et al. schreiben, ist das Regenerative Design ein System aus Technologien und Strategien, das sich, ähnlich wie die Industrielle Ökologie, an der Funktionsweise von Ökosystemen orientiert.⁵⁰

Zitat 2.7: John T. Lyle (1934–1998)



„Regenerative design means replacing the present linear system of throughput flows with cyclical flows at sources, consumption centers, and sinks.“⁵¹

P. Hawken, A. B Lovins, L. H. Lovins: Natural Capitalism

Paul Hawken, Amory B. Lovins und L. Hunter Lovins veröffentlichten Ende der 1990er-Jahre ihr Konzept eines „Natural Capitalism“⁵². Darin weisen sie Naturressourcen sowie den „Erträgen“ dieses „Naturkapitals“ einen ökonomischen Wert zu. Für das Natural-Capitalism-Konzept formulierten sie vier Prinzipien: Ressourceneffizienz, Orientierung am Vorbild Natur, neue Geschäftsmodelle und Investitionen in Naturkapital. Das Natural-Capitalism-Konzept kann als Denkschule der Circular Economy bezeichnet werden, weil Materialien nach dem Vorbild natürlicher Kreisläufe in kontinuierlichen und geschlossenen Kreisläufen wiederverwendet werden sollen. Weiterhin gibt es Überschneidungen mit anderen Konzepten, beispielsweise mit der Performance Economy, der Industriellen Ökologie und Cradle to Cradle. Wie in der Performance Economy sollen Hersteller für den gesamten Lebenszyklus eines Produktes Verantwortung übernehmen; wie in der Industriellen Ökologie sollen sich industrielle Systeme am Vorbild von Ökosystemen orientieren und wie bei Cradle to Cradle gibt es keine Abfälle, sondern nur Nährstoffe für ökologische Kreisläufe oder Rohstoffe für neue Waren. Der Begriff des Naturkapitals wurde auch von Pearce und Turner sowie von Costanza

⁴⁹Mang und Reed 2012.

⁵⁰Mang und Reed 2012; Geisendorf und Pietrulla 2018.

⁵¹Lyle 1994, Chapter 1.

⁵²Hawken et al. 2000; Lovins et al. 1999.

und Dalys verwendet.⁵³ Es liegen deshalb auch Bezüge zur Umweltökonomie und Ökologischen Ökonomie vor.

Zitat 2.8: Paul Hawken (*1946*), Amory B. (*1947), L. Hunter Lovins (*1950)



„This approach is called natural capitalism because it’s what capitalism might become if its largest category of capital – the “natural capital” of ecosystem services – were properly valued. The journey to natural capitalism involves four major shifts in business practices, all vitally interlinked: Dramatically increase the productivity of natural resources. [...], Shift to biologically inspired production models. [...], Reinvest in natural capital.“⁵⁴

Michael Braungart, William McDonough: Cradle to Cradle

Der Begriff Cradle to Cradle (C2C) wurde erstmals von Walter Stahel verwendet.⁵⁵ Als eigenständiges Circular-Economy-Konzept ist der Ausdruck aber erst durch das 2002 erschienene Buch „Cradle to Cradle: Remaking the way we make things“ von William McDonough und Michael Braungart bekannt geworden.⁵⁶ Cradle to Cradle zielt nicht wie viele andere Konzepte darauf ab, Prozesse oder Produkte effizienter herzustellen, sondern, wie Braungart und McDonough in Zitat 2.9 schreiben, darauf, es „richtig“ zu machen. Umweltfreundliche Materialien sollen so verwendet werden, dass sie durch ihre Herstellung und Nutzung nicht nur keinen Schaden an der Natur verursachen, sondern ihr sogar nutzen. Braungart und McDonough setzen nicht auf Ökoeffizienz, sondern auf Ökoeffektivität. An die Stelle eines linearen Materialflusses, von der „Wiege“ (engl. „cradle“) zur Bahre, soll ein zirkulärer Prozess „von der Wiege zur Wiege“ (engl. „cradle to cradle“), treten, in dem aus einem Material am Ende einer Produktlebenszeit ein Rohstoff für neue Produkte wird (Abschn. 7.2.1).

Zitat 2.9: Michael Braungart (*1958), William McDonough (*1951)



„Bei unserem Konzept der Öko-Effektivität geht es [...] um die Arbeit an den richtigen Dingen – an den richtigen Produkten und Dienstleistungen und Systemen – statt darum, die falschen Dinge weniger schlecht zu machen. Sobald man die richtigen Dinge macht, kann es dann auch vollkommen vernünftig sein, sie „richtig“ zu machen, unter anderem mithilfe der Effizienz.“⁵⁷

⁵³ Costanza und Daly 1992; Pearce und Turner 1994.

⁵⁴ Lovins et al. 1999, S. 147–148.

⁵⁵ Hawken et al. 2000, S. 17.

⁵⁶ Braungart und McDonough 2014.

⁵⁷ Braungart und McDonough 2014, Kap. 3.

Das Cradle-to-Cradle-Konzept ist von ökologischen Stoffwechselprozessen inspiriert.⁵⁸ Wie im Natural-Capitalism-Konzept, das auf frühere Arbeiten von Braungart Bezug nimmt, existieren für Braungart und McDonough keine Abfälle, sondern nur „Nährstoffe“, die entweder in ökologische Stoffkreisläufe eingebracht werden oder als „technischer Nährstoff“ Teil eines technischen Kreislaufs sind. Wichtig ist die Nutzung erneuerbarer Energiequellen.⁵⁹ Cradle to Cradle ist auch der Name einer 2012 gegründeten Organisation, die das Ziel verfolgt, unterschiedliche an einer Circular Economy interessierte Partner zu vernetzen.⁶⁰

Gunter Pauli: Blue Economy

Ein weiteres Konzept, das der Circular Economy zugerechnet wird, ist die sogenannte Blue Economy. Der auf Gunter Pauli zurückgehende Begriff grenzt sich bewusst gegenüber der „Green Economy“ (Abschn. 1.6) ab. Das „Blau“ in der Konzeptbezeichnung soll sich auf die Farbe des Ozeans und Himmels beziehen.⁶¹

Auch die Blue Economy nimmt sich die Natur zum Vorbild. Wie im Cradle-to-Cradle- und Natural-Capitalism-Ansatz gibt es keine Abfälle, sondern ausschließlich Nährstoffe, die Stoff- und Energiekaskaden durchlaufen. Produktabfälle werden zum Rohstoff für neue Wertschöpfungen. Ein von Pauli häufig genanntes Beispiel ist ein Kaffeeunternehmen, das drei Einnahmequellen generieren kann. Kerngeschäft ist der Kaffeeverkauf, zusätzliche Einnahmen können aber mit Pilzen, die auf Kaffeeabfällen wachsen, und aus Tierfutter, das aus Resten der Pilzproduktion hergestellt wird, generiert werden.⁶² Die Blue Economy orientiert sich an 21 unterschiedlichen Prinzipien.⁶³ Geissendorf et al. heben aus diesen die Folgenden hervor⁶⁴:

1. Nutzung lokal verfügbarer Ressourcen
2. Effizienz
3. Systemische Nachahmung der Natur
4. Multiple Geschäftsmodelle wie im o. g. Kaffeebeispiel
5. Befriedigung aller Grundbedürfnisse
6. Innovative Kultur

⁵⁸ Braungart und McDonough 2014, Kap. 4.

⁵⁹ Braungart und McDonough 2014, Kap. 5.

⁶⁰ Cradle to Cradle NGO 2020.

⁶¹ Geissendorf und Pietrulla 2018, S. 774.

⁶² Wautelet 2018.

⁶³ The Blue Economy 2021.

⁶⁴ Geissendorf und Pietrulla 2018, S. 774.

Zitat 2.10: Gunter Pauli (*1956)



„The circular economy is a basic reflection on how we should cascade matter, nutrients and energy. We have to change the concept of our production and consumption from a linear input output to a circular one where everything has a new life and whatever is not consumed in the process is taken up in another process. I call it the Blue Economy, but the name is not important, the key is what we are doing to make it happen.“⁶⁵

Ellen Mac Arthur Foundation

In der öffentlichen Wahrnehmung wird die Circular Economy oft mit den Aktivitäten der 2010 von der ehemaligen Weltumseglerin Dame Ellen MacArthur gegründeten Ellen MacArthur Foundation (EMF) in Verbindung gebracht. Sie bündelt verschiedene Konzepte wie die Performance Economy, Cradle to Cradle, Industrielle Ökologie und Regenerative Design zu einem systemischen Ansatz.⁶⁶ Aufsehen erregte vor allem der Bericht „Toward the circular economy: Accelerating the scale-up across global supply chain“, den die Stiftung 2014 auf dem Weltwirtschaftsforum in Davos präsentierte.⁶⁷ Eine acatech-Studie bezeichnet ihre Arbeiten „als Keim des modernen Konzepts der CE“^{68,69} und Walter Stahel schreibt, dass die Aktivitäten der Stiftung durch Publikationen, Konferenzen und die Gründung des Wirtschaftsklubs CE100 wesentlich dazu beigetragen haben, das Thema Circular Economy in der Europäischen Union zu verankern.⁷⁰ Wie die Ellen Mac Arthur Foundation die Circular Economy definiert, ist in Zitat 2.11 wiedergegeben.

Zitat 2.11: Ellen MacArthur Foundation (2013)



„A circular economy is an industrial system that is restorative or regenerative by intention and design. It replaces the end-of-life concept with restoration, shifts towards the use of renewable energy, eliminates the use of toxic chemicals, which impair reuse and return to the biosphere, and aims for the elimination of waste through the superior design of materials, products, systems and business models.“⁷¹

⁶⁵ Europäische Kommission 2014.

⁶⁶ Zwiers et al. 2020.

⁶⁷ EMF 2014.

⁶⁸ CE = Circular Economy

⁶⁹ Weber und Stuchtey 2019.

⁷⁰ Stahel 2020.

⁷¹ EMF 2014, S. 15.

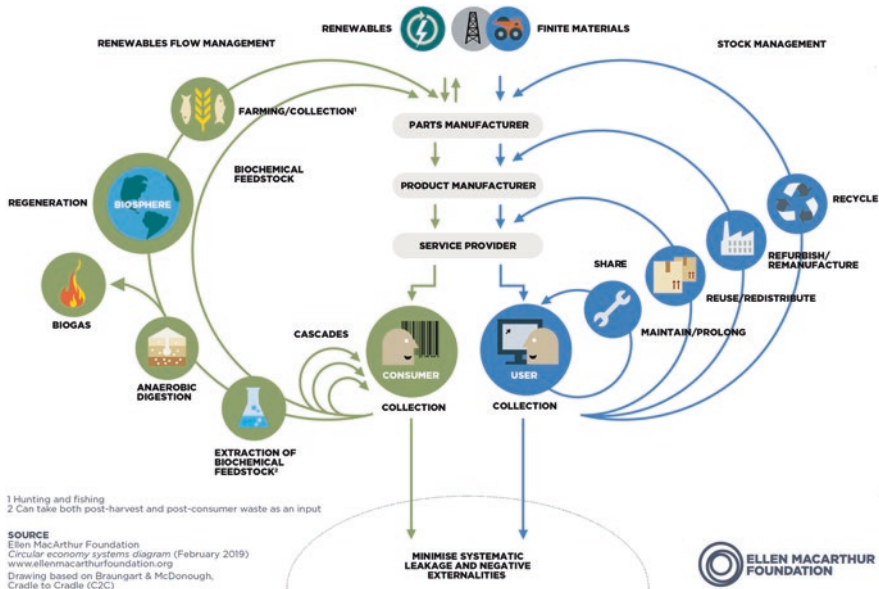


Abb. 2.5 Das Schmetterlingsdiagramm der Ellen MacArthur Foundation.⁷² (Bildzitat EMF 2019, 2014, S. 15)

Einen hohen Bekanntheitsgrad hat auch die in Abb. 2.5 gezeigte, von der Ellen MacArthur Foundation stammende Darstellung einer Circular Economy. Sie ist, wie von ihren Urhebern im Bild vermerkt wurde, an das Cradle-to-Cradle-Konzept angelehnt. Wegen ihrer an Schmetterlingsflügel erinnernden Form wird sie auch als „Schmetterlingsdiagramm“ bezeichnet. Die „Flügel“ des Schmetterlings bilden zwei unterschiedliche Kreislaufsysteme ab. Sie trennen, wie für Cradle to Cradle typisch, biologisch und nicht biologisch entstandene Materialien voneinander. Der von uns aus gesehen linke „Flügel“ umfasst einen biologisch-basierten Wertschöpfungskreislauf, in dem nachwachsende Rohstoffe landwirtschaftlich erzeugt, geerntet, zur Herstellung von Produkten verwendet und gebraucht werden. Nachdem sie ggf. verschiedene Nutzungs- und Verwertungskaskaden durchlaufen haben, dienen sie als „Nährstoffe“ in der Biosphäre, wo eine stoffliche Regeneration durch natürliche Kreisläufe erfolgt. Der rechte „Flügel“ umfasst die Kreislaufführung nicht biologisch-basierter Materialien.⁷³ Er besteht aus einem Framework aus vier Prinzipien. Sie sind als konzentrische Kreisläufe dargestellt, deren Priorität von innen nach außen abnimmt. Je enger der Kreis ist, umso weniger muss ein Produkt verändert werden, damit es wieder verwendet werden kann und umso geringer, so

⁷² EMF 2019.

⁷³ Sillanpää und Ncibi 2019, 3 ff.; EMF 2014, S. 15.

die These der Ellen MacArthur Foundation, ist der Verbrauch an Arbeit, Energie, Kapital, Ressourcen und Emissionen. Höchste Priorität hat im Schmetterlingsdiagramm mit dem „Share“ eine Ökonomie des Teilens (Abschn. 1.5). Ihr folgt das Reuse, womit im 2014er-Bericht der Stiftung eine kaskadische Weiterverwendung von Materialien gemeint ist. Als weiteres Prinzip ist mit der Priorität drei ein Reparatur- bzw. Wiederaufarbeitungskreislauf („Refurbish/Remanufacturing“) eingezeichnet. Die schlechteste und am wenigsten anzuwendende Option ist auch hier das Recycling.⁷⁴

Europäische Union

Die Entwicklung des Circular-Economy-Gedankens in der Europäischen Union wurde, wie der EU-Beamte Hugo-Maria Schally schreibt, maßgeblich von der Ellen Mac Arthur Foundation und einem Bericht der European Resource Efficiency Platform vorangetrieben. Letztere bestand aus einer Gruppe von Wirtschafts- und Umweltexperten und -expertinnen, die auf Basis einer 2011 entwickelten Roadmap der Europäischen Kommission Handlungsempfehlungen für ein ressourcenschonendes Europa erarbeitete.⁷⁵

Eine erste Mitteilung der EU, in der eine Transformation zu einer Circular Economy thematisiert wurde, wurde 2014 verabschiedet. Sie enthielt u. a. Vorschläge zur Überarbeitung von Richtlinien. 2015 legte die Europäische Kommission einen Aktionsplan vor, der das Ziel verfolgt, die Transformation zu einer Circular Economy zu fördern.⁷⁶ Abfälle und der Ressourcenverbrauch sollen minimiert und Materialien so lange wie möglich im Wirtschaftskreislauf gehalten werden.⁷⁷ Der Aktionsplan ist Teil des sogenannten „Green Deals“, ein Konzept, das 2019 mit dem Ziel verabschiedet wurde, die Netto-Emissionen von Treibhausgasen in der Europäischen Union bis 2050 vollständig zu vermeiden.⁷⁸ Die Circular Economy wird als wirksames Mittel angesehen, diese Ziel zu erreichen.⁷⁹ 2020 wurde ein neuer Aktionsplan für die Circular Economy verabschiedet (Zitat 2.12). Formuliert werden Ziele, Rahmenbedingungen und Effekte. Unter anderem soll der Anteil kreislauforientierter Materialien bis 2030 verdoppelt werden.⁸⁰ Als „zentrale Produktionswertschöpfungsketten“ nennt der Plan die Branchen Elektronik und IKT, Batterien und Fahrzeuge, Verpackungen, Kunststoffe, Textilien, Bauwirtschaft und Gebäude, Lebensmittel, Wasser und Nährstoffe.⁸¹

⁷⁴ EMF 2014, S. 15.

⁷⁵ Schally 2020.

⁷⁶ Schally 2020.

⁷⁷ Europäische Kommission 2015a.

⁷⁸ Sillanpää und Ncibi 2019, 8 ff.

⁷⁹ Europäische Union 2020, S. 20.

⁸⁰ Europäische Union 2020, S. 4.

⁸¹ Europäische Kommission 2015a, S. 10–15.

Zitat 2.12: Europäische Kommission (2020)



„Das Kreislaufprinzip ist wesentlicher Bestandteil eines umfassenderen Wandels der Industrie hin zu Klimaneutralität und langfristiger Wettbewerbsfähigkeit. Es kann erhebliche Materialeinsparungen in allen Wertschöpfungsketten und Produktionsprozessen bewirken, einen Mehrwert schaffen und wirtschaftliche Chancen eröffnen.“⁸² [...] „Der Übergang zur Kreislaufwirtschaft wird innerhalb und außerhalb der EU systemisch, tief greifend und transformativ sein.“⁸³

2.2.4 Welcher Nachhaltigkeitsstrategie folgt die Circular Economy?

Welcher Nachhaltigkeitsstrategie die Circular Economy zugeordnet werden kann, hängt von der Ausrichtung des jeweiligen Konzepts ab. Wie Kirchherr et al. festgestellt haben, wird in manchen Fällen, wenn auch zu Unrecht, bereits von einer Circular Economy gesprochen, wenn nur ein Material recycelt wird.⁸⁴ Solche Konzepte wären lediglich einer technologieorientierten Effizienzstrategie zuzuordnen. Wie u. a. der World Wildlife Fund (WWF) schreibt, soll die Circular Economy jedoch auch „soziale Teilhabe, Gesundheit und lokale Vernetzung in der Gemeinschaft“ initiieren.⁸⁵ Ein reiner Effizienzansatz reicht hierzu nicht aus. Von einer Circular Economy sollte deshalb nur gesprochen werden, wenn die Konzepte auch andere Strategien adressieren als Effizienz. Die in Abschn. 2.2.3 genannten Konzepte gehen über den Effizienzansatz hinaus. Cradle to Cradle operiert beispielsweise mit dem Begriff der Ökoeffektivität (Zitat 2.9) und adressiert damit eine Substitutions- bzw. Konsistenzstrategie.

Auch die „R-Frameworks“ beziehen sich nicht nur auf den Faktor Effizienz. Ein geringerer Ressourcenverbrauch (Reduce) kann durch Effizienz, aber auch durch Subsistenz und Suffizienz erreicht werden. Die Prinzipien Reuse (Wiederverwendung) und Repair (Reparieren) lassen sich beispielsweise Subsistenz- und Kooperationsstrategien zuordnen. Eine Studie der acatech sortiert die Circular Economy in punkto Nachhaltigkeitsstrategien deshalb zwischen reinen Effizienzansätzen auf der einen und Suffizienz sowie Postwachstumsökonomien auf der anderen Seite ein.⁸⁶

⁸² Europäische Union 2020, S. 9.

⁸³ Europäische Union 2020, S. 24.

⁸⁴ Kirchherr et al. 2017, 226 f.

⁸⁵ World Wildlife Fund (WWF) 2022.

⁸⁶ Weber und Stuchtey 2019.

2.3 Bioökonomie

2.3.1 Bioökonomische Lesarten

Wie in Abschn. 2.1 bereits beschrieben wurde, hat der Begriff Bioökonomie verschiedene Bedeutungen. Wir hatten dort zwischen drei Lesarten unterschieden: die klassische Bioökonomie (Lesart 1), Bioökonomie als biotechnologisch geprägte Wirtschaft (Lesart 2) und Bioökonomie als biobasierte Kohlenstoffwirtschaft (Lesart 3). Sie werden im Folgenden erläutert.

2.3.1.1 Lesart 1: Klassische Bioökonomie

Der Begriff „klassische Bioökonomie“ bezeichnet in unserem Text eine Lesart, in der das Wort Bioökonomie als Synonym für die Ökologische Ökonomie verwendet wird. Wir hatten sie als „klassische“ Variante bezeichnet, um sie sprachlich von den moderneren Auslegungen, die durch die Lesarten 2 und 3 wiedergegeben werden, abzugrenzen. Lesart 1, die klassische Bioökonomie, respektive die Ökologische Ökonomie, bezeichnet somit ein ökonomisches System, das sich an ökologischen Grenzen orientiert. Der Wirtschaftsprozess hat für sie eine physikalische und ökologische Basis, die nicht ignoriert werden darf. Wie historische Beispiele zeigen, ist dieser Ansatz jedoch nicht vollständig neu.

Erwähnenswert ist beispielsweise eine ökonomische Denkschule, die im Frankreich des 18. Jahrhunderts als Reaktion auf einen Niedergang der Landwirtschaft entstand. Die „Physiokraten“, wie sich ihre Vertreter nannten, stellten anstelle einer Geldwirtschaft die materiellen Grundlagen des ökonomischen Prozesses in den Vordergrund. Wörtlich übersetzt bedeutet das Wort Physiokratie „Herrschaft der Natur“. Nach Ansicht der Physiokraten wird der wirtschaftliche Prozess durch objektive physikalische und moralische Naturgesetze bestimmt. Quelle materiellen Reichtums sind für sie natürliche Ressourcen, insbesondere fruchtbares Ackerland.⁸⁷

Weitere ökonomische Theorien, die in diesem Zusammenhang zu nennen sind, weil sie die materiellen Grundlagen des Wirtschaftens betonen, sind die „Bevölkerungstheorie“ von Thomas Robert Malthus und die in Abschn. 1.2 bereits erwähnte Gleichgewichtstheorie von John Stuart Mill. Malthus, dessen Überlegungen auch Charles Darwin bei seiner Evolutionstheorie inspirierten, ging davon aus, dass sowohl das Bevölkerungswachstum als auch die limitierte Verfügbarkeit und Qualität fruchtbarer Böden dem ökonomischen Wachstum Grenzen setzen. Nach Malthus kann die Bevölkerung nicht ewig wachsen, weil irgendwann zu wenig Nahrungsmittel zur Verfügung stehen. Auch Mill war der Ansicht, dass wirtschaftliches Wachstum aufgrund natürlicher Grenzen irgendwann endet. Nach einer Wachstumsphase erwartete er einen stationären Zustand, in dem weder die Produktions- und Kapitalmenge noch die Bevölkerungszahl weiter zunehmen.

⁸⁷Wagner 2015, S. 60; Cleveland 1999.

Technische Verbesserungen sollten laut Mill nach Erreichen des Gleichgewichtszustandes zur Verkürzung von Arbeitszeiten sowie für kulturelle und soziale Fortschritte genutzt werden.

Einer der ersten, der den ökonomischen Prozess mithilfe der Thermodynamik beschrieb und somit physikalisch deutete, war der Physiker Sergei Andrejevič Podolinsky. Er verknüpfte 1883 die „Arbeitswerttheorie“ der klassischen Nationalökonomie mit einer auf physikalischen Grundlagen beruhenden Analyse. Nach der Arbeitswerttheorie ergibt sich der ökonomische Wert einer Ware aus der Arbeitszeit, die zu ihrer Herstellung benötigt wird. Podolinsky kam jedoch zu dem Schluss, dass dem Wirtschaftswachstum nicht durch die verfügbare Arbeit, sondern durch physikalische und ökologische Zusammenhänge Grenzen gesetzt werden.⁸⁸

Als Bezeichnung für eine an ökologischen und physikalischen Grenzen orientierte Wirtschaftsform wurde der Begriff Bioökonomie wahrscheinlich erstmals von dem Fischbiologen Fedor Il'ich Baranov verwendet. Im Vorwort seines 1916 erschienenen Artikels „On the question of the biological basis of fisheries“ bezeichnete er seine Arbeit, in der er die Auswirkungen der Fischerei auf Fischpopulationen untersuchte, als „Bionomics“⁸⁹ und „Bioökonomik“ („Bio-economics“⁹⁰). Laut Giampietro wollte Baranov mit dieser Bezeichnung verdeutlichen, dass eine Überfischung, die langfristige Produktivität der Wirtschaft verringert. Die Grenzen der wirtschaftlichen Nutzung waren für Baranov von der Geschwindigkeit abhängig, mit der sich Ressourcen erneuern (Zitat 2.13).⁹¹

Zitat 2.13: Fedor Il'ich Baranov (1886–1965)



„As we see, a picture is obtained which diverges radically from the hypothesis which has been favoured almost down to the present time, namely that the natural reserve of fish is an inviolable capital, of which the fishing industry must use only the interest, not touching the capital at all. Our theory says, on the contrary, that a fishery and a natural reserve of fish are incompatible, and that the exploitable stock of fish is a changeable quantity, which depends on the intensity of the fishery. The more fish we take from a body of water, the smaller is the basic stock remaining in it; and the less fish we take, the greater is the basic stock, approximating to the natural stock when the fishery approaches zero. Such is the nature of the matter.“⁹²

⁸⁸ Cleveland 1999.

⁸⁹ Mit Bionomik sind die Wirkungen von Organismen in der Umwelt gemeint, Naef 1923, S. 330.

⁹⁰ Baranov 2014.

⁹¹ Giampietro 2019, S. 145.

⁹² Gordon 1954, S. 128 zitiert hier Baranov 1925.

Nach Baranov wurde die Bezeichnung Bioökonomie unserer Kenntnis nach zunächst nicht mehr in diesem Zusammenhang verwendet. Eine Identifikation des Begriffs mit einer an ökologischen Grenzen orientierten Wirtschaftsform erfolgte erst wieder durch Jirì Zeman, der ihn in einem in den 1960er-Jahren verfassten Brief verwendete, um auf „die bio-(physikalische) Basis allen Wirtschaftens“ hinzuweisen. Seine Anregung wurde von Nicolas Georgescu-Roegen aufgenommen, um seine ökonomische Theorie zu bezeichnen (Zitat 2.14).⁹³ Die Bezeichnung der Ökologischen Ökonomie als Bioökonomie hat hier ihren Ursprung.

Zitat 2.14: Nicholas Georgescu-Roegen (1906–1994)



„That was an apropos conclusion of a broad theme – the biological substance of the economic process in almost every respect – that was to become my life creed. Jirì Zeman of the Czechoslovakian Academy, enchanted by it, properly labeled it bioeconomics and I thoroughly welcomed it.“⁹⁴

“The term [bioeconomics] is intended to make us bear in mind continuously the biological origin of the economic process and thus spotlight the problem of mankind’s existence with a limited store of accessible resources, unevenly located and unequally appropriated.“⁹⁵

Ebenso wie Baranov und Zeman betont Georgescu-Roegen, dass endliche biophysikalische Ressourcen der Wirtschaft Grenzen setzen. In seinem 1971 erschienenen Hauptwerk „The Entropy Law and the Economic Process“ übertrug er den 2. Hauptsatz der Thermodynamik (Abschn. 5.5.2) auf den Wirtschaftsprozess und kam, anders als andere Ökonomen seiner Zeit, zu dem Schluss, dass der Wirtschaftsprozess zu irreversiblen Veränderungen führt und dass unbegrenztes wirtschaftliches Wachstum nicht mit den Naturgesetzen vereinbar ist.⁹⁶ Wirtschaftliche Aktivitäten, so Georgescu-Roegen, nutzen Energie und Materie und verwandeln deren verfügbare Anteile in nicht mehr verfügbare. Rohstoffe werden zunächst in Produkte und zuletzt in Abfälle und Emissionen umgewandelt. Vollständiges Recycling hielt Georgescu-Roegen für unmöglich (Zitat 2.15, Abschn. 5.5.2 und 8.1). Er plädierte für die Nutzung von Sonnenenergie und Biomasse, gab aber zu bedenken, dass auch deren Verfügbarkeit aufgrund limitierter nutzbarer Flächen eingeschränkt ist.

⁹³ Bonaiuti 2015, S. 52.

⁹⁴ Georgescu-Roegen 2011, S. 158.

⁹⁵ Georgescu-Roegen 1977, S. 361.

⁹⁶ Mayumi 2009, S. 1236; Georgescu-Roegen 1987; Bonaiuti 2015, S. 52.

Zitat 2.15: Nicholas Georgescu-Roegen (1906–1994)



„Ich möchte zu bedenken geben, [...] daß Materie [...] in zwei Zuständen existiert, nämlich verfügbar und un verfügbar und daß sie genau wie Energie ständig und unwiderruflich von dem einen in den anderen Zustand abnimmt. Materie löst sich ebenso wie Energie in Staub auf [...]. Es gibt jedoch hervorragende Autoren, die von der Wiederaufbereitbarkeit aller Materie ausgehen, vorausgesetzt genügend verfügbare Energie steht bereit. [...] Vielleicht könnten wir sogar alles wiedergewinnen, aber nur unter der Bedingung, daß wir nicht nur über eine grenzenlose Menge an Energie, sondern auch noch über unendliche Zeit verfügen könnten [...]. Die Schlußfolgerung drängt sich auf: Gerade wie ständige Arbeit nur dann auf unbegrenzte Zeit fortgesetzt werden kann, wenn sie fortwährend mit verfügbarer Energie versorgt wird, so benötigt solche Arbeit einen kontinuierlichen Nachschub an verfügbarer Materie. Der springende Punkt dabei ist, daß sowohl verfügbare Energie als auch verfügbare Materie unwiderruflich in nicht mehr verfügbare Zustände umgesetzt werden.“⁹⁷

Weitere Vertreter der klassischen Bioökonomie bzw. Ökologischen Ökonomie sind, neben dem bereits genannten Kenneth Boulding, u. a. Hermann Daly und Robert Costanza. Daly entwickelte, aufbauend auf den Arbeiten von Mill, Boulding und Georgescu-Roegen, ein Modell für eine „Steady State-Economy“⁹⁸. In dieser hat sich ein stabiler Wert für die Weltbevölkerung eingestellt und der Material- und Energieverbrauch nimmt nicht weiter zu.⁹⁹ Im Unterschied zu Mills Theorie stellt sich der Gleichgewichtszustand in Dalys Steady-State-Economy nicht von selbst ein. Daly forderte deshalb politische Maßnahmen, um den Ressourcenverbrauch zu begrenzen.

Auf Costanza geht der Begriff des Naturkapitals und damit letztlich auch das in Abschn. 2.2.3 beschriebene „Natural-Capitalism-Konzept“ zurück. Hawken sowie Hunter und Amory Lovins, die das Konzept entwickelten, beziehen sich auf ihn.¹⁰⁰ Nach Costanzas Definition besteht „Naturkapital aus einem natürlich vorhandenen Ressourcenvorrat, der wie andere Kapitalarten auch regelmäßige Erträge“¹⁰¹ liefert. Dies können Güter wie Holz, aber auch „Ökosystemleistungen“ wie die Reinigung von Wasser und Luft sein. 1997 veröffentlichte Costanza eine Arbeit, in der der ökonomische Wert des Naturkapitals der Erde geschätzt wurde.¹⁰² Hier ist anzumerken, dass der Begriff Naturkapital sowohl in

⁹⁷ Georgescu-Roegen 1987, 8 f.

⁹⁸ Daly 1968, 2012; Daly 2015.

⁹⁹ Kerschner 2010.

¹⁰⁰ Hawken et al. 2000, 5, 154 ff.

¹⁰¹ Costanza und Daly 1992.

¹⁰² Costanza et al. 1997.

der Ökologischen Ökonomie als auch in der Umweltökonomie verwendet wird. Er wird jedoch unterschiedlich ausgelegt. Während in der Umweltökonomie schwindendes Naturkapital durch wirtschaftlich hergestelltes Kapital ersetzt werden kann, geht die Ökologische Ökonomie davon aus, dass ein Ersatz nicht möglich ist und dass es deshalb unbedingt erhalten werden muss.

2.3.1.2 Lesart 2: Bioökonomie als biotechnologisch geprägtes Wirtschaftssystem

In den 1970er- und 80er-Jahren war die Idee einer Bioökonomie mit der Lesart identisch, die in den vorangehenden Abschnitten beschrieben wurde. Sie galt als eine Lebensweise, die wirtschaftliche Aktivitäten an ökologischen und physikalischen Rahmenbedingungen orientiert. Als Synonym für eine Ökologische Ökonomie war sie ein wachstumskritisches Konzept. Dieses Verständnis wandelte sich ab den 1990er-Jahren grundlegend, als das Wort Bioökonomie zu einer Bezeichnung für eine neue Life-Science-Industrie wurde. Nun ging es darum, mithilfe von biologischem Wissen und Knowhow wirtschaftliches Wachstum zu erzeugen. Die „neue Bioökonomie“ entwickelte sich aus den dynamischen Entwicklungen der biotechnischen Wissenschaften und war zunächst in erster Linie auf die wirtschaftliche Nutzung der Gentechnik ausgerichtet, in die in der zweiten Hälfte der 1980er-Jahre nahezu alle chemischen und pharmazeutischen Großunternehmen investiert hatten. Ein wichtiger Faktor bei diesem Boom war die neue Möglichkeit, Lebewesen zu patentieren.¹⁰³

Vielleicht die Erste, die den Begriff Bioökonomie in diesem Kontext verwendete, war Bernadine Healy. Die damalige Direktorin des U.S. National Institutes of Health (NIH) ging aufgrund enormer Wissenszuwächse auf medizinischem und biologischem Gebiet davon aus, dass die Wirtschaft des 21. Jahrhunderts durch biotechnische Verfahren geprägt sein würde. Diese neue Wirtschaft nannte sie Bioökonomie. Healy erwartete eine „Revolution“ in den Life Sciences, die ihrer Ansicht nach nicht nur die Medizin, sondern auch die Bereiche Landwirtschaft, Chemische Industrie, Umweltwissenschaften und Mikroelektronik erfassen würde.¹⁰⁴

Obwohl Healy das Wort Bioökonomie bereits 1994 für eine biotechnologisch ausgerichtete Wirtschaft verwendete, wird der Beginn des neuen bioökonomischen Denkens in der Literatur meistens nicht mit ihr, sondern mit Juan Enríquez-Cabot und Rodrigo Martinez in Verbindung gebracht.¹⁰⁵ Genannt wird in der Regel ein schriftlich nicht weiter dokumentierter Vortrag¹⁰⁶, den die beiden Genetiker 1997 auf einer Veranstaltung der American Association for the Advancement of Science

¹⁰³ United Nations Conference on Trade and Development – Intellectual Property Unit 1980.

¹⁰⁴ Frisvold et al. 2021, S. 4; Healy 1994, S. 13.

¹⁰⁵ Braun 2017; Gottwald und Krätzer 2014, S. 12.

¹⁰⁶ Persönliche Mitteilung von Martinez.

hielten. Ihm folgte 1998 ein Science-Artikel von Enríquez-Cabot mit dem Titel „Genomics and the world’s economy“¹⁰⁷, in dem er die von ihm erwarteten fundamentalen Veränderungen durch die wirtschaftliche Nutzung genetischer Kenntnisse beschreibt. Er geht von einer umfassenden Transformation industrieller Strukturen aus, durch die traditionelle Branchen wie Pharmazie, Biotechnologie, Landwirtschaft, Lebensmittelindustrie, Chemische Industrie und Informationstechnologie zu einer neuen Life-Science-Industrie konvergieren. Als deren „Rohstoff“ gelten genetische Daten bzw. genetisches Wissen.

Den Begriff Bioökonomie verwendete Enríquez in seinem Science-Artikel nicht. In einer späteren Veröffentlichung von 2003, die er zusammen mit Martínez und Jonathan West verfasste, wird die neue Life-Science-Industrie jedoch als „Biotechnomy“ bezeichnet. Die Wortschöpfung setzt sich aus den vorderen Silben des Wortes Biotechnology und den hinteren des Wortes Economy zusammen.¹⁰⁸ Der Begriff Biotechnomy bezeichnet also grundsätzlich dasselbe wie Healys Bioökonomie.

Das Konzept einer biotechnisch ausgerichteten Bioökonomie wurde in der Folgezeit immer populärer. Von internationalen Organisationen wie der OECD, Ländern wie den USA und Deutschland sowie Staatengemeinschaften wie der Europäischen Union wurden Strategien entwickelt, die wirtschaftlich auf Biotechnologie setzen und eine Bioökonomie zum Ziel haben. Die OECD veröffentlichte beispielsweise 2009 das Dokument „The Bioeconomy to 2030. Designing a policy agenda“¹⁰⁹ (Zitat 2.16). Ihm gingen andere OECD-Publikationen voraus, die das wirtschaftliche Potenzial der Biotechnologie behandelten und in denen die Vision einer biobasierten Wirtschaft formuliert wurde.¹¹⁰

Zitat 2.16: OECD (2009)



„[...] the bioeconomy can be thought of as a world where biotechnology contributes to a significant share of economic output. [...] A bioeconomy involves three elements: biotechnological knowledge, renewable biomass, and integration across applications.“¹¹¹

In den USA wurde 2012, zur Zeit der Obama-Regierung, vom Weißen Haus der „National Bioeconomy Blueprint“ veröffentlicht. Er orientiert sich an den Ideen, die zuvor die OECD und der US-amerikanische National Research Councils

¹⁰⁷ Enríquez 1998.

¹⁰⁸ The Conversation 2013; Martínez et al. 2003. Der Artikel Martínez et al. 2003 ist mit dem Satz „Welcome to the Biotechnomy“ übertitelt.

¹⁰⁹ OECD 2009.

¹¹⁰ OECD 2002, 2004.

¹¹¹ OECD 2009, S. 22.

(NRC) formuliert hatten.¹¹² Letzterer hatte wie die OECD vorgeschlagen, die wissenschaftlichen und technischen Fortschritte der Biowissenschaften mehr als zuvor wirtschaftlich zu nutzen.¹¹³ Unter anderem ging es darum, Nutzpflanzen an sich verändernde Umgebungen anzupassen, um so Nahrungsmittel effizienter herstellen zu können. Durch die Anwendung von biologischem Wissen sollten Ökosysteme nicht nur besser verstanden werden, das Wissen sollte auch dazu verwendet werden, sie zu schützen, neu zu gestalten und wiederherzustellen. Es ging jedoch auch darum, sie gezielt umzugestalten.¹¹⁴ Von der Biotechnologie wurde erwartet, dass sie Alternativen zu fossilen Brennstoffen entwickelt und in Form einer personalisierten Medizin individuelle Behandlungen ermöglicht.¹¹⁵ Neu im Vergleich zum NRC-Dokument war, dass der Energiesektor im Blueprint als eigener Zielbereich definiert wurde. Pflanzen sollten auf ihre energetische Nutzung hin gentechnisch optimiert werden¹¹⁶ (Zitat 2.17).

Zitat 2.17: National Bioeconomy Blueprint (USA 2012)



„A bioeconomy is one based on the use of research and innovation in the biological sciences to create economic activity and public benefit.“¹¹⁷

In Europa wurden in den 2000er-Jahren Konzepte für eine „wissensbasierte Bioökonomie“ entwickelt. Zu nennen sind hier die Konferenzen in York (2004)¹¹⁸, Brüssel (2005)¹¹⁹ und Köln (2007)¹²⁰. Der Bericht der Kölner Veranstaltung wurde auch als „Cologne Paper“ oder „Kölner Erklärung“ bekannt. Bis sich der Begriff Bioökonomie aber sprachlich etablierte, verging Zeit. In dem Bericht, den die EU zur York-Konferenz herausgab, ist zwar im Titel von einer Bioökonomie die Rede, ansonsten aber wird stattdessen von einer biobasierten Wirtschaft gesprochen. In dieser sollten, insbesondere mithilfe gentechnischer Verfahren, vermarktbar Produkte aus Pflanzen hergestellt werden¹²¹ (Zitat 2.18).

¹¹²National Research Council 2009; The White House 2012, S. 1.

¹¹³National Research Council 2009, S. 1.

¹¹⁴„Design of ecosystems“, The White House 2012, S. 12.

¹¹⁵National Research Council 2009, 4 ff.

¹¹⁶The White House 2012, S. 10.

¹¹⁷The White House 2012, S. 7.

¹¹⁸Europäische Kommission 2005b.

¹¹⁹Europäische Kommission 2005a.

¹²⁰Europäische Union 2007.

¹²¹Europäische Kommission 2005b, S. 5.

Zitat 2.18: York-Konferenz (2004)



„Any research agenda or plant genomics and biotechnology platform developing biobased products would have to be a concerted marriage of the ‘white’ together with the ‘green’ and ‘blue’ biotechnology sectors as bioprocessing in all its formats would be a key element of any planned biobased economy.“¹²²

Eine wichtige Rolle bei der Entwicklung der europäischen Bioökonomie spielte die 2005er-Konferenz in Brüssel. Hier wurde das Konzept einer wissensbasierten Bioökonomie formuliert und die Bioökonomie als Teil der „Lissabon Strategie“ ausgewiesen. Letztere stand für die Vision einer wissensbasierten Gesellschaft, in der Wissen gezielt hergestellt wird, um es wirtschaftlich zu nutzen¹²³. In einer wissensbasierten Bioökonomie sollten dementsprechend mit den Erkenntnissen der Biowissenschaften neue, nachhaltige, ökoeffiziente und wettbewerbsfähige Produkte entwickelt werden (Zitat 2.19). Es galt die Wettbewerbsfähigkeit Europas durch eine geringere Abhängigkeit von fossilen Rohstoffen und durch neue Waren und Dienstleistungen zu verbessern. Die Entwicklung der Bioökonomie wird, nach den Vorstellungen der Brüsseler Konferenz, durch das Zusammenwachsen von Biotechnologie und anderen Wissensbereichen wie die Nano- und Informationstechnologie vorangetrieben.¹²⁴

Zitat 2.19: Brüsseler Konferenz (2005)



„When we speak about the knowledge economy in general, we should obviously discuss one of its important components – the knowledge-based bio-economy. I understand it as finding ways to maximize the potential of biotechnology for the benefit of our economy, society and environment.“¹²⁵

Aus dem Titel der Brüsseler Konferenz „New Perspectives on the Knowledge-Based Bio-Economy (KBBE)“ und ihrem Untertitel „Transforming life sciences knowledge into new, sustainable, eco-efficient and competitive products“ entwickelte sich in der Folge die in der Kölner Erklärung formulierte Definition einer wissensbasierten Bioökonomie (Zitat 2.20). Dabei handelt es sich um die Generie-

¹²² Europäische Kommission 2005b, S. 6.

¹²³ Heidenreich 2002, S. 336.

¹²⁴ Potočnik 2005, 4 f.

¹²⁵ Potočnik 2005, S. 3.

rung von Wissen in den Life Sciences und dessen Überführung in die Entwicklung neuer, nachhaltiger, ökoeffizienter und wettbewerbsfähiger Produkte.

Zitat 2.20: Kölner Erklärung (2007)



„Knowledge-Based Bio-Economy (KBBE) can be concisely defined as transforming life sciences knowledge into new, sustainable, eco-efficient and competitive products.“¹²⁶

Ebenso wie der Konferenzbericht von 2005 hebt die Kölner Erklärung die wirtschaftliche Bedeutung der Biotechnologie hervor. Es wurde erwartet, dass sie bis 2030 einer der wichtigsten europäischen Wirtschaftsbereiche sein und zur Bewältigung globaler Herausforderungen beitragen würde. Zu diesen rechnet die Kölner Erklärung eine wachsende und alternde Bevölkerung, begrenzte Rohstoff-, Energie- und Wasserressourcen sowie den Klimawandel. Die Biotechnologie, so die Kölner Erklärung, würde die Entwicklung einer Wirtschaft mit nachhaltigem Wachstum erleichtern, die Beschäftigung und Energieversorgung sicherstellen und den europäischen Lebensstandard sichern. Ermöglicht werden soll das durch die biomassebasierte Herstellung von chemischen Produkten, Biokraftstoffen, Polymeren und Fasern sowie von Pharmazeutika. Konflikte mit der Lebensmittelproduktion, die sich durch limitierte Ackerflächen ergeben, können laut Kölner Erklärung u. a. durch gentechnisch veränderte Pflanzen gelöst werden.¹²⁷

Zu erwähnen ist noch, dass die Kölner Erklärung die Themenfelder, die der Bioökonomie zugerechnet werden, im Vergleich zum Bericht der 2005er-Konferenz deutlich erweitert. Beispielsweise wird dort die Bionik, da sie biologisches Wissen nutzt, auch zur Bioökonomie gerechnet.¹²⁵ Dabei wird der Begriff Bionik weit ausgelegt. Neben bionischen Materialien werden beispielsweise auch Roboter, die das Verhalten von Menschen nachahmen, und Schnittstellen, die Gehirnzellen mit Computern verbinden, als mögliche bionische bzw. bioökonomische Anwendungen genannt.¹²⁸ Mehr als zwei Jahre zuvor bei der Brüsseler Konferenz werden in der Kölner Erklärung auch eine Biomassenutzung und ökologische Aspekte wie der Klimawandel angesprochen.¹²⁹ Begründet wird die Bekämpfung des Klimawandels aber ausschließlich mit wirtschaftlichen Argumenten²¹⁵ (Zitat 2.21).

¹²⁶ Europäische Union 2007, S. 2.

¹²⁷ Europäische Union 2007, S. 7.

¹²⁸ Europäische Union 2007, S. 12.

¹²⁹ Europäische Union 2007, 6 ff.

Zitat 2.21: Kölner Erklärung (2007)



„The most urgent and challenging issue is climate change which calls for effective measures to reduce the release of greenhouse gases and to promote the transition from conventional fossil fuels to alternative and renewable sources [...] Early action on the issue of climate change is mandatory as it is the only cost-effective strategy.“¹³⁰

Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass Lesart 2 die Bioökonomie als eine auf biologischem Wissen aufbauende Wirtschaftsform beschreibt. Sie ist hauptsächlich dazu da, wirtschaftliches Wachstum zu generieren. Der Ersatz fossiler Rohstoffe durch Biomassen wird zwar angesprochen, ist aber noch von untergeordneter Bedeutung. Insgesamt gilt, je neuer die Dokumente sind, die sich mit der Bioökonomie befassen, desto wichtiger werden ökologische Argumente. Ab dem Jahr 2010 ist in offiziellen Dokumenten, die zum Thema Bioökonomie herausgegeben wurden, deshalb eine Veränderung der Ausrichtung festzustellen. Der Fokus verlagerte sich von einer biotechnologisch bzw. gentechnischen Ausrichtung auf die Nutzung nachwachsender Rohstoffe.

2.3.1.3 Lesart 3: Bioökonomie als neue Kohlenstoffwirtschaft

Die dritte Lesart der Bioökonomie bezieht sich auf den Ersatz fossiler durch nachwachsende Rohstoffe. Der Ansatz setzt eine intensivere landwirtschaftliche Biomasseproduktion als heute voraus, um nicht nur Nahrungsmittel, sondern auch genügend Rohstoffe für die Industrie zur Verfügung zu haben.

Biomassen nicht nur als Nahrungsmittel, sondern auch zur Herstellung von Produkten zu nutzen, ist allerdings keine neue Idee. Bevor mit der industriellen Revolution fossile Rohstoffe ihre heutige Bedeutung erlangten, waren sie eine unentbehrliche ökonomische Ressource, und der wichtigste Rohstoff war Holz. Erwähnenswert ist in diesem Zusammenhang die US-amerikanische „Chemurgy“-Initiative. Sie wurde in den 1930er-Jahren von dem damaligen Dow-Chemical-Direktor William Jay Hale initiiert. Hayles Konzept hatte bereits große Ähnlichkeit mit heutigen Bioökonomiestrategien: Die Chemurgy-Initiative suchte nach Nutzungsmöglichkeiten für landwirtschaftliche Überschüsse. Aufmerksamkeit erregte 1941 die Vorstellung eines „Sojabohnenautos“ durch Henry Ford, dessen Kunststoffkarosserie zum Teil aus nachwachsenden Rohstoffen hergestellt worden war. Wie auf der Homepage des Benson Ford Research Centers angegeben wird, ist die genaue Rezeptur heute unbekannt. Sojabohnen, Flachs, Hanf, Chinagrass und Weizen könnten bei ihrer Entwicklung eine Rolle gespielt haben, wahrscheinlich aber bestanden die Kunststoffteile aus mit Phenolharz imprägnierten Sojabohnenfasern.¹³¹ Das Sojabohnenauto erinnert an das „Bioconcept-Car“, einen Sportwagen, der 2014 in Berlin als bioöko-

¹³⁰ Europäische Union 2007, 6 f.

¹³¹ Benson Ford Research Center 2015.

nomisches Produkt präsentiert wurde und ebenfalls über Bauteile verfügte, die aus nachwachsenden Rohstoffen hergestellt wurden.¹³² Weiter lassen sich auch Parallelen institutioneller Art erkennen. So gab es mit dem „National Farm Chemurgic Council“ ein staatliches Gremium, das vielleicht an den heutigen deutschen Bioökonomierat (Exkurs 1) erinnert.¹³³

Exkurs 1: Der Bioökonomierat

Seit 2009 wird die Bundesregierung in Sachen Bioökonomie durch den Bioökonomierat beraten. Seine Institutionalisierung geht auf das Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) und das damalige Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz (BMELV) zurück.¹³⁴ Bis 2012 war der Rat bei der Deutschen Akademie für Technikwissenschaft (acatech) angesiedelt.¹³⁵ Er galt als sehr industrienahe und technologieorientiert.¹³⁶ Nach einer Neubesetzung, die auch 2012 erfolgte, galt seine Zusammensetzung als ausgewogener, weil neben den Vertretern und Vertreterinnen großer Konzerne auch Angehörige mittelständischer Biotechnologiefirmen vertreten waren und die Ausrichtung insgesamt interdisziplinärer wurde.¹³⁷ Der dritte Bioökonomierat nahm 2020 seine Arbeit auf. Zu seinen Aufgaben gehört es auch, öffentliche Debatten zur Bioökonomie zu fördern, die Zivilgesellschaft zu beteiligen und Konflikte zu thematisieren.¹³⁸

Nach dem Zweiten Weltkrieg, als Erdöl die chemische Produktion dominierte, wurde das Chemurgy-Konzept nicht mehr weiterverfolgt. Heute ist der Begriff weitgehend unbekannt. Dass das Konzept bei der Entwicklung von Bioökonomiestrategien keine Rolle spielte, ist auch daran erkennbar, dass der Wandel in der Ausrichtung der Bioökonomie und die damit verbundene Fokussierung auf nachwachsende Rohstoffe in den USA später eintrat als in Europa, obwohl es sich bei Chemurgy um eine amerikanische Initiative handelte. Der National Bioeconomy Blueprint von 2012¹³⁹ ist im Wesentlichen noch an Biotechnologie interessiert, und erst der „Federal Activities Report on the Bioeconomy“ von 2016¹⁴⁰ setzt einen seiner Schwerpunkte bei der Biomassenutzung. Diese Entwicklung ist in Europa früher erkennbar. Unserer Ansicht nach kann die Kölner Erklärung bereits als eine

¹³² Grefe 2016, 17 f.; Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe (FNR) 2013.

¹³³ Kamm et al. 2016, 5 f.; Bud 1995, S. 62.

¹³⁴ Bundesregierung 2014, S. 97.

¹³⁵ Grefe 2016, S. 30; Gottwald und Krätzer 2014, S. 38.

¹³⁶ Vertreten waren Repräsentanten der BASF, der KWS SAAT SE & Co. KGaA und der DOW-AgroSciences LLC, dem Deutschen Bauern- und Waldbesitzerverband und industrienahe Forschungsinstituten. Grefe 2016, S. 30, Gottwald und Krätzer 2014, S. 36.

¹³⁷ Grefe 2016, S. 31; Gottwald und Krätzer 2014, S. 41.

¹³⁸ Bundesregierung 2020b, S. 50; bioökonomie.de 2020.

¹³⁹ The White House 2012.

¹⁴⁰ Biomass R&D Board 2016.

Art Übergangsdokument angesehen werden, in dem sich der Bedeutungswandel ankündigt. Obwohl in ihr noch eine auf gentechnischem Wissen aufbauende Bioökonomie im Vordergrund steht, wird die Nutzung von Biomasse bereits intensiver diskutiert als auf der Brüsseler Konferenz zwei Jahre zuvor.¹⁴¹ In den Bioökonomiestrategien Deutschlands von 2010 und der EU von 2012 setzt sich dieser Trend dann fort. Beide Dokumente zielen bereits hauptsächlich auf die Nutzung nachwachsender Rohstoffe (Zitat 2.22). Bio- bzw. gentechnische Verfahren haben in beiden Strategien ihre zentrale Stellung verloren, die sie auf der Brüsseler Konferenz von 2005 noch hatten. In der deutschen Strategie sind sie nur noch „Impulsgeber“, die helfen sollen, Produktionsprozesse mit Biomassen ressourceneffizient und umweltfreundlich zu gestalten¹⁴² (Zitat 2.23).

Zitat 2.22: Europäische Kommission, Bioökonomiestrategie (2012)



„The bioeconomy encompasses the production of renewable biological resources and their conversion into food, feed, bio-based products and bioenergy. It includes agriculture, forestry, fisheries, food and pulp and paper production, as well as parts of chemical, biotechnological and energy industries.“¹⁴³

Zitat 2.23: Deutsche Bioökonomiestrategie (2010)



„Als einer der wichtigsten Impulsgeber für bio-basierte Innovationen gilt die Biotechnologie. [...] So eröffnet die Biotechnologie der Wirtschaft die Möglichkeit, ressourcenschonender und effizienter, also nachhaltiger zu wirtschaften, und damit Alternativen zu erdöl-basierten Rohstoffen zu entwickeln.“¹⁴⁴

Die Gründe für diese Neuausrichtung waren unterschiedlich. In den USA wurde beispielsweise auch die nationale Sicherheit genannt.¹⁴⁵ Die EU und Deutschland wollten vor allem vom Import fossiler Rohstoffe unabhängiger und wettbewerbsfähiger werden.¹⁴⁶ Hinzu kam, dass der Klimawandel in der öffentlichen Wahrnehmung zu einem immer größer werdenden Problem wurde und der Ersatz fossiler Stoffe durch nachwachsende Rohstoffe hier einen Ausweg anzubieten schien. Biomassen gelten als CO₂-neutral, weil sie bei ihrer energetischen oder stofflichen

¹⁴¹ Europäische Union 2007, S. 7.

¹⁴² BMBF 2010, 3,10.

¹⁴³ Europäische Kommission 2012, S. 16.

¹⁴⁴ BMBF 2010, S. 10.

¹⁴⁵ Backhouse et al. 2017, S. 16.

¹⁴⁶ BMBF 2010, S. 2.

Nutzung theoretisch nur so viel CO₂ freisetzen, wie sie während ihres Wachstums aus der Atmosphäre aufgenommen haben. Dies gilt jedoch nur in einer idealen Betrachtung, die auf die reale landwirtschaftliche Biomasseproduktion nicht in Gänze angewendet werden kann. Ziel der europäischen Strategie war, ähnlich wie bei der deutschen, aus nachwachsenden Rohstoffen biobasierte Materialien, Bio- und Kraftstoffe sowie Nahrungs- und Futtermittel für eine postfossile Wirtschaft herzustellen.¹⁴⁷ In der 2012er-Strategie ist Bioökonomie ein Schlüssel für „intelligentes und grünes Wachstum“¹⁴⁸. Sie kann deshalb auch als Teil in eine Green Economy eingeordnet werden (Abschn. 1.6).

In der deutschen Strategie werden auch Zielkonflikte benannt, die bei der Erzeugung von Biomasse eine Rolle spielen, allerdings ohne die Rohstoffsubstitution durch Biomasse grundsätzlich in Zweifel zu ziehen. Stattdessen sollte auf einer durch den Klimawandel kleiner werdenden landwirtschaftlichen Nutzfläche mehr Biomasse produziert werden.¹⁴⁹ Die hierfür erforderliche Steigerung des Flächenertrags glaubte man mithilfe gentechnisch veränderter Pflanzen, dem Einsatz digitaler Technologien und dem Ersatz tierischer Proteine durch pflanzliche bei der Ernährung erreichen zu können.¹⁵⁰ Ein wichtiges Argument zur Begründung einer Bioökonomie liefert in der deutschen Strategie auch das Kreislaufmotiv. Sie wird mit seiner Hilfe sogar definiert und als eine am „natürlichen Stoffkreislauf orientierte Wirtschaft“ beschrieben (Zitat 2.24).

Zitat 2.24: Deutsche Bioökonomiestrategie (2010)



Bioökonomie: „Eine am natürlichen Stoffkreislauf orientierte, nachhaltige bio-basierte Wirtschaft, deren vielfältiges Angebot die Welt ausreichend und gesund ernährt sowie uns mit hochwertigen Produkten aus nachwachsenden Rohstoffen versorgt.“¹⁵¹

2.3.2 Bioökonomie ist umstritten

Mittlerweile¹⁵² wurden weltweit von etwa 50 Staaten Bioökonomiestrategien entwickelt.¹⁵³ In den meisten wird die Notwendigkeit einer Bioökonomie mit

¹⁴⁷ Europäische Kommission 2012, S. 4.

¹⁴⁸ Europäische Kommission 2012, 1,9.

¹⁴⁹ BMBF 2010, 4,18.

¹⁵⁰ BMBF 2010, 20 f.

¹⁵¹ BMBF 2010, S. 3.

¹⁵² Stand 2020

¹⁵³ Bundesregierung 2020b, S. 17.

globalen Herausforderungen wie dem Klimawandel und der wachsenden Weltbevölkerung begründet. Die Bioökonomie soll zur Sicherung der Ernährungssicherheit beitragen, die Energie- und Wasserversorgung gewährleisten und fossile Rohstoffe ersetzen.¹⁵⁴ Aufgrund der unterschiedlichen Bedeutungen, die ihr zugeschrieben werden, ist es nicht überraschend, dass sich die Strategien in ihrer Schwerpunktsetzung unterscheiden. Oft liegt eine Mischung aus den Lesarten 2 und 3 vor. Der Ersatz fossiler Rohstoffe durch Biomassen spielt jedoch inzwischen in fast allen Dokumenten eine Rolle, wenn auch mit unterschiedlicher Gewichtung.

Welches Potenzial aber hat die Bioökonomie und welche Risiken sind mit ihr verbunden? Dieser Frage geht auch Christiane Grefe in ihrem 2016 erschienenen und vielbeachteten Buch „Global Gardening“¹⁵⁵ nach, auf das wir uns bereits im Vorwort bezogen haben. Die Autorin zeichnet in ihrer Recherche ein differenziertes Bild, in dem sowohl die Bioökonomie ablehnende als auch befürwortende Stimmen zu Wort kommen. An der Bioökonomie scheiden sich tatsächlich die Geister. Für die einen ist sie ein Hoffnungsträger im Bemühen um eine nachhaltige Gesellschaft, für die anderen schafft sie mehr ökologische Probleme, als sie lösen kann (Zitat 2.25).

Zitat 2.25: Christiane Grefe (*1957)



„Teufel versus Beelzebub: Wie nachhaltig ist die Bioökonomie? Trotz des politischen Wandels, den das Bioökonomie-Projekt durchlaufen hat, vom Fokus auf Biotechnologie und der schieren Substitution fossiler Quellen zum Bemühen um ein globales Ressourcenmanagement: Viele Kritiker sehen die Bioökonomie noch immer als Teil des Problems [...]. Denn was in den neuen, nachdenklicheren Papieren des Bioökonomierates, der Bundesregierung und auch der EU-Kommission steht, ist eine Sache – eine andere aber ist die Realität der Märkte und durchsetzungsfähiger ökonomischer Interessen [...]. So löst, was für die Verfechter der Bioökonomie den weitsichtigen Durchbruch ins postfossile Zeitalter verheißt, vor allem bei Umwelt- und Entwicklungsorganisationen und auch bei vielen Wissenschaftlern noch immer erhebliche Befürchtungen aus. Biomasse sei keineswegs vorbehaltlos ‚der Stoff, aus dem die Zukunft wächst‘, heißt es in einem kritischen Kommentar der Welthungerhilfe. Einige Umwelt- und Entwicklungsorganisationen halten sie überdies für die Ummantelung einer langfristigen Einführung neuer gentechnischer Verfahren. [...] Eine Bioökonomie, die diese Richtung einschlägt, verstärke die fatale Entwicklung, das Lebendige zum Material zu degradieren.“¹⁵⁶

¹⁵⁴Backhouse et al. 2017, S. 26.

¹⁵⁵Grefe 2016.

¹⁵⁶Grefe 2016, S. 34–35.

Befürworter wie das BMBF wollen mit der Bioökonomie „Ökonomie und Ökologie für ein nachhaltiges Wirtschaften [...] verbinden“¹⁵⁷. Sie erwarten, dass fossile Rohstoffe ersetzt werden und die Wirtschaft trotzdem mit Ressourcen versorgt wird. Die Bioökonomie soll „Lösungen zur Bewältigung der großen Herausforderungen des 21. Jahrhunderts“ liefern, „die Welt [...] mit hochwertigen Produkten aus nachwachsenden Rohstoffen“ versorgen, „die Wettbewerbsfähigkeit der deutschen Wirtschaft [...] stärken“ und zu einer klimaneutralen Entwicklung“ beitragen¹⁵⁸.

Die Kritik an ihr setzt an mehreren Stellen an. Unter anderem wird darauf aufmerksam gemacht, dass zwar Begriffe aus dem Umwelt- und Nachhaltigkeitsdiskurs verwendet werden, die die bioökonomische Wirklichkeit aber nicht widerspiegeln. Statt die Natur zu schützen, so der Vorwurf, wird sie wirtschaftlichen Interessen untergeordnet, beispielsweise, indem natürliche Anbauzyklen in der Landwirtschaft an industrielle Bedürfnisse angepasst werden. Kritikerinnen und Kritiker sprechen in diesem Zusammenhang von einer „Kommerzialisierung“ oder „Neoliberalisierung von Natur“. Die Bioökonomie, so der Vorwurf, folge den Interessen großer Unternehmen, um umstrittene Technologien wie die Gentechnik oder die synthetische Biologie gesellschaftsfähig zu machen.¹⁵⁹ Gottwald und Krätzer vergleichen sie deshalb sogar mit einem trojanischen Pferd.¹⁶⁰

Bemängelt wird auch, dass die Bioökonomie auf globale Herausforderungen ausschließlich technologische Antworten gibt. Sie setze auf wirtschaftliches Wachstum, heißt es, und orientiere sich nicht an Suffizienzstrategien.¹⁶¹ In der Praxis, so die Kritik, wird oftmals nur ein biologischer Ausgangsstoff statt eines fossilen verwendet, ohne die Produktions- und Konsummuster zu verändern. Der Begriff Suffizienz kommt zwar in der deutschen Bioökonomiestrategie von 2020 vor,¹⁶² ein erkennbarer Teil der Strategie ist Suffizienz aber nicht.

Ein weiterer Kritikpunkt besteht in der Aussage, dass eine Bioökonomie, die Biomassen für die Nahrungsmittelherstellung, biobasierte Produkte und Bioenergie bereitstellen will, ökologische Grenzen nicht einhalten kann. Diese ergeben sich aus der begrenzten Belastbarkeit von natürlichen Lebensräumen und Ressourcen sowie aus der Zeit, die diese für ihre Regeneration benötigen.¹⁶³ In der Strategie der Bundesregierung von 2020 wird zwar darauf hingewiesen, dass die Bioökonomie diese Grenzen berücksichtigen soll, welchen Umfang sie aber dann noch haben kann, bleibt unklar. Durch den Klimawandel, Bodendegradierung und Ausdehnung der Siedlungsflächen ist damit zu rechnen, dass die landwirtschaft-

¹⁵⁷ Bundesregierung 2020b, S. 4.

¹⁵⁸ Bundesregierung 2020b, 10, 14; BMBF 2010, S. 2.

¹⁵⁹ Birner 2018, S. 24; Gottwald und Krätzer 2014, S. 17; Kiresiewa et al. 2019, 104 111.

¹⁶⁰ Gottwald und Krätzer 2014, 42 ff., 112.

¹⁶¹ Kiresiewa et al. 2019, S. 103; Ober und Huwe 2020.

¹⁶² Bundesregierung 2020b, S. 33.

¹⁶³ Bundesregierung 2020b, S. 60.

lich nutzbare Fläche kleiner wird¹⁶⁴ und dass die Herstellung von biobasierten Produkten zunehmend in Konkurrenz zu anderen Flächenfunktionen gerät, sei es als Raum für Lebewesen oder zur Herstellung von Nahrungsmitteln¹⁶⁵. Obwohl in der Kölner Erklärung noch erwartet wurde, dass die Produktion von Biomasse in Entwicklungsländern höhere Einkommen, mehr Unabhängigkeit und politische Stabilität schafft,¹⁶⁶ führt die Flächenkonkurrenz in der Praxis auch zu Zielkonflikten. Sie kann, wie Tittor schreibt, bereits heute zu Landflucht, Erkrankungen, Entwaldung und Artenverlust führen.¹⁶⁷ Laut Bundesregierung soll Biomasse aber „unter Berücksichtigung ökologischer und ethischer Kriterien produziert und effizient eingesetzt“¹⁶⁸ werden. Trotz des klaren Bekenntnisses in den neueren Strategien, dass die Sicherung der weltweiten Ernährung stets Vorrang habe, bleibt aber unklar, wie diese Vorgabe in einer globalen Marktwirtschaft sichergestellt werden kann.¹⁶⁹ Vorgeschlagen wird eine Ertragssteigerung und die effizient und „verantwortungsbewusste“ Nutzung von Biomassen,¹⁷⁰ beispielsweise durch eine kaskadische Nutzung von biologischen Abfällen.¹⁷¹ Weitere Optimierungsmöglichkeiten werden in der Rekultivierung degradierter, ungenutzter oder nicht effizient genutzter Flächen gesehen.

Der Kritik an der Bioökonomie stellt sich auch der aktuelle Bioökonomierat (Exkurs 1). Er konstatiert, dass es unterschiedliche Auffassungen darüber gibt, ob eine am Wachstumsmodell der aktuellen Wirtschaft orientierte Bioökonomie nachhaltig sein kann (Zitat 2.26).

Zitat 2.26: 3. Bioökonomierat (2022)



„Es gibt allerdings nach wie vor unterschiedliche Auffassungen darüber, ob Bioökonomie Nachhaltigkeitsziele erreichen kann, wenn sie einer traditionellen Orientierung an Parametern wirtschaftlichen Wachstums folgt oder die Verwirklichung der SDGs stärker als bisher auf einer veränderten Wirtschaftsweise und Suffizienz beruhen sollte, was auch Konsequenzen für die Ausgestaltung der Bioökonomie hätte.“¹⁷²

¹⁶⁴ Bundesregierung 2020b, S. 4; BMBF 2010, S. 4.

¹⁶⁵ Kiresiewa et al. 2019, S. 99.

¹⁶⁶ Europäische Union 2007, S. 4.

¹⁶⁷ Tittor 2020.

¹⁶⁸ Bundesregierung 2020a, 4, 10.

¹⁶⁹ Bundesregierung 2020b, S. 10; Kiresiewa et al. 2019, S. 100.

¹⁷⁰ Bundesregierung 2020b, S. 15.

¹⁷¹ Bundesregierung 2020b, S. 39.

¹⁷² Bioökonomierat 2022, S. 9.

2.3.3 Welcher Nachhaltigkeitsstrategie folgt die Bioökonomie?

Welche Nachhaltigkeitsstrategien von der Bioökonomie adressiert werden, ist bei ihren jeweiligen Lesarten unterschiedlich. Lesart 1, in der Bioökonomie mit der Ökologischen Ökonomie gleichzusetzen ist, hat eine große inhaltliche Nähe zu Postwachstumsökonomien. Sie integriert zusätzlich zu Effizienz- auch Suffizienz-, Subsistenz- und Kooperationsstrategien. Lesart 2 (Bioökonomie als biotechnologische Revolution) und 3 (Bioökonomie als Nutzung nachwachsender Rohstoffe) sind überwiegend technisch ausgerichtet. In der deutschen Bioökonomiestrategie von 2010 wird beispielsweise Technologieführerschaft durch Bioökonomie angestrebt,¹⁷³ und in anderen Dokumenten heißt es, „bioökonomische Innovationen vereinen biologisches Wissen mit technologischen Lösungen“¹⁷⁴. Sie sind deshalb auch Teil der deutschen Hightechstrategie.¹⁷⁵ Auch wenn die Sozial- und Wirtschaftswissenschaften als wichtig für die Bioökonomie bezeichnet werden und eine Kooperation zwischen ihnen und den Technik- und Naturwissenschaften angemahnt wird, dominieren insgesamt technische Disziplinen. Digitalisierung, künstliche Intelligenz, Nanotechnologie, Miniaturisierung, Robotik und Automatisierung sollen als konvergierende Technologien für die Bioökonomie genutzt werden.¹⁷⁶ Der Wandel zu einer biobasierten Wirtschaft soll mithilfe technologischer Innovationen gelingen.¹⁷⁷ Lesart 2 lässt sich, sofern sie überhaupt auf das Ziel Nachhaltigkeit ausgerichtet ist, als Effizienzstrategie verstehen, da gentechnisch hergestellte „High-Tech-Pflanzen“ eine effizientere Landwirtschaft ermöglichen sollen.¹⁷⁸ Lesart 3 hat eine inhaltliche Nähe zur Green Economy. Sie folgt einer Substitutions- bzw. Konsistenzstrategie, die fossile Rohstoffe durch Biomassen ersetzt.

Insgesamt haben alle uns bekannten Bioökonomiestrategien eine technik-optimistische Perspektive. Sie gehen auch davon aus, dass ökonomisches Wachstum und Nachhaltigkeit vereinbar sind.¹⁷⁹ Je neuer aber die Dokumente zur Bioökonomie sind, desto mehr scheint die technische Fokussierung von ihren Autorinnen und Autoren als Manko erkannt worden zu sein. Ein Bemühen um die Einbeziehung weiterer Nachhaltigkeitsstrategien ist erkennbar. Wie der aktuelle Bioökonomierat in seinem ersten Arbeitspapier schreibt, müssen „neue Techno-

¹⁷³ BMBF 2010, S. 2.

¹⁷⁴ Bundesregierung 2020b, S. 4.

¹⁷⁵ BMBF 2014b, S. 20.

¹⁷⁶ Bundesregierung 2020b, 16,32.

¹⁷⁷ Backhouse et al. 2017, S. 20–21.

¹⁷⁸ Europäische Union 2007, 7,17.

¹⁷⁹ Backhouse et al. 2017, S. 29.

logien zusammen mit sozialen Innovationen“ interagieren. Er fordert deshalb auch Suffizienz ein.¹⁸⁰

2.4 Zirkuläre Bioökonomie

2.4.1 Annäherung von Circular Economy und Bioökonomie

In den letzten Jahren waren Entwicklungen zu beobachten, die Circular Economy und Bioökonomie aufeinander zu beziehen. Diese Tendenz lässt sich gut an der Entwicklung der europäischen Bioökonomiestrategie nachvollziehen.

Die 2012er-Strategie enthielt, neben einer Erläuterung, was unter einer Bioökonomie zu verstehen ist und warum Europa die Bioökonomie braucht, eine Reihe von Maßnahmen, die, wie die Kommission schreibt, dabei helfen sollen, Europa zu einer innovativeren, ressourceneffizienteren und wettbewerbsfähigeren Gesellschaft zu entwickeln.¹⁸¹ Ihr Erfolg sollte ab 2016 überprüft und die Strategie entsprechend aktualisiert werden. Das Ergebnis dieser Evaluation, das die Europäische Kommission 2018 präsentierte, war jedoch mehr als eine Aktualisierung. Es definiert die Bioökonomie neu und bezieht sie auf kreislaufwirtschaftliche Motive.

Grund für diese Neudefinition war einerseits, wie wir vermuten, die zunehmende Kritik an einer nicht nachhaltigen Biomassennutzung, andererseits aber auch, dass 2015 ein Aktionsplan für die Circular Economy verabschiedet wurde, der sich u. a. auch damit auseinandersetzte, welche Rolle Biomassen in einer Circular Economy spielen.¹⁸² Damit war aus Sicht derjenigen, die in der Europäischen Union für die Circular Economy zuständig waren, die Verbindung zwischen der Circular Economy und Bioökonomie hergestellt. Die Bioökonomie könne einen Beitrag zur Circular Economy leisten, heißt es im Circular-Economy-Aktionsplan. Der „Rat Umwelt der Europäischen Union“¹⁸³ forderte daraufhin die Europäische Kommission auf, zu prüfen, wie dieser Beitrag aussehen kann, und die Bioökonomiestrategie entsprechend anzupassen.¹⁸⁴ Im Strategiedokument von 2018 wird deshalb ein anderes Bioökonomieverständnis formuliert als 2012. Während in der 2012er-Strategie von der Circular Economy noch keine Rede ist, spielt sie 2018 eine herausgehobene Rolle. Die Bioökonomie wird sogar als Teil der Circular Economy definiert (Zitat 2.27). Auffällig ist, dass Nachhaltigkeit und Kreislaufführung dabei gleichgesetzt werden.¹⁸⁵

¹⁸⁰ Bioökonomierat 2022, 4,9.

¹⁸¹ Europäische Kommission 2012, 4, 8, 12 ff.

¹⁸² Europäische Kommission 2015b, 20 f.

¹⁸³ Europäischer Rat 2022.

¹⁸⁴ Europäischer Rat 2016; Europäische Kommission 2017, S. 7.

¹⁸⁵ Europäische Kommission 2018, S. 4.

Zitat 2.27: EU-Bioökonomiestrategie (2018)



„A sustainable bioeconomy is the renewable segment of the circular economy.“¹⁸⁶

“To be successful, the European bioeconomy needs to have sustainability and circularity at its heart.“¹⁸⁷

Als neuen Begriff führt die EU den Ausdruck „zirkuläre Bioökonomie“ („Circular Bioeconomy“) ein,¹⁸⁸ der im selben Jahr auch von der OECD verwendet wurde.¹⁸⁹ In Deutschland wurde eine Bioökonomie bereits in der 2010er-Strategie als eine „am natürlichen Stoffkreislauf orientierte, nachhaltige biobasierte Wirtschaft“¹⁹⁰ beschrieben. In einem Dokument, das die Bundesregierung 2014 veröffentlichte, wurde darauf verwiesen, dass bereits die 2010er-Strategie darauf setzt, „den Kohlenstoff-Kreislauf der Natur“, wie in Abb. 2.6 dargestellt, „in einer künftigen biobasierten Industrie abzubilden“¹⁹¹.

Die Zusammenführung der Bioökonomie und Circular Economy wird von der EU damit begründet, dass mit der Aufarbeitung von biomassestämmigen Abfällen bereits „von Anfang an“ ein wichtiges Prinzip der Circular Economy in ihrer Bioökonomiestrategie enthalten war.¹⁹² Ähnliche Formulierungen finden sich in der deutschen Strategie von 2020. Hier wird von einer „Kreislauffähigkeit biogener Rohstoffe“¹⁹³ gesprochen, die „von Natur aus“¹⁹⁴ vorhanden ist. Bioökonomie wird aus dieser Perspektive als eine Art Circular Economy der Natur ausgelegt (Zitat 2.28). Dieser Aspekt ist mit Blick auf die Rolle, die der Natur in der Bioökonomie und Teilen der Circular Economy zugewiesen wird, von großer Bedeutung. Er wird uns im Folgenden, d. h. in Abschn. 5.6, 7.1.6 und 7.2.3, noch beschäftigen.

¹⁸⁶ Europäische Kommission 2018, S. 6.

¹⁸⁷ Europäische Kommission 2018, S. 4.

¹⁸⁸ Europäische Kommission 2017, S. 6.

¹⁸⁹ Philp und Winickoff 2018.

¹⁹⁰ BMBF 2010, S. 3.

¹⁹¹ Bundesregierung 2014, S. 81.

¹⁹² „From the start“, Europäische Kommission 2017, S. 27.

¹⁹³ Bundesregierung 2020b, S. 4,

¹⁹⁴ Bundesregierung 2020b, S. 10.

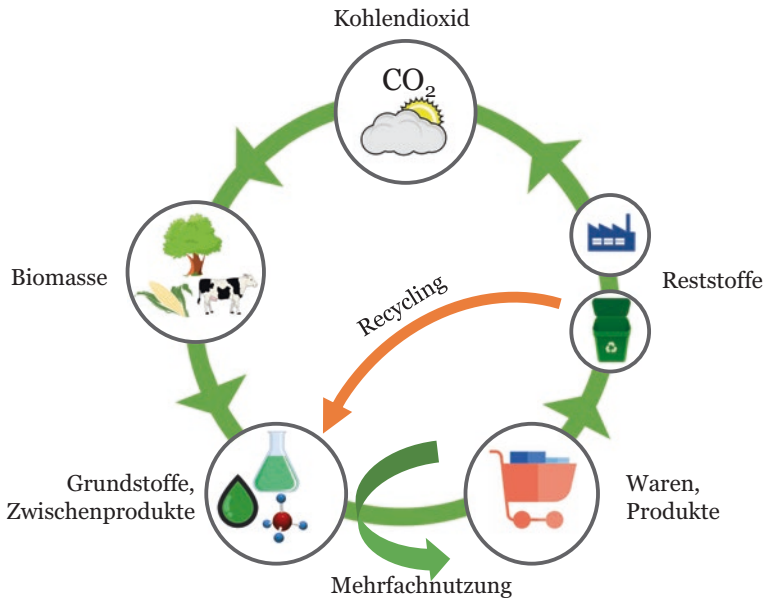


Abb. 2.6 Zirkuläre Bioökonomie.¹⁹⁵ (Eigene Darstellung in Anlehnung an Bundesregierung 2014, S. 81)

Zitat 2.28: Kathryn Sheridan (2016)



„The bioeconomy presents a solution for circularity in materials design and production. Biomaterials are circular by nature as they rely on renewable resources.“¹⁹⁶

2.4.2 Was ist eine zirkuläre Bioökonomie?

Eine zirkuläre Bioökonomie in einer allgemein anerkannten Form zu definieren ist ausgesprochen schwierig. Ein Vorschlag stammt von einem Team um Martin Junginger von der Universität Utrecht.¹⁹⁷ Es untersuchte neun unterschiedliche Publikationen, in denen eine zirkuläre Bioökonomie beschrieben wird. Ihre hieraus abgeleitete Definition ist in Zitat 2.29 wiedergegeben. Zirkuläre Bioökonomie ist demnach die nachhaltige, ressourceneffiziente Verwertung von Biomasse.

¹⁹⁵ In Anlehnung an Bundesregierung 2014, S. 81.

¹⁹⁶ Sheridan 2016, S. 339.

¹⁹⁷ Stegmann et al. 2020.

Zitat 2.29: Paul Stegmann, Marc Londo, Martin Junginger (2020)



„The circular bioeconomy focuses on the sustainable, resource-efficient valorization of biomass in integrated, multi-output production chains (e.g. biorefineries) while also making use of residues and wastes and optimizing the value of biomass over time via cascading. Such an optimization can focus on economic, environmental or social aspects and ideally considers all three pillars of sustainability. The cascading steps aim at retaining the resource quality by adhering to the bio-based value pyramid and the waste hierarchy where possible and adequate.“¹⁹⁸

Dass es so schwierig ist, eine konsensfähige Definition für eine zirkuläre Bioökonomie zu finden, liegt daran, dass Bioökonomie und Circular Economy für sich genommen schon unscharf definiert sind.¹⁹⁹ Wenn beide konzeptionell vermischt werden, wird es nicht leichter, eine Definition zu verabreden.²⁰⁰ Dementsprechend gibt es unterschiedliche Verständnisse, was mit dem Begriff gemeint ist. Stegmann et al. haben sie zu den drei in Abb. 2.7 dargestellten Perspektiven zusammengefasst.²⁰¹

Perspektive 1 betrachtet die zirkuläre Bioökonomie als eine Schnittmenge aus Circular Economy und Bioökonomie.²⁰² Sie wird darüber definiert, was beide Konzepte gemeinsam haben. Hierzu gehören die Ziele Nachhaltigkeit, Ressourceneffizienz und ein geringer CO₂-Fußabdruck.²⁰³ Als weitere Gemeinsamkeiten gelten die Herstellung biobasierter Produkte, die Prinzipien Instandsetzung, Wiederverwendung, Aufbereitung und Recycling, eine Kaskadennutzung, die Verwertung organischer Abfälle, ressourceneffiziente Verwertungsketten und eine biologische Kreislaufführung.²⁰⁴

Aus Perspektive 2 ist die (zirkuläre) Bioökonomie „mehr als nur Bioökonomie und Kreislaufwirtschaft“²⁰⁵ zusammen. Sie fokussiert sich auf Synergien, die zwischen den beiden Konzepten bestehen. Eine Bioökonomie kann aus dieser Perspektive dazu beitragen, unabhängiger von nicht erneuerbaren Ressourcen zu werden, und eine Circular Economy kann helfen, die Bioökonomie ressourceneffizienter zu gestalten. Beide Konzepte verstärken sich hier gegenseitig.²⁰⁶

¹⁹⁸ Stegmann et al. 2020, S. 5.

¹⁹⁹ Temmes und Peck 2020, S. 2.

²⁰⁰ Temmes und Peck 2020, S. 10.

²⁰¹ Stegmann et al. 2020, 4 f.

²⁰² Carus und Dammer 2018a; Falcone et al. 2020; Philp und Winickoff 2018; Mohan et al. 2019.

²⁰³ Falcone et al. 2020, S. 1.

²⁰⁴ Carus und Dammer 2018b.

²⁰⁵ „Circular bioeconomy is more than bioeconomy or circular economy alone“, Hetemäki et al. 2017, S. 14.

²⁰⁶ Hetemäki et al. 2017, S. 14; D’Amato et al. 2020.

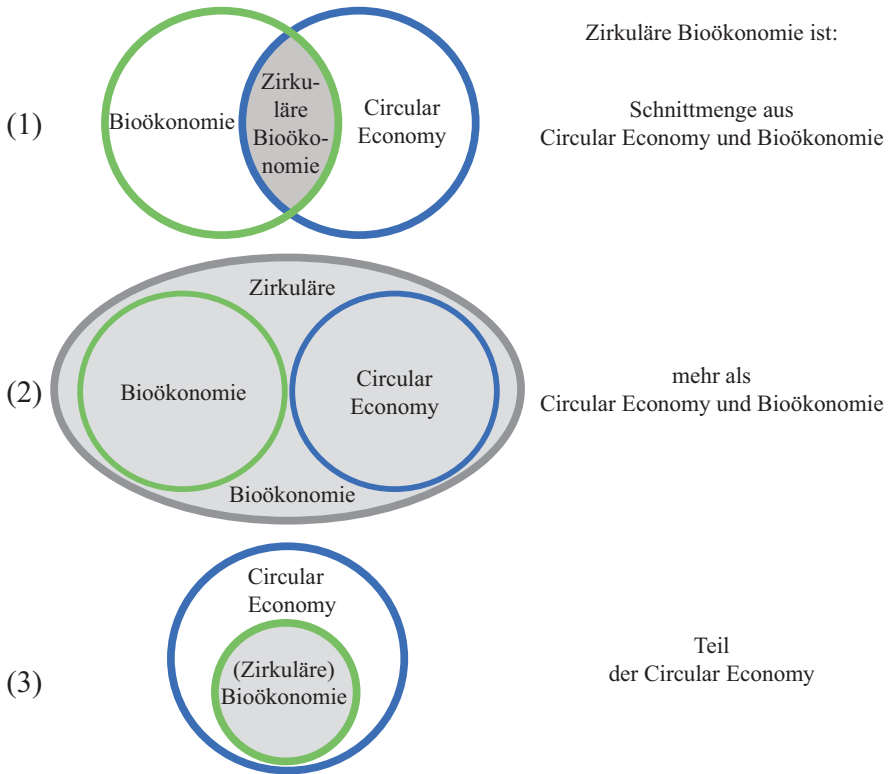


Abb. 2.7 Was ist zirkuläre Bioökonomie? Unterschiedliche Perspektiven nach Stegmann et al.²⁰⁷ (Eigene Darstellung in Anlehnung an Stegmann et al. 2020, S. 4)

Für Betrachter und Betrachterinnen mit Perspektive 3 ist die Bioökonomie Teil eines übergreifenden Circular-Economy-Konzepts, wie es beispielsweise durch das „Schmetterlingsdiagramm“ der Ellen MacArthur Foundation wiedergegeben wird (Abb. 2.5 in Abschn. 2.2.3).²⁰⁸ Carrez et al. bezeichnen Bioökonomie mit Verweis auf die Ellen MacArthur Stiftung als den erneuerbaren Teil des Circular-Economy-Konzepts.²⁰⁹ Der linke Teil des Diagramms wäre dann mit Lesart 3 der Bioökonomie gleichzusetzen.²¹⁰

Trotz der beschriebenen Gemeinsamkeiten bestehen jedoch nach wie vor Unterschiede zwischen beiden Konzepten. Das Recycling von Metallen ist Teil

²⁰⁷ Stegmann et al. 2020, S. 4.

²⁰⁸ Stegmann et al. 2020, S. 4.

²⁰⁹ Carrez und van Leeuwen 2015, S. 34.

²¹⁰ Europäische Kommission 2017, S. 28.

der Circular Economy, gehört aber nicht in die Bioökonomie. Umgekehrt ist es bei Kunststoffen, die aus Biomassen hergestellt werden, die aber nicht biologisch abbaubar sind. Sie können der Bioökonomie zugerechnet werden, genügen dann aber nicht den Anforderungen, die an eine zirkuläre Bioökonomie zu stellen sind.²¹¹ Gleiches gilt für viele Bereiche der Biotechnologie, die zwar zur Bioökonomie, aber nicht zur Circular Economy gehören.²¹²

Wie wir im nächsten Kapitel noch sehen werden, bleibt es nicht bei den hier genannten Gemeinsamkeiten und Unterscheidungen. Wir betrachten die Circular Economy und Bioökonomie dort aus einer anderen Perspektive und betrachten die Erzählungen, mit denen uns die beiden Wirtschaftsformen nähergebracht werden.

²¹¹Fröhling 2020.

²¹²Carus 2017.

Open Access Dieses Kapitel wird unter der Creative Commons Namensnennung 4.0 International Lizenz (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.de>) veröffentlicht, welche die Nutzung, Vervielfältigung, Bearbeitung, Verbreitung und Wiedergabe in jeglichem Medium und Format erlaubt, sofern Sie den/die ursprünglichen Autor(en) und die Quelle ordnungsgemäß nennen, einen Link zur Creative Commons Lizenz beifügen und angeben, ob Änderungen vorgenommen wurden.

Die in diesem Kapitel enthaltenen Bilder und sonstiges Drittmaterial unterliegen ebenfalls der genannten Creative Commons Lizenz, sofern sich aus der Abbildungslegende nichts anderes ergibt. Sofern das betreffende Material nicht unter der genannten Creative Commons Lizenz steht und die betreffende Handlung nicht nach gesetzlichen Vorschriften erlaubt ist, ist für die oben aufgeführten Weiterverwendungen des Materials die Einwilligung des jeweiligen Rechteinhabers einzuholen.





Das Narrativ der Circular Economy und Bioökonomie

3

Geschichten und Erzählungen sind aus der Kommunikation von Menschen nicht wegzudenken. Sie vermitteln Inhalte auf anschauliche Weise, stellen eine emotionale Verbindung her, formen Identität, schaffen Gemeinsamkeiten, vermitteln Werte und unterhalten. Auch in den Wissenschaften, deren Sprache meist mit Fakten, Daten und analytischem Denken assoziiert wird, haben sie eine wichtige Funktion, da sie komplexe Inhalte anschaulich machen. Es überrascht deshalb nicht, dass auch in der Kommunikation der Circular Economy und Bioökonomie narrative Elemente eingesetzt werden. Ihr erzählerisches Konzept untersuchen wir im folgenden Kapitel. Eine wichtige Rolle spielt darin die Natur.

3.1 Geschichten, Erzählungen, Narrative und Weltbilder

3.1.1 Die Macht der Geschichten

Der öffentliche Diskurs während der Corona-Pandemie hat deutlich gemacht, dass wissenschaftliche Erkenntnisse nicht nur für Fachleute von Interesse sind. Politische Entscheidungen zur Eindämmung der Pandemie wurden mit den Ergebnissen wissenschaftlicher Studien begründet oder erfolgten auf den Rat von Expertinnen und Experten, die allerdings oft unterschiedlicher Ansicht waren. Die Öffentlichkeit konnte quasi live mitverfolgen, wie der wissenschaftliche Erkenntnisprozess vorstattengeht und wie um den richtigen Weg gerungen wurde. Begriffe, die vorher fast ausschließlich nur innerhalb der Wissenschaften verwendet wurden, gelangten dabei mehr oder weniger ungefiltert in die Öffentlichkeit. Gefühlt gab es kaum eine Fernsehsendung, in der nicht über „R-Werte“, „7-Tage-Inzidenzen“, „T-Zellen“ und „Aerosolausbreitung“ diskutiert wurde.

Die Pandemie hat aber auch gezeigt, dass faktenbasierte Informationen nicht alle Menschen erreichen und Methoden, die der Alltagskommunikation zuzu-

rechnen sind, häufig mehr Erfolg haben.¹ Fake News und Verschwörungstheorien konnten sich auch deshalb so schnell verbreiten, weil sie Geschichten erzählen,² deren Botschaften ihre Zuhörerschaft leicht erreichen. Menschen gelten als „narrative Wesen“, die gar nicht anders können, als in Geschichten zu denken und zu sprechen.³ Etwas zu erzählen ist deshalb die einfachste Form, um Informationen zu vermitteln. Geschichten machen neugierig, stellen Assoziationen her, wecken Gefühle und wirken unterbewusst.⁴ Sie ordnen ein reales oder fiktives Geschehen zu einer nachvollziehbaren Reihenfolge mit Anfang und Ende, folgen einem Ziel, bieten Erklärungen an und geben dem Geschehen, von dem sie erzählen, einen Sinn.⁵ Manche von ihnen sollen einfach nur unterhalten, während sich aus anderen etwas über das Leben lernen lässt.

Wenn es darum geht, komplexe Zusammenhänge darzustellen, kann es auch in den Wissenschaften wichtig sein, dass ein Thema erzählerisch vermittelt wird. Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern wird heute empfohlen, „Geschichten gezielt, bewusst und gekonnt einzusetzen, um wichtige Inhalte besser verständlich zu machen“⁶. Das „Storytelling“, wie dieses gezielte Erzählen genannt wird, gilt als geeignete Methode, um einem Laienpublikum Expertenwissen zu vermitteln. Eingesetzt wird es deshalb u. a. in der Pädagogik und im Marketing.⁷ Diese Art der Kommunikation hat jedoch ihren Preis: Geschichten konstruieren eine Wirklichkeit und verändern sowohl die Wahrnehmung derer, die sie hören oder lesen, als auch die derjenigen, die sie erzählen. Ihre Botschaften wirken, ohne dass sie bewusst werden. Der bekannte Theater- und Filmregisseur Peter Brook hat deshalb in einem Interview, von dem ein Auszug in Zitat 3.1 wiedergegeben ist, darauf hingewiesen, dass es wichtig ist, sich die unterbewussten Wirkungen einer Geschichte bewusst zu machen. Hierzu müssen wir jedoch ihre innere Struktur wahrnehmen. In Abschn. 3.1.4 befassen wir uns deshalb mit dieser Struktur im Allgemeinen und in Abschn. 3.2 wenden wir sie auf Geschichten an, die im Umfeld der Circular Economy und Bioökonomie erzählt werden. Zunächst grenzen wir jedoch die Begriffe „Geschichte“, „Erzählung“, „Narrativ“ und „Weltbild“ voneinander ab.

¹ Meinert 2012.

² Angler 2020, S. 5.

³ Dürbeck 2018, S. 6; MacIntyre 1984; Fisher 1984; El Ouassil und Karig 2021; Breithaupt 2022.

⁴ Breithaupt 2022, S. 261.

⁵ Adamczyk 2018, S. 23; Winkler 2019, S. 30; El Ouassil und Karig 2021, S. 30.

⁶ Brehmer und Becker 2017; Angler 2020.

⁷ Winkler 2019, S. 28.

Zitat 3.1: Peter Stephen Paul Brook (*1938)



„[...] ich denke nach wie vor, dass Geschichten ein wichtiger Teil unseres Lebens sind [...], dass wir also die Realität oft in Erzählungen für uns zusammensetzen. Aber wir dürfen das nicht mit dem Leben selbst verwechseln. [...] Wir müssen also unterscheiden zwischen dem Leben und dem Erzählen vom Leben. Die Storifizierung der Realität derzeit verwischt aber diese Grenzen. [...] Außer in der Werbung und der Politik lässt sich das zum Beispiel auch in diversen akademischen Disziplinen beobachten. [...] Im Großen und Ganzen ist das eine positive Entwicklung. Aber sie scheint über einen Punkt hinauszuwachsen, wo sie den Blick für die Grenzen des Erzählens verliert, dafür, was es vermag und was nicht und wie nötig es gleichzeitig auch immer ist, Erzählungen nicht einfach hinzunehmen, sondern zu analysieren und hinterfragen. [...] Es würde hauptsächlich bedeuten, sich dessen mehr bewusst zu sein, was man liest, und sich nicht nur zu fragen, was die Geschichte dir sagen will, sondern auch, wie sie das tut, wie sie dich verführt.“⁸

3.1.2 Geschichten, Erzählungen und Narrative

Das Interesse an der Wirkung erzählerischer Mittel wird inzwischen von einer breiten Öffentlichkeit geteilt. Dies zeigt sich auch am Erfolg aktueller Buchpublikationen: „Erzählende Affen“ von Samira El Ouassil und Friedemann Karig wurde 2022 für den deutschen Sachbuchpreis vorgeschlagen⁹ und „Das narrative Gehirn“ von Fritz Breithaupt¹⁰ war im selben Jahr in den Sachbuchbestsellerlisten zu finden. Ablesen lässt sich die Popularität des Themas auch am inflationären Gebrauch der Begriffe „Erzählung“ oder „Narrativ“.¹¹ El Ouassil und Karig bezeichnen sie deshalb auch als „modische Accessoires der Publizistik“¹².

Was aber sind Narrative? Ist mit Narrativ und Erzählung dasselbe gemeint oder müssen wir zwischen beiden Begriffen unterscheiden? In der Praxis wird das nicht einheitlich gehandhabt. Manchmal werden beide Wörter als Synonyme verwendet, und manchmal wird zwischen ihnen differenziert.¹³ Wie eine Reihe von Zeitungsartikeln zeigt, die zur Erklärung des „Modewortes“ Narrativ verfasst wurden, gibt

⁸ Beckers 2023.

⁹ Deutscher Sachbuchpreis 2022; El Ouassil und Karig 2021.

¹⁰ Breithaupt 2022.

¹¹ Heine 2016.

¹² El Ouassil und Karig 2021, S. 63 f.

¹³ Biegoń und Nullmeier 2014; El Ouassil und Karig 2021, S. 141 ff.

es hier offensichtlich Klärungsbedarf.¹⁴ Eine eindeutige, allgemein verbindliche Definition, was ein Narrativ genau ist, gibt es jedenfalls nicht.¹⁵ Manchmal ist es, wie der Germanist Norman Ächtler in Zitat 3.2 schreibt, wohl auch nur eine „Worthülse“.

Zitat 3.2: Norman Ächtler (*1980)



„Im deutschsprachigen Bereich [treten] inzwischen viel verwendete Ausdrücke wie [...] ‚große Erzählung‘ oder ‚Meistererzählung‘ – und auch der [...] gegenwärtig besonders schillernde Neologismus [neues Wort] ‚Narrativ‘ [auf...]. Es handelt sich um flexible Worthülsen, die verwendet werden, als wären sie immer schon vertraut und wohlbekannt, obgleich sie in durchaus verschiedener und teilweise widersprüchlicher Weise in Anspruch genommen werden. Zur ‚allgemeinen Währung der Kommunikation‘ werden solche Ausdrücke dann, [...] wenn sie sich als Platzhalter für terminologische Leerstellen der Diskurse setzen lassen.“¹⁶

Das Wort Narrativ leitet sich vom lateinischen „narrare“ ab, was so viel wie „erzählen“ bedeutet.¹⁷ Im Duden der Ausgabe von 2013 wurde der Begriff ausschließlich noch als Adjektiv und Synonym für das deutsche Wort „erzählend“ aufgeführt. Das Substantiv „Narrativ“ wurde 2013 dort noch nicht genannt, es ist im deutschsprachigen Bereich also vergleichsweise neu.¹⁸ Wenn man sich am Adjektiv orientiert, wäre es einfach das Fremdwort für eine Erzählung. In der Regel ist mit einem Narrativ aber nicht eine „einfache“, sondern eine „große Erzählung“ gemeint.

Der Begriff der großen Erzählung geht auf den Philosophen *Jean-François Lyotard* zurück. Lyotard sprach von „Metaerzählung“ und bezeichnete damit die in der Aufklärung entstandene Erzählung der Moderne, die von der Freiheit eines vernünftig denkenden und agierenden Menschen handelt.¹⁹ Das Wort Narrativ wird oft an dieses Verständnis angelehnt. Es bezeichnet dann eine „Erzählung oder Darstellung, die benutzt wird, um eine Gesellschaft oder historische Periode zu erklären oder um diese zu rechtfertigen“.³¹⁸ Wie Ächtler schreibt, findet sich eine ähnliche Definition auch in der „Allgemeinen Erzähltheorie“ des Literaturwissen-

¹⁴Heine 2016; Kniebe 2017; Müller-Funk 2019.

¹⁵Turowski und Mikfeld 2013, S. 13 f.

¹⁶Ächtler 2014, S. 245.

¹⁷Neues Wort 2022.

¹⁸Heine 2016.

¹⁹„Lyotard [...] schrieb im französischen Original von *grands récits* oder *metarécits*. Ins Englische ist seine begriffliche Neuschöpfung mit *grand narrative* oder *master narrative* übersetzt worden.“ Heine 2016.

schaftlers Albrecht Koschorke. Ein Narrativ liegt demnach dann vor, wenn sich ein bestimmtes Handlungsschema etabliert hat und wenn es nacherzählt wird.²⁰ Narrative wirken also im Gegensatz zu einfachen Erzählungen nicht auf Einzelne, sondern auf Kollektive.²¹ Sie werden in einer Kultur immer wieder abgerufen, um ein gemeinsames Selbstbild und eine sinnhafte, zu einem Ziel führende Ordnung zu vermitteln.²²

El Ouassil und Karig beziehen sich grundsätzlich auch auf dieses Verständnis. Sie nehmen jedoch zusätzlich eine hierarchische Differenzierung zwischen den Begriffen „Narrativ“, „Erzählung“ und „Geschichte“ vor, die wir im Folgenden auch verwenden. Die Begriffe bauen hier wie Schichten aufeinander auf. Wie El Ouassil und Karig schreiben, bilden die Narrative das „Fundament“ und die Erzählungen die Schicht darüber. Die oberste Schicht besteht dann aus Geschichten, die das Thema einer allgemeiner gehaltenen Erzählung variieren. Eine Geschichte bezeichnet hier also das, was konkret erzählt wird, eine Erzählung gibt in allgemeiner Form die grundsätzlichen Inhalte verschiedener Geschichten wieder, und ein Narrativ steht für die Kernbotschaft einer Geschichte oder Erzählung. Ein Narrativ ist, jedenfalls nach dieser Lesart, gewissermaßen „die Moral einer Geschichte“.²³ El Ouassil und Karig erläutern diese Unterscheidung in ihrem Buch mithilfe eines Beispiels. Es beruht auf dem Bild, das sich die Menschen einer Nation von sich selbst machen und in Form einer Erzählung kulturell teilen. Die Erzählung wird durch unterschiedliche Geschichten variiert, die von gewonnenen Abwehrkämpfen handeln. Die Menschen wehren sich gegen eine äußere Bedrohung und siegen am Ende. Das Narrativ der Erzählung und Geschichten, ihre Botschaft, lautet dann, dass die Menschen, die dieser Nation angehören, besonders „unbeugsam“ und „freiheitsliebend“ sind.²⁴

3.1.3 Weltbilder und Weltanschauungen

Eine weitere Differenzierung, die wir an dieser Stelle vornehmen wollen, ist die Einführung der Begriffe Weltbild und Weltanschauung. Sie hängen sowohl untereinander als auch mit Geschichten, Erzählungen und Narrativen zusammen, bezeichnen aber nicht dasselbe. Wie Geschichten, Erzählungen und Narrative vermitteln auch Weltbilder und Weltanschauungen Ordnungsvorstellungen. Weltbilder deuten und erklären in der Welt vorkommende Dinge und Ereignisse

²⁰ Ächtler 2014, S. 248.

²¹ Breithaupt 2022, S. 186.

²² Dürbeck 2018, S. 6.

²³ El Ouassil und Karig 2021, S. 141 ff.

²⁴ El Ouassil und Karig 2021, S. 146.

Tab. 3.1 Geschichte, Erzählung, Narrativ, Weltbild und Weltanschauung

Geschichte	Variation einer Erzählung
Erzählung	Wiedergabe eines Geschehens, bei dem Ereignisse in einen sinnhaften Zusammenhang gebracht werden
Narrativ	Sinn- und identitätsstiftende Moral der Geschichte
Weltbild	Modell bzw. systematisierte Vorstellung, wie die Welt funktioniert
Weltanschauung	Ein Weltbild, das Wertungen und Deutungen vornimmt

mithilfe eines systematisch aufgebauten Gedankengebäudes.²⁵ Sie beschreiben beispielsweise die Bewegung von Himmelskörpern mit mathematischen Gleichungen. Letztlich sind sie gedankliche, sozial vermittelte Vorstellungen von der Wirklichkeit,²⁶ die, im Gegensatz zu eher ideologischen Weltanschauungen, keine Wertungen vornehmen.²⁷ Narrative, Erzählungen und Geschichten hängen mit Weltbildern und Weltanschauungen zusammen. Sie greifen auf sie zurück und bilden sie in erzählerischer Form ab. Umgekehrt tragen Erzählungen mit ihren Narrativen auch zur Veränderung von Weltbildern bei.²⁸ Sie setzen Weltbild- oder Weltanschauungsfragmente zusammen und bestätigen sie auf diese Weise oder stellen sie in einem neuen Zusammenhang dar. Die Begriffe Geschichte, Erzählung, Narrativ, Weltbild und Weltanschauung werden, so wie wir sie im Folgenden verwenden, in Tab. 3.1 noch einmal zusammenfassend voneinander abgegrenzt.

3.1.4 Erzählstrukturen

Was ihre grundsätzlichen Handlungsmuster betrifft, sind sich viele Geschichten sehr ähnlich. In einer Einleitung wird oft eine handelnde Person in ihrer Ausgangssituation vorgestellt, und im Mittelteil entfaltet sich die Handlung. Diese wird am Schluss zu einem Ende geführt, das sich von der Ausgangslage unterscheidet.³⁰ Mit die bekannteste erzählerische Grundstruktur ist die auf den Mythenforscher Joseph Campbell zurückgehende „Heldenreise“. Campbell untersuchte Geschichten, Sagen und Legenden aus unterschiedlichen Weltregionen und entdeckte in allen das gleiche Schema. Er nannte es „Mono-Mythos“ und deutete es als psychische Wandlung, die so erzählt wird, als ob eine wirkliche, physische Reise mit allerlei Abenteuern stattgefunden hätte. Campbell formulierte für seine Heldenreise ein Schema aus 17 Etappen, das später von dem Drehbuchautor

²⁵ Chakkarath 2015.

²⁶ Lexikon der Psychologie 2000.

²⁷ Schmidt 2012, S. 4; spektrum.de 2008.

²⁸ Neues Wort 2022.

³⁰ Winkler 2019, S. 52, 58.

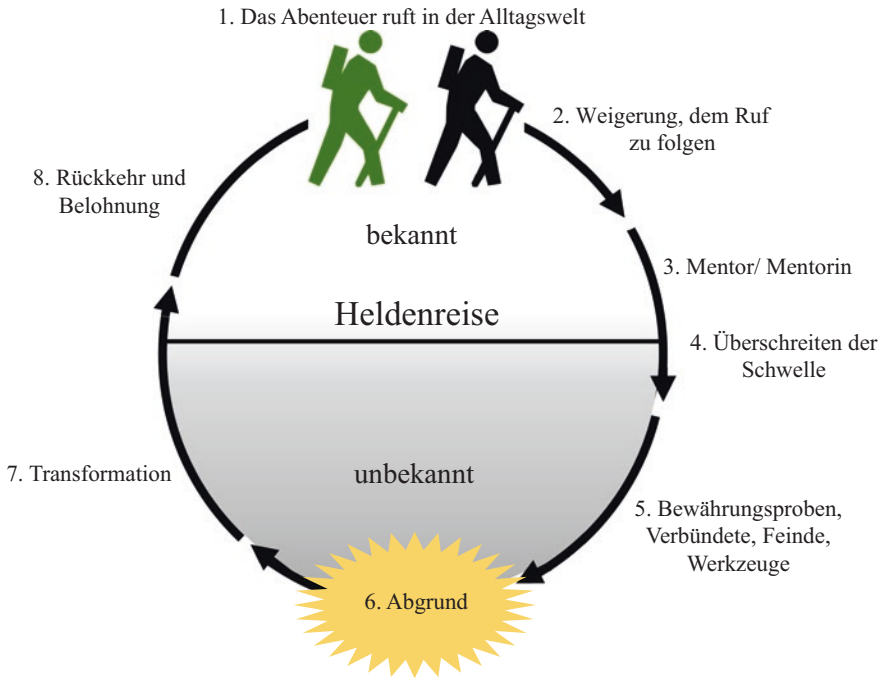


Abb. 3.1 Heldenreise.²⁹ (Eigene vereinfachte Darstellung nach ARD alpha 2021)

Christopher Vogler verarbeitet wurde, um einen Schreibratgeber für Filmdrehbücher zu verfassen. Hierzu vereinfachte er Campbells Etappenbeschreibungen und reduzierte ihre Zahl auf 12.³¹ Abb. 3.1 zeigt das Schema einer nochmals auf acht Etappen verkürzten Heldenreise. Etappe 8 fasst in der hier gewählten Darstellung die Etappen 10, 11 und 12 von Vogler zusammen, in denen der Held weitere Bewährungsproben bestehen muss.³²

Die Hauptperson einer Geschichte wird im Folgenden, angelehnt an Campbells Schema und egal, welches Geschlecht sie hat, vereinfachend „Held“ genannt, wenn allgemein über sie gesprochen wird. Dieser Held ist zu Beginn meistens ein ganz normaler Mensch, der in eine Konfliktsituation gerät. Damit ist nicht unbedingt ein Kampf oder eine Auseinandersetzung mit anderen gemeint, es kann sich auch um einen Mangel handeln, der beseitigt werden muss, oder innere Konflikte wie eine Gewissensentscheidung. Beliebte sind dualistisch angelegte Muster

²⁹Eigene gekürzte Darstellung, in Anlehnung an ARD alpha 2021; El Ouassil und Karig 2021, S. 28.

³¹Stimmer 2018; El Ouassil und Karig 2021, S. 21 ff.; Vogler 2007.

³²Phase 8 fasst die Phasen 10, 11 und 12 bei El Ouassil und Karig 2021, S. 21 ff. zusammen, die dort noch dramaturgisch weiter aufgefächert sind.

mit einem Gegenspieler oder einer Gegenspielerin als Problemverursacher und einem Helden als Problemlöser. Sie lassen sich oft antagonistischen Kategorien wie Gut und Böse, Faul und Fleißig, Hell und Dunkel oder Arm und Reich zuordnen. Die Helden können dabei mit anderen Menschen in Wettbewerb stehen, sich gegen die Gesellschaft auflehnen oder gegen höhere Mächte wie das Schicksal, die Zeit, Maschinen oder die Natur kämpfen. Der Konflikt und seine Lösung sind der Höhepunkt der Geschichte. In ihm und durch ihn erfolgt eine Transformation des Anfangszustandes. Am Ende liegt eine, im Vergleich zur Ausgangslage, veränderte, neue Situation vor.³³ Märchen enthalten die Heldenreise meist nur in einer rudimentären Form.³⁴ Die Etappen sind nicht immer in derselben Reihenfolge angeordnet, und in kürzeren Geschichten fehlen manche auch ganz.³⁵ In Abb. 3.2 ist ein fünfteiliger Aufbau dargestellt, den wir im weiteren Kapitel auch auf Geschichten über die Circular Economy anwenden. Das Schema wird auch als „zyklische Transformation“ bezeichnet und geht, in der hier gezeigten Form, auf den Wissenschaftler und Schriftsteller Tzvetan Todorov zurück.

Das in Abb. 3.2 dargestellte fünfgliedrige Schema kann als eine Überstruktur der Heldenreise verstanden werden und fasst deren Etappen zu fünf Stationen zusammen, die Todorov mithilfe des russischen Märchens „Die wilden Schwäne“ erläuterte. In seinem Schema ist die Welt in der Situation zu Beginn im Gleichgewicht. Im Märchen von den wilden Schwänen gibt es beispielsweise ein friedliches Familienidyll mit Mutter, Vater, einer älteren Tochter und einem jüngeren Sohn (I). Dieses Gleichgewicht wird gestört, weil wilde Schwäne den jüngeren Bruder der Hauptperson entführen (II). Die Protagonistin, die auf ihren Bruder aufpassen sollte, aber nicht bei ihm war, weil sie draußen mit anderen Kindern spielte, erschrickt bei ihrer Heimkehr, weil der Bruder verschwunden ist, und erkennt auf diese Weise die Störung des Gleichgewichts (III). Sie kämpft um dessen Wiederherstellung, indem sie sich auf die Suche nach ihrem Bruder begibt. Zu Beginn erweist sie sich als unreif, findet ihren Bruder aber schließlich bei einer Hexe. Mit Hilfe einer Maus, der sie etwas von ihrem Essen abgibt und so zum ersten Mal in der Geschichte sittliche Reife zeigt, gelingt es ihr, mit ihrem Bruder zu fliehen (IV). Durch die erfolgreiche Flucht, auf der das Mädchen weiter unter Beweis stellen muss, dass es zu einem besseren Menschen geworden ist, als sie es auf dem Hinweg war, wird das Gleichgewicht wiederhergestellt. Bruder und Schwester finden nach Hause und zusammen mit ihren Eltern, „lebten sie glücklich und zufrieden bis an ihr Ende“ (V).³⁶

Die Struktur der zyklischen Transformation und die Motive der Heldenreise lassen sich, wie wir in Abschn. 3.2 zeigen werden, auch auf Geschichten anwenden, die über die Bioökonomie und Circular Economy erzählt werden.

³³ Adamczyk 2018, S. 16; Dürbeck 2018; Friedmann 2019, S. 85; Winkler 2019, S. 31.

³⁴ El Ouassil und Karig 2021, S. 102.

³⁵ Stimmer 2018.

³⁶ Friedmann 2019, S. 93; maerchen-welt.net 2022.

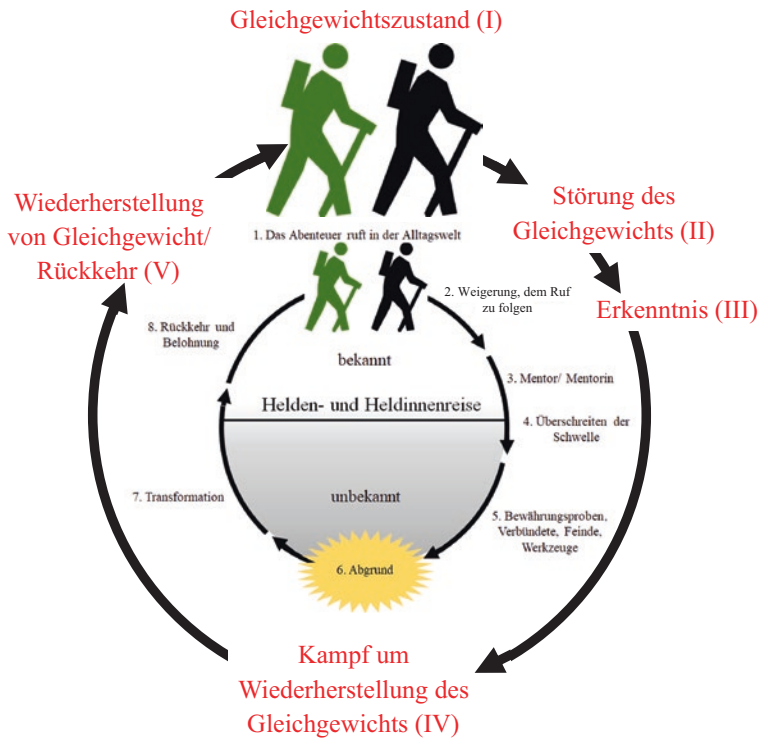


Abb. 3.2 Auf fünf Etappen verkürzte Heldenreise: „Zyklische Transformation“ nach Todorov. (Eigene Darstellung)

3.2 Geschichten und Erzählungen der Circular Economy und Bioökonomie

3.2.1 Die Erzählung der Circular Economy

3.2.1.1 Zwei Geschichten aus dem Marketing

Storytelling, wie das gezielte Erzählen von Geschichten genannt wird, über das wir in Abschn. 3.1.1 berichtet haben, wird vor allem im Marketing eingesetzt. Es liegt deshalb nahe, zunächst dort nach Geschichten über die Circular Economy zu suchen, wo für sie geworben wird. Fündig geworden sind wir in unserer Suche bei der international tätigen Unternehmensberatung PricewaterhouseCoopers B.V. (PwC)³⁷, die ihre Kunden bei der Umsetzung zirkulärer Wirtschaftsstrukturen

³⁷ PwC 2022b.

unterstützt.³⁸ Als Marketinginstrument hat PwC eine Broschüre mit dem Titel „The road to circularity“ herausgegeben, in der die Unternehmensberatung die Prinzipien einer Circular Economy erläutert.³⁹ Sie benennt darin ökologische und ökonomische Gründe, die für die Einführung zirkulärer Wirtschaftsprozesse sprechen, und stellt verschiedene Strategien vor, wie Unternehmen sich an eine Circular Economy anpassen können.

Storytelling wird vor allen in der Einleitung der Broschüre durch zwei Geschichten eingesetzt, die hier in Zitat 3.3 und 3.4 wiedergegeben sind. Sie erklären, was eine Circular Economy ist und warum wir sie brauchen. Die erste Geschichte eröffnet die Einleitung und trägt den Titel „An alternative model“⁴⁰. Die zweite ist durch eine einseitige Abbildung von der ersten getrennt und steht in einem hervorgehobenen Kasten. Sie trägt den Titel „Whats new?“⁴¹.

Beide Geschichten verwenden Metaphern (Abschn. 6.1) und haben eine vergleichbare Struktur. Sie bestehen aus vier als Absätze voneinander getrennten Etappen bzw. Stationen, die als eine verkürzte Form der Heldenreise gelesen werden können. Obwohl die zyklische Transformation nach Todorov aus fünf Etappen besteht, lässt sich deren Struktur auf die Geschichten der Broschüre, die nur vier haben, anwenden. Die Störung des Gleichgewichts (Etappe II) und dessen Erkenntnis (Etappe III) fallen aber zusammen. Nachfolgend analysieren wir beide Geschichten, indem wir die Struktur der zyklischen Transformation anwenden und nach Motiven der Heldenreise Ausschau halten. Wie die Etappendefinitionen der zyklischen Transformation sich auf die PwC-Geschichten anwenden lassen, ist in Abb. 3.3 und 3.4 dargestellt und wird im Anschluss an die jeweilige Abbildung erläutert. Beide Geschichten bauen zwar auf derselben Erzählung auf, unterscheiden sich aber in ihrer Perspektive und in der Ausgangsposition. Auch die Heldenrolle ist anders besetzt.

Geschichte 1: „An alternative model“

Zitat 3.3: PwC-Broschüre „The Road to Circularity“ (2019)



„An alternative model“

(I) „Today’s global economic system is based on a linear model that became dominant after the first industrial revolution introduced the concept of mass production. This model has delivered economic growth and increased prosperity over the past 200 years. Particularly since the end of the 1940’s, technological and social innovation has boosted living standards for a majority of people on our planet. In terms of economic growth it has been a story of incredible success

³⁸ PwC 2022a.

³⁹ PwC 2019.

⁴⁰ PwC 2019, S. 6.

⁴¹ PwC 2019, S. 8.

(II/III) Within the same period of time, however, the Earth's ecosystems have started to show signs of serious stress [...]. The linear model involves extracting natural resources to make products, that are used for a limited period of time, before being discarded as waste. It is often referred to as the 'take-make-dispose' industrial model (IV) In contrast, a circular economy is an alternative economic model that involves decoupling economic activity from the consumption of finite resources. A circular economy model derives its inspiration from nature's biological cycle and creates closed loop material and energy cycles where waste is a problem because it is seen as value leakage (V) A circular model means using resources efficiently and prioritising renewable inputs, maximising a product's usage and lifetime in order to extract the maximum value, and recovering and reusing by-products and waste to make new materials or products [...]. It is about responsibly managing the flow of renewable resources and the stock of finite materials⁴²

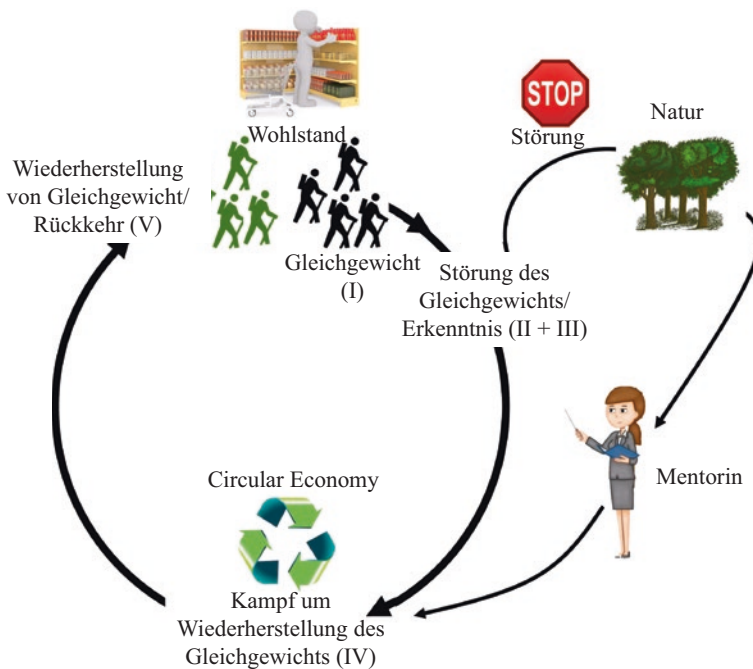


Abb. 3.3 Geschichte 1 der PwC-Broschüre, dargestellt als „zyklische Transformation“ nach Todorov. (Eigene Darstellung mit Icons aus pixabay)

⁴²PwC 2019, S. 6.

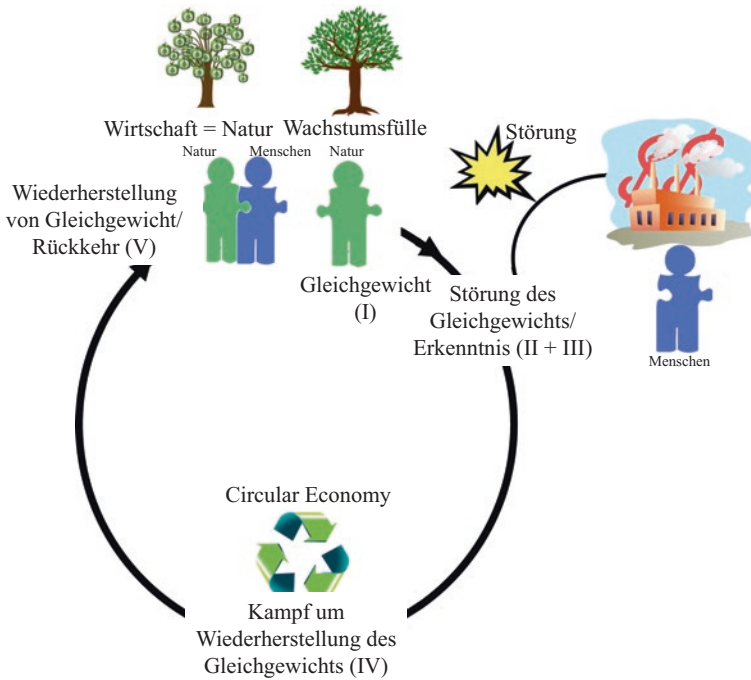


Abb. 3.4 Geschichte 2 der PwC-Broschüre, dargestellt als „zyklische Transformation“ nach Todorov. (Eigene Darstellung mit Icons aus pixabay)

Etappe I – Gleichgewicht und die Alltagswelt des Ausgangspunktes

Die Geschichte beginnt im Hier und Heute. Die Alltagswelt der Heldin, bei der es sich in diesem Fall um die menschliche Gesellschaft bzw. deren Wirtschaft handelt, ist auch unsere Welt. Sie war in den letzten 200 Jahren stabil, ermöglichte Wirtschaftswachstum, sorgte für technologische und soziale Innovationen und verbesserte den Lebensstandard vieler Menschen. Ihre Grundlage ist ein „lineares“ Wirtschaftsmodell.

Etappe II und III – Störung des Gleichgewichts und Erkenntnis

Die stabile Situation aus Etappe I ist gestört, weil die Ökosysteme der Erde zu stark belastet sind. An den Anzeichen der Störung erkennen die Menschen, dass das lineare Wirtschaftsmodell die Ursache dieser Störung ist, weil es natürliche Ressourcen entnimmt, nur eine kurze Zeit verwendet und dann wieder entsorgt. Der Ruf zur Veränderung geht von den Ökosystemen der Erde aus. Sie zeigen „Anzeichen einer ernsthaften Belastung“, die die menschliche Gesellschaft auffordern, etwas zu verändern.

Etappe IV – Kampf um die Wiederherstellung von Gleichgewicht

Durch die Störung der ökologischen Zusammenhänge steht alles auf dem Spiel. Die Menschen müssen sich zu einer Gesellschaft wandeln, deren Wirtschaftstätigkeit vom Verbrauch endlicher Ressourcen entkoppelt ist. Die entscheidende Transformation muss gelingen, sonst sind sowohl die Ökosysteme als auch die menschliche Gesellschaft verloren. Die Menschen erhalten jedoch unerwartete Hilfe. Ausgerechnet die Natur, die sie bis jetzt ausgebeutet hatten, steht ihnen als Mentorin zur Seite. Sie zeigt ihnen, wie eine Circular Economy auszusehen hat: Die Wirtschaft muss sich an den Kreisläufen der Natur orientieren. Die menschliche Wirtschaft wird zur Heldin, weil sie sich zu einer Circular Economy transformiert. Die Transformation ist die Alternative zu einem in den Untergang führenden „Weiter so“.

Etappe V – Rückkehr und Wiederherstellung von Gleichgewicht

Die Transformation zur Circular Economy verändert alles. Die Wirtschaft der Menschen ist nun lebensfähig und sicher. Ressourcen werden effizient genutzt und Lebensdauern von Produkten verlängert. Nebenprodukte und Abfälle werden wiedergewonnen und wiederverwendet, um neue Produkte herzustellen. Mit der Circular Economy verwalten die Menschen die Natur von nun an verantwortungsvoll.

Geschichte 2: „What's new?“

Zitat 3.4: PwC-Broschüre „The Road to Circularity“ (2019)



„Whats new?“

(I) *“The concept of circularity is as old as time itself - because our planet has always functioned in this way. Ever since life first emerged on Earth, organic material has been created and recreated in an abundant manner. Nothing in nature is wasted because all materials re-enter the ecosystem through a circular biological process that forms a continuous cycle*

(II/III) *It is only in the last 200 years since the industrial revolution that human production has started to operate according to a linear model. In many ways, the modern world that humankind has built is an anomaly when viewed in the full context of the history of our species and our planet*

(IV) *If successful, the transition to a circular economy has the potential to take us back to where we began and organise our economy in a way that mirrors nature. Organic material will re-enter the ecosystem through circular biological processes, as part of a continuous cycle where nothing is wasted*

(V) *A circular economy regenerates ecosystems to better support health and well-being of both our planet and people. By converting the take-make waste approach into value loops, creating more from less, the circular economy decouples resource use from value creation“⁴³*

⁴³ PwC 2019, S. 8.

Etappe I – Gleichgewicht und die Alltagswelt des Ausgangspunktes

Anders als Geschichte 1 beginnt Geschichte 2 nicht im Hier und Heute. Sie versetzt uns in uralte Zeiten, d. h. an deren Beginn oder zumindest in die Zeit, in der sich das Leben auf der Erde entwickelte. Hier war die Welt noch in Ordnung. Organisches Material wurde im Überfluss geschaffen und neu gebildet. Nichts wurde verschwendet, weil es intakte Kreisläufe gab. Die Welt war stabil und im Gleichgewicht. Heldin der Geschichte ist die zirkuläre Wirtschaft der Natur.

Etappe II und III – Störung des Gleichgewichts und Erkenntnis

Was in Geschichte 1 noch die Gleichgewichtssituation des Anfangs war, wird in Geschichte 2 zur Störung der Idylle. In Geschichte 1 sind 200 Jahre Industriegesellschaft eine „gute“ Zeit, in Geschichte 2 sind sie die Störung des Gleichgewichts bzw. eine „Anomalie“. Wie die erste Zeile des nächsten Absatzes der Geschichte, in dem von einer Rückkehr die Rede ist, deutlich macht, entsteht die Anomalie durch eine Spaltung. Es gibt zwei Weltbereiche, in einem herrscht die Kreislaufwirtschaft der Natur und im anderen die lineare Ökonomie der Menschen. Die Anomalie besteht in einer Entfremdung der Menschen von der Natur. Sie ist das Resultat einer Missachtung von Regeln, die „so alt sind wie die Zeit selbst“.

Etappe IV – Kampf um die Wiederherstellung von Gleichgewicht

In Etappe IV schafft es die Heldin der Geschichte, die zirkuläre Wirtschaft der Natur, sich gegen ihren Gegner, die lineare Wirtschaft der Menschen, durchzusetzen. Die Circular Economy heilt die Spaltung der Welt und bringt den „verlorenen Sohn“⁴⁴, d. h. den Menschen, dahin zurück, wohin er gehört. Das ist dort, wo er herkommt, zu Hause bei „Mutter Natur“. Die Rückkehr gelingt, indem Wirtschaftsprozesse so gestaltet werden, dass sie nicht mehr im Gegensatz zur Natur stehen, sondern genauso sind wie die Natur selbst. Die Organisationsprozesse der Wirtschaft werden in der Transformation zu deren Spiegelbild.

Etappe V – Rückkehr und Wiederherstellung von Gleichgewicht

Die Transformation zur Circular Economy hat alles verändert. Ressourcennutzung und Wertschöpfung sind entkoppelt, aus „Weniger“ wird „Mehr“. Die Circular Economy regeneriert die Ökosysteme und vereint Natur und Menschen. Es gibt

⁴⁴ „Der verlorene Sohn“ ist ein Gleichnis aus dem Lukas-Evangelium (Lk 15,11–32). Darin hat ein Vater zwei Söhne. Der Jüngere lässt sich sein Erbe auszahlen, verlässt das Haus seines Vaters und verprasst das Geld. Er wird zum Bettler und leidet Hunger. Reumütig kehrt er zu seinem Vater zurück. Der Vater ist glücklich über die Rückkehr des verlorenen Sohnes und feiert ein großes Fest. Der ältere Sohn ist eifersüchtig und beklagt sich, doch der Vater erklärt ihm, dass er ihn auch liebt, sich aber freut, weil sein Bruder verloren war und wiedergefunden wurde.

Tab. 3.2 Zusammenfassender Vergleich der PwC-Geschichten

	Geschichte 1: „An alternative model“	Geschichte 2: „What's new?“
Held/Heldin	Menschliche Gesellschaft bzw. die Wirtschaft oder die von PwC adressierten Unternehmen	Kreislaufwirtschaft der Natur bzw. das zirkuläre Wesen der Natur
I Ausgangs- bzw. Alltagssituation	Heutige, durch wirtschaftlichen Wohlstand geprägte Zeit	Durch Kreisläufe und Gleichgewichte geprägte Frühzeit der Erde
II/III: Störung	Abnehmende Belastbarkeit der Ökosysteme	Industrielles Wirtschaften
IV: Transformation	Menschen bzw. Unternehmen lassen sich von den Kreisläufen der Natur inspirieren	Kreisläufe nach dem Vorbild der Natur transformieren die Wirtschaft
V. Wiederhergestelltes Gleichgewicht	Durch wirtschaftlichen Wohlstand geprägte Circular Economy	Wiederhergestellte Natur, Aufhebung der Mensch-Natur-Trennung

keine zwei Bereiche mehr, in denen unterschiedliche Prinzipien wirken, überall gibt es nur noch Kreisläufe.

In Tab. 3.2 werden die Unterschiede beider Geschichten zusammengefasst.

3.2.1.2 Die Erzählung

Die Geschichten der PwC-Broschüre sind Variationen einer gemeinsamen Erzählung, die aus unserer Sicht wie folgt lautet:

Die Erzählung der Circular Economy

Mit der Natur und der menschlichen Sphäre ist die Welt in zwei Bereiche aufgeteilt, in denen unterschiedliche Prinzipien wirken. Während in der Natur ewige bzw. kontinuierliche Kreisläufe Ressourceneffizienz und Wachstum garantieren, werden in der menschlichen, linearen Wirtschaft Ressourcen verschwendet. Das Schisma zwischen der menschlichen Sphäre und der Natur gefährdet die Existenz beider Bereiche. Die Spaltung kann aber durch die Circular Economy aufgehoben werden. Durch sie werden Materialien und Stoffe in einem kontinuierlichen Kreislauf immer wieder erneuert. Die Circular Economy ahmt die Natur und ihre Kreisläufe nach und ist dadurch wie die Natur.

In der PwC-Broschüre wird diese Grunderzählung nochmals im Vorwort formuliert (Zitat 3.5 (b)), wo die Circular Economy explizit als Nachahmung der Natur („mimicking nature“) beschrieben wird. Die Erzählung findet sich jedoch nicht nur, wie man vielleicht meinen könnte, in Broschüren, mit denen Beratungsgesellschaften für ihr Dienstleistungsangebot werben. Wie die Zusammenstellung in Zitat 3.5 zeigt, wird sie in vielen Texten zur Circular Economy rezipiert.

Sie lässt sich schon für das 18. Jahrhundert nachweisen, als der französische Schriftsteller Louis-Sébastien Mercier in einem Buch über Paris die Materialwirtschaft der Stadt mit den Kreisläufen der Natur verglich (Zitat 3.5 (a)). Nahezu alle der in Abschn. 2.2.3 vorgestellten Denkschulen verstehen die Circular Economy als Nachahmung von Natur. In der Industriellen Ökologie werden Ökosysteme als Modell für industrielle Systeme herangezogen (Zitat 3.5 (c)), im Regenerative Design sollen „natürliche Prozesse für menschliche Zwecke nutzbar gemacht werden“ (Zitat 3.5 (d)), im Natural Capitalism wird formuliert, dass menschliche Entwickler sich an den Kreisläufen der Natur orientieren sollen (Zitat 3.5 (e)), Cradle to Cradle will den Stoffwechsel der Natur imitieren (Zitat 3.5 (f)), die Blue Economy möchte „wie die Natur [...] in regenerativen Kreisläufen denken“ (Zitat 3.5 (g)) und für die Ellen MacArthur Stiftung beruht die Circular Economy auf „natürlichen Grundsätzen“. Sie „orientiert sich an lebenden Systemen“ (Zitat 3.5 (h)). Kreisläufe gelten als Prinzip der Natur (Zitat 3.5 (i)), das in der menschlichen Wirtschaft abgebildet werden soll (Zitat 3.5 (i und j)).

Zitat 3.5: Das Vorbild Natur in der Circular Economy (1)

(a) Louis-Sébastien Mercier (1780er-Jahre)



„Drum geht denn, wie im ewigen Kreislauf der Natur, auch in der Hauptstadt nichts verloren So wie das Atom bleiben auch erhalten: das abgetragene Hemd, die durchgewetzte Hose und der ausgetretene Schuh, nichts davon verkommt, geht unter nein, wirklich gar nichts; stets findet sich jemand der haargenau in eine dieser abgelegten fertigen Hüllen paßt!“⁴⁵

(b) PwC-Broschüre „The Road to Circularity“ (2019)



„By mimicking nature a circular economy enables us to (re-)organise our economy as a continuous cycle where nothing is wasted and value creation is maximised. It creates closed loop material and energy cycles where all materials re-enter the system in a continuous cycle, thus decoupling economic activity from the consumption of finite resources.“⁴⁶

(c) Industrielle Ökologie (2002)



„[...] industrial ecology looks to non-human ‚natural‘ ecosystems as models for industrial activity.“⁴⁷

⁴⁵ Schramm 1997, 187 u. 237 zitiert hier Mercier und Villain 1979, S. 295.

⁴⁶ PwC 2019, S. 4.

⁴⁷ Lifset und Graedel 2002, S. 3.

(d) Regenerative Design (1994)



„Regenerative design means replacing the present linear system of throughput flows with cyclical flows [...]. The same principles, however, can apply to the economy as a whole. In a scientific sense, regeneration involves a set of demonstrable natural processes that we can make operational for human purposes.“⁴⁸

(e) Natural Capitalism (2000)



„In nature, nothing edible accumulates; all materials flow in loops that turn waste into food, and the loops are kept short enough that the waste can actually reach the mouth. Technologists should aim to do the same.“⁴⁹

(f) Cradle to Cradle (2014)



„Wenn es uns wirklich gut gehen soll, müssen wir lernen, das hoch effektive Wiege-zu-Wiege-System der Natur mit seinen Nährstoffströmen und Metabolismen zu imitieren, ein System, in dem ‚Abfall‘ überhaupt nicht vorkommt.“⁵⁰

(g) Blue Economy (2010)



„Hoch produktive Industriezweige der Blue Economy [...] orientieren sich daran, wie die Natur die Gesetze der Physik und der Biochemie nutzt, um harmonisch abgestimmte Systeme zu schaffen, mit großzügigen Kreisläufen und Kaskaden, in denen Materie und Energie mühelos, effizient und ohne Abfall und Energieverlust ineinander übergehen. Die Kräfte der Physik geben nicht nur die Parameter des Lebens auf der Erde vor, sie formen auch das Leben. Wenn wir [...] in regenerativen Kreisläufen denken, [wird] unser blauer Planet Erde mit all seinen Bewohnern eine Zukunft [erleben], die nicht besser sein könnte.“⁵¹

(h) Ellen MacArthur Foundation (2013)



„Based on natural principles. The circular economy takes its insights from living systems as these have proved adaptable and resilient, and model the ‘waste is food’ relationship very well.“⁵²

⁴⁸ Lyle 1994, Kap. 1.

⁴⁹ Hawken et al. 2000, S. 71.

⁵⁰ Braungart und McDonough 2014, Kap. 4.

⁵¹ Pauli 2010, S. 11.

⁵² EMF 2013, S. 26.

(i) Produktionstechnik (2020)



„Die biologische Transformation bringt ein neues Denken mit sich und nutzt die Natur als Vorbild, ein resilientes Produktionssystem zu schaffen. Die Produktion der Zukunft soll nicht länger durch lineares Denken und einseitige Output-Optimierung geprägt sein, sondern sich wie die Natur als ganzheitliches und vernetztes System organisieren. Daher ist es von großem Interesse, die Idee der Kreislaufwirtschaft in die Produktion zu integrieren, sodass das Naturprinzip der Ressourceneffizienz und der Stoffkreisläufe genutzt werden kann. [...] Eine Adaption dieser Eigenschaften in Produktionssysteme bergen großes Potenzial. [...] Die Kreislaufwirtschaft nimmt sich den Stoffkreislauf der Natur zum Vorbild, der alle Prozesse der Produzenten und Konsumenten umfasst, die den Auf-, Um- und Abbau von Stoffen einschließen wie z. B. Fotosynthese, Atmung und Gärung.“⁵³

(j) Fachartikel (2015)



„A further example of biomimicry is the Circular Economy; this mirrors natural life cycles where dead organic material decomposes to become a nutrient for the next generation of living organisms.“⁵⁴

3.2.2 Die Erzählung der Bioökonomie

Die unterschiedlichen Lesarten der Bioökonomie lassen sich nicht zu einer einzigen Erzählung zusammenfassen. Die folgenden Betrachtungen beziehen sich deshalb hauptsächlich auf die heute verbreitete dritte Lesart, in der die Bioökonomie als biobasierte Kohlenstoffwirtschaft ausgelegt wird, in die aber auch Aspekte aus Lesart 2 eingeflossen sind. Um Gemeinsamkeiten und Unterschiede zwischen der Circular Economy und Bioökonomie deutlich zu machen, verwenden wir die Erzählung der Circular Economy als Basis für die nachfolgend formulierte Bioökonomie-Erzählung. Die Unterschiede sind durch kursive Schrift kenntlich gemacht.

Die Erzählung der Bioökonomie

Mit der Natur und der menschlichen Sphäre ist die Welt in zwei Bereiche aufgeteilt, in denen unterschiedliche Prinzipien wirken. Während in der Natur ewige bzw. kontinuierliche Kreisläufe Ressourceneffizienz und Wachstum garantieren, werden in der menschlichen, linearen Wirtschaft Ressourcen verschwendet. Das Schisma zwischen der menschlichen Sphäre und der Natur gefährdet die Existenz beider Bereiche. *Die Spaltung kann aber durch die Bioökonomie aufgehoben werden.* Durch sie werden Materialien und Stoffe in einem kontinuierlichen Kreislauf immer wieder erneuert. *Die Bioökonomie passt die Natur und ihre Kreisläufe an ökonomische Bedürfnisse an und macht sie zu einem Teil der Wirtschaft.*

⁵³ Brecher et al. 2020.

⁵⁴ Andrews 2015, S. 309.

Die hier von uns formulierte Erzählung der Bioökonomie lässt sich mithilfe der Textfragmente aus Zitat 3.6 und 3.7 plausibel machen. Sie gleicht in großen Teilen der Erzählung der Circular Economy. Wie diese geht auch die Bioökonomie mit der Natur und der menschlichen Wirtschaft von der aktuellen Existenz zweier Wirklichkeitsbereiche aus, in denen unterschiedliche Prinzipien wirksam sind, deren Trennung aber durch die Bioökonomie aufgehoben wird. Deutlich wird diese Perspektive in Zitat 3.6. Es stammt aus einem Text, den der 2. Bioökonomierat 2016 verfasst und als „Narrativ“ der Bioökonomie bezeichnet hat. Die Natur wird hier als etwas beschrieben, das bisher für die Menschen gesorgt hat, aber, wie der im Text verwendete Ausdruck „Wirtschaften [...] zu Lasten der Natur“ zeigt, durch deren Wirtschaftsweise geschädigt wurde. Die Verfasserinnen und Verfasser des Narrativs gehen also, ebenso wie die der zweiten PwC-Geschichte, von einer Störung natürlicher Gleichgewichte durch die menschliche Wirtschaft und von einer Mensch-Natur-Trennung aus. Sie wird in der PwC-Geschichte durch die Circular Economy und im Text des Bioökonomierates durch die Bioökonomie aufgehoben. „Sie“, die Bioökonomie, heißt es, „verbindet [...]den Menschen] mit der Natur“. Wie in der Circular Economy wird die Trennung durch die Anwendung des Kreislaufprinzips überwunden (Zitat 3.6 und 3.7 (c, d, e, f und h)). In der Bioökonomie geht es jedoch nicht wie in der Circular Economy darum, dieses Prinzip nachzuahmen, sondern, wie die Formulierung „working with nature“ in Zitat 3.7 (b) zeigt, darum, mit ihm zu arbeiten. Aus Sicht der Bioökonomie wird die menschliche Wirtschaft naturnäher, weil sie natürliche Kreisläufe nutzt. Auch die Perspektive der Biotechnologie, die von einer grundsätzlich vorhandenen Veränderbarkeit und direkten wirtschaftlichen Nutzbarkeit der Natur ausgeht (Zitat 3.7 a), ist, da sich die heutige Bioökonomie aus der zweiten Lesart einer biotechnologisch geprägten Wirtschaft entwickelt hat, nach wie vor präsent. Letzteres werden wir in Abschn. 7.1.11 noch ausführlicher darlegen. Auf das Narrativ des Bioökonomierats kommen wir in Abschn. 7.4 zurück.

Zitat 3.6: Das Vorbild Natur in der Bioökonomie (1)



Sie ernährt den Menschen.
Sie kleidet ihn.
Sie wärmt ihn.
Sie bewegt ihn.
Sie gibt ihm ein Dach über dem Kopf.
Sie pflegt und heilt ihn.
Sie verbindet ihn mit der Natur.

„Die Natur hat dem Menschen schon immer alles gegeben, was er zum Leben brauchte. Und biobasiert war das Wirtschaften mit natürlich nachwachsenden Rohstoffen wie Holz jahrtausendlang – wenn auch meist zu Lasten der Natur.

Heute versteht die menschliche Gesellschaft die natürlichen Kreisläufe besser. Um die Natur und die wichtigen Ressourcen zu erhalten, muss sie sich in Zukunft nachhaltiger und ökonomisch – eben bioökonomisch – verhalten.

Bioökonomisch zu denken heißt, die Kreisläufe der Natur zu kennen und für die Energiewirtschaft, die Nahrungsmittel-, Papier- und Textilindustrie oder auch Chemie und Pharmazie nicht nur auszunutzen, sondern auch im Sinne von Umwelt- und Ressourcenschutz zu erhalten. Das erfordert Bioökonomie-Forschung für Innovation.

Bioökonomisch ist es zum Beispiel, Mikroorganismen Stoffe für den Haushalt oder die Industrie produzieren zu lassen. Energiereiche sowie klima- und umweltschädliche Herstellungsprozesse können so ersetzt werden. Bioökonomisch ist es auch, mithilfe von Mikroorganismen Biopharmaka wie Insulin herzustellen und damit vielen Menschen zu Schmerzlinderung und Heilung zu verhelfen.

Ein neuer Wirtschaftszweig ist die Bioökonomie hingegen nicht. Vielmehr ist sie ein Zeugnis des Umdenkprozesses, der in vielen Industrien und wirtschaftlichen Sektoren bereits in vollem Gange ist. Mal werden einzelne, chemisch produzierte Stoffe durch biologische Alternativen ersetzt, um Umweltauflagen zu erfüllen. Mal wird die Nachfrage nach naturverträglichen Produkten bedient, etwa wenn Lego-Bausteine nicht mehr aus erdölbasiertem Plastik hergestellt werden müssen.

Der Wandel zu einer solch „grüneren Wirtschaft“, einer echten Bioökonomie, ist nicht möglich ohne politische Weichenstellungen. Es braucht Anreize, die Unternehmen und Verbrauchern die langfristigen Vorteile bioökonomischen Handelns näherbringen. Und es braucht ein gesellschaftliches Umdenken, dass Wirtschaftswachstum nur mit ökologischen und sozial gerechten Produkten wirklich wertvoll für die Gesellschaft ist. Damit einher gehen Einschränkungen und Wachstumschancen für die Zukunft.

Dieses Ziel lässt sich nicht nur durch neue, attraktive Produkte erreichen. Verhaltensänderungen sind nötig – womit nicht nur Verzicht auf bioökonomisch schädliche Produkte gemeint ist, sondern vor allem Kreativität und gesellschaftliches Engagement für neue Ideen, die die Natur nicht mehr nur nutzen, sondern erhalten und als Quelle für ein gesundes Leben dieser und künftiger Generationen des Menschen schützen wollen.“⁵⁵

Zitat 3.7: Das Vorbild Natur in der Bioökonomie (2)

(a) Europäische Kommission (2005)



„White biotechnology is the application of nature’s toolset to industrial production.“⁵⁶

(b) Europäische Kommission (2013)



„A Bioeconomy Strategy for Europe: Working with nature [...]“⁵⁷

⁵⁵ Bioökonomierat 2016, S. 4.

⁵⁶ Europäische Kommission 2005a, S. 11.

⁵⁷ Europäische Kommission 2013.

(c) Deutsche Bundesregierung (2014)



„Die Nationale Forschungsstrategie [...] setzt darauf, den Kohlenstoff Kreislauf der Natur in einer künftigen biobasierten Industrie abzubilden.“⁵⁸

(d) Bioökonomierat (2016)



„In einer zukunftsfähigen Bioökonomie [...] [sollten [die Ressourcen] nach dem Vorbild der Natur im Kreislauf geführt werden.“⁵⁹

(e) Deutsche Bundesregierung (2020)



„Bioökonomische Innovationen vereinen biologisches Wissen mit technologischen Lösungen und stellen die natürlichen Eigenschaften biogener Rohstoffe hinsichtlich Kreislauffähigkeit, [...] in den Dienst eines nachhaltigen Wirtschaftens.“⁶⁰

(f) Bioökonomierat (2022)



„Auf diese Weise könnte Bioökonomie zu einer zentralen Antwort auf die Herausforderungen einer nachhaltigen Gesellschaft weiterentwickelt werden, wenn sich diese dann an natürlichen Kreislaufprozessen und Korrekturmechanismen als Vorbild orientiert.“⁶¹

(g) Bioökonomierat (2022)



„Die von der Natur erbrachten Ökosystemleistungen haben eine fundamentale Bedeutung für die Ziele der Bioökonomie.“⁶²

(h) Manifest Nachhaltige Bioökonomie (2021)



„Aus unserer Sicht bietet die Bioökonomie eine Vision vom nachhaltigen Wirtschaften, in der die Natur mit ihren Kreisläufen und Korrekturmechanismen als Vorbild dient. [...] [Sie] entwickelt sich im gesellschaftlichen Spannungsfeld zwischen Wirtschafts- und Naturkreisläufen.“⁶³

⁵⁸ Bundesregierung 2014, S. 81.

⁵⁹ Bioökonomierat 2016, S. 14.

⁶⁰ Bundesregierung 2020b, S. 10.

⁶¹ Bioökonomierat 2022, S. 11.

⁶² Bioökonomierat 2022, S. 28.

⁶³ Barben et al. 2021, S. 15.

3.3 Das Natur-Narrativ

Welches Narrativ ist mit der Circular Economy und Bioökonomie verbunden? Um diese Frage zu beantworten, wenden wir im Folgenden die von El Ouassil und Karig angewandte Auslegung des Narrativbegriffs an und setzen das Narrativ der Circular Economy und Bioökonomie mit der Botschaft gleich, die die in Abschn. 3.2.1 und 3.2.2 gefundenen Erzählungen vermitteln sollen. Diese lautet aus unserer Sicht:

„Es ist gut, sich an der Natur zu orientieren, und schlecht, sich nicht an ihr zu orientieren!“

Diese Aussage, die wir in ihrer allgemeinen Form im Folgenden als „Natur-Narrativ“ bezeichnen, gibt es in unterschiedlichen Variationen. Sie kommt in verschiedenen Kontexten vor und ist alles andere als neu. Für die „Stoiker“ beispielsweise, eine heute zum Teil wieder populäre griechische Philosophenschule, die von 300 v. Chr. bis 250 n. Chr. sehr einflussreich war, war die Orientierung an der Natur ein wesentlicher Bestandteil ihrer Philosophie (Abschn. 4.3.1). In ihrem Denken war die menschliche Natur mit der Natur des Kosmos im Einklang, „wenn naturgemäß gelebt wird“⁶⁴.

Manchmal wird die Natur auch als eine Art normative Instanz herangezogen. Das Natur-Narrativ dient dann als Argument, um eine bestimmte Sichtweise zu belegen. Etwas ist richtig, weil es „natürlich“ ist, oder es ist „gegen die Natur“ und damit falsch. Eine solche an der Natur orientierte Ethik, in der „Normen des menschlichen Zusammenlebens durch [die Natur]⁶⁵ oder die Natur des Menschen begründet werden“⁶⁶, wird auch als „Naturethik“ bezeichnet. Neuzeitliche Beispiele für ein „Naturrecht“ finden sich u. a. bei Thomas Hobbes und John Locke, die ihre Gesellschaftsmodelle jeweils an einem Naturzustand orientierten.⁶⁷

Der Position, dass sich aus der Natur Normen für unser Zusammenleben ableiten lassen, können allerdings viele Argumente entgegengehalten werden. Eines der bekanntesten sagt aus, dass eine ethische Wertung logisch nicht aus einer „empirischen Tatsache“ abgeleitet werden kann. Die Position ist deshalb als „Sein-Sollen-Differenz“, „Sein-Sollen-Fehlschluss“ oder „naturalistischer Fehlschluss“ bekannt. Der Einwand geht auf die Philosophen David Hume und George E. Moore zurück.⁶⁸ Dass etwas so ist wie es ist, sagt nichts darüber aus, ob es gut oder schlecht ist. Ein prägnantes Beispiel für den naturalistischen Fehlschluss ist der „Sozialdarwinismus“. Dieser orientiert sich an der Evolutionstheorie und verwendet sie dazu, die menschliche Gesellschaft zu erklären und zu gestalten. Der Sozialdarwinismus legt das Natur-Narrativ extrem aus, indem er die

⁶⁴ Eisel 2012.

⁶⁵ Einschub, der auf Schubert und Klein 2020 zurückgeht.

⁶⁶ Eisel 2012; Schubert und Klein 2020.

⁶⁷ Eisel 2012; Schubert und Klein 2020.

⁶⁸ Isenmann 2003, S. 127; Metzlers Lexikon der Philosophie 2023b; Lexikon der Biologie 1999.

Natur, bzw. genauer gesagt evolutionäre Zusammenhänge, als normativen Maßstab für das menschliche Leben heranzieht.⁶⁹

Deutlich wird der Fehlschluss durch die in Abschn. 4.8, Perspektive 10 wiedergegebenen Zitate. Sie beziehen sich auf den, im ausgehenden 19. und beginnenden 20. Jahrhundert ausgetragenen Streit, um die Einführung des Wahlrechts für Frauen. Viele Gegner des Frauenwahlrechts argumentierten, das es gegen die Natur sei, wenn sich Frauen politisch betätigen (Zitat 4.24). Dagegen wendete sich u. a. die Philosophin und Frauenrechtlerin Rosa Mayreder. Sie schreibt, die „Hinweise auf andere Lebensformen“ seien „unnützlich und dilettantisch“. „Was gegen die Natur ist, kann sich nicht lebendig behaupten.“ (Zitat 4.25) Gegen eine universelle Anwendung des Natur-Narrativs spricht auch, dass die Natur nicht eindeutig lesbar ist und dass sie mehrdeutige Aussagen zulässt.⁷⁰

Das Natur-Narrativ treffen wir heute in der angewandten Forschung in seinem modernen Gewand an. Es begegnet uns dort als Bionik. Die Gefahr eines naturalistischen Fehlschlusses besteht hier normalerweise nicht, da empirisch Entdecktes nicht in Wertungen übersetzt wird. In der Bionik, zumindest in ihrer ursprünglichen Form, geht es darum, Strukturen und Eigenschaften, die an biologischen Vorbildern erkannt werden, in technische Bereiche zu übertragen. Vorgaben für das menschliche Zusammenleben werden nicht aus der Natur abgeleitet. Ein bekanntes Beispiel ist der an den Blättern der Lotospflanze beobachtbare „Lotosseffekt“. Die Blätter der Pflanze sind „selbstreinigend“, weil ihre Oberfläche so strukturiert ist, dass Wasser abperlt und Schmutzpartikel weggespült werden. Die Orientierung an der Natur besteht in diesem Fall darin, dass die wasserabweisende Eigenschaft des Blattes auf Glasscheiben oder andere technische Produkte übertragen wird, indem ihre Oberflächen nach dem Vorbild der Blattoberfläche strukturiert werden. Hier wird lediglich ein an biologischen Vorbildern festgestellter funktionaler Zusammenhang auf technische Funktionen übertragen. Anschließend lässt sich prüfen, ob die nach natürlichem Vorbild hergestellten Produkte besser sind als andere. Dies muss nicht zwangsläufig der Fall sein.

In der Bionik wird der Vorbildcharakter der Natur damit begründet, dass die dort vorgefundenen „Lösungen“ bereits optimiert sind, weil sie in einem evolutionären Prozess entstanden sind und bereits über einen langen Zeitraum erfolgreich erprobt wurden. Ein Team um den bekannten Bionikexperten und Nachhaltigkeitsforscher Armin von Gleich bezeichnet diese Art der Orientierung an der Natur als „Lernen von den Ergebnissen der Evolution“⁷¹.

Heute wird der Begriff Bionik zum Teil aber auch weiter gefasst, als oben beschrieben. Ein Themenbereich, der beispielsweise für sich in Anspruch nimmt, Teil der Bionik zu sein, ist die „Wirtschafts- und Managementbionik“⁷². Anders

⁶⁹ Richter 2005.

⁷⁰ Isenmann 2003, S. 137.

⁷¹ Gleich et al. 2006, 25 ff.

⁷² Otto und Speck 2011.

als in der klassischen Bionik sind ihre Vorbilder, die hier für Managementaufgaben herangezogen werden, keine funktionellen Zusammenhänge, sondern evolutionäre Prozesse oder Prinzipien. Analog zu der o.g. Bezeichnung sprechen Gleich et al. in diesem Fall von einem Lernen „vom Prozess“ oder von den „(Erfolgs-) Prinzipien der Evolution“. Zu letzteren zählen sie,⁷³ wie die Biologin Janine Benyus⁷⁴ oder auch Brecher in Zitat 3.5 (i), das Effizienz- und Kreislaufprinzip. Die Circular Economy wäre aus dieser Perspektive, die wir, so viel sei schon vorweggenommen, nicht teilen, der Bionik zugehörig, weil das „Naturprinzip“ Kreislauf auf die menschliche Wirtschaft übertragen wird.

Unser Einwand dagegen ist, dass die genannten „Naturprinzipien“ etwas völlig anderes sind als ein funktioneller Zusammenhang und die Übertragung auf ein abstraktes Gebilde wie die Wirtschaft oder die Gesellschaft nicht mit einer Übertragung auf technische Geräte oder Materialien zu vergleichen ist. In Abschn. 4.7.2 gehen wir auf diesen Punkt am Beispiel des „Prinzips“ Effizienz noch im Detail ein. Im Fall der Wirtschaft und Gesellschaft haben wir es jedenfalls nicht mit technischen Funktionen zu tun, sondern damit, wie Menschen zusammenleben. Wenn sogenannte Naturprinzipien auf Gesellschaft und Wirtschaft übertragen werden, besteht immer auch die Gefahr eines naturalistischen Fehlschlusses.

Ein weiterer Einwand besteht darin, dass uns „Naturprinzipien“ nicht objektiv gegeben sind, sondern dass ihre Formulierung immer ein bestimmtes Bild voraussetzt, das wir uns von der Natur machen. Das zeigt auch das Beispiel der Stoiker, für die die Natur ein harmonisches, gerechtes und wohlgeordnetes Ganzes war.⁷⁵ Ihre Ethik hängt eng mit diesem Naturverständnis zusammen und lässt sich ohne Bezug zu diesem nicht verstehen.⁷⁶ Auch das Naturbild der Stoiker ist aber nur eine Perspektive unter vielen anderen (Abschn. 4.8). Ein Verweis auf die Prinzipien der Natur ist also keine ausreichende Begründung für eine Circular Economy oder Bioökonomie. Es muss klar sein, welches Naturbild herangezogen wird, wie es begründet ist und auf welche Erkenntnisse die formulierten Naturprinzipien zurückgeführt werden. In den folgenden Kapiteln gehen wir auf diese Aspekte zunächst grundsätzlich ein, bevor wir sie speziell auf die Circular Economy und Bioökonomie anwenden.

⁷³ Gleich et al. 2006, S. 28.

⁷⁴ Benyus 2008, Kap. 7.

⁷⁵ Precht 2015, S. 189.

⁷⁶ Schriefel 2019, S. 17.

Open Access Dieses Kapitel wird unter der Creative Commons Namensnennung 4.0 International Lizenz (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.de>) veröffentlicht, welche die Nutzung, Vervielfältigung, Bearbeitung, Verbreitung und Wiedergabe in jeglichem Medium und Format erlaubt, sofern Sie den/die ursprünglichen Autor(en) und die Quelle ordnungsgemäß nennen, einen Link zur Creative Commons Lizenz beifügen und angeben, ob Änderungen vorgenommen wurden.

Die in diesem Kapitel enthaltenen Bilder und sonstiges Drittmaterial unterliegen ebenfalls der genannten Creative Commons Lizenz, sofern sich aus der Abbildungslegende nichts anderes ergibt. Sofern das betreffende Material nicht unter der genannten Creative Commons Lizenz steht und die betreffende Handlung nicht nach gesetzlichen Vorschriften erlaubt ist, ist für die oben aufgeführten Weiterverwendungen des Materials die Einwilligung des jeweiligen Rechteinhabers einzuholen.





Wie das vorangehende Kapitel gezeigt hat, wird sowohl in der Bioökonomie wie in Teilen der Circular Economy auf die Natur Bezug genommen und mit ihr argumentiert. Bevor wir untersuchen, welche Vorstellungen hierzu herangezogen werden, müssen wir uns zunächst allgemein mit den Themen Natur und Naturerkenntnis auseinandersetzen. Wissen wir überhaupt, was Natur eigentlich ist? Wir beginnen das Kapitel deshalb mit der Frage, was alles gemeint sein kann, wenn wir das Wort „Natur“ aussprechen.

4.1 Was ist Natur?

Eigentlich sollte es nicht schwierig sein, dzu erklären, was mit dem Wort Natur gemeint ist. Schließlich verwenden wir das Wort häufig, und es ist uns aus dem Alltag vertraut. Wenn wir jedoch einen konkreten Versuch unternehmen, merken wir, dass Natur kein feststehender Begriff ist. Das Wort kann alles Mögliche bedeuten (Zitat 4.1). Im Alltagsverständnis gehört für uns alles zur Natur, was ohne menschliches Zutun entstanden ist: Wildnis, Atome, Naturgesetze, Unwetter, vielleicht auch unser eigenes Wesen und vieles andere mehr. Was aber ist dann eine Plastiktüte? Unserem gewöhnlichen Verständnis nach gehört sie nicht zur Natur. Sie ist etwas Künstliches oder Unnatürliches, das nicht von selbst entstanden ist. Die Tüte besteht aber aus Atomen, die von selbst da waren, und ihre molekulare Struktur widerspricht auch nicht den Naturgesetzen. Ist eine Plastiktüte also doch Natur?

Zitat 4.1: Philipp Blom (*1970)



„Die Schwierigkeit des Nachdenkens liegt schon in diesem einen Wort ‚Natur‘ beschlossen, von dem man meinen sollte, dass sofort klar ist, was gemeint ist; aber schon beim ersten Nachfragen stellen sich Zweifel ein und niemand weiß, wie sein Gegenüber den Begriff versteht.“¹ „Es ist wichtig, die schwierige Biografie dieses Begriffs mitzulesen und mitzudenken, wenn [...] das Wort ‚Natur‘ in verschiedenen Kontexten und Bedeutungen auftaucht und sich jeder klaren Definition immer wieder entzieht.“²

Die Frage nach der Natur gehört „zu den ältesten und grundlegendsten der Philosophie“³. Es sollte uns also nicht wundern, wenn sie nicht eindeutig zu beantworten ist. Natur ist kein Gegenstand, sondern eine abstrakte Vorstellung, in die wir womöglich etwas hineinlegen, das nur unserem Denken entspringt. Die Bedeutungen, die dem Wort Natur in unterschiedlichen Kulturen gegeben wurden, sind jedenfalls diffus und haben sich gewandelt. Um später in Kap. 7 die Frage nach dem Naturverständnis der Circular Economy und Bioökonomie beantworten zu können, analysieren wir im Folgenden deshalb zunächst, welche Bedeutungen dem Wort Natur gegeben werden.

4.2 Die Natur Henri Rousseaus

Mit der Natur haben sich auch viele Künstlerinnen und Künstler auseinandergesetzt. Wir beginnen die Reflexion des des Wortes Natur deshalb mit der Interpretation des in Abb. 4.1 gezeigten Gemäldes. Es trägt den Titel „Der Traum“. Das heute im Besitz des New Yorker Museums of Modern Arts befindliche Bild ist das letzte Werk des Pariser Malers Henri Rousseau, der nur wenige Monate nach dessen Fertigstellung verstarb. Er ist nicht mit seinem Namensvetter, dem Philosophen Jean-Jaques Rousseau, zu verwechseln, den wir in Abschn. 1.4 bereits kennen gelernt haben. Beide trennen etwa 100 Jahre. Sie sind auch nicht miteinander verwandt.⁴

Das drei Meter lange und zwei Meter hohe Gemälde zeigt wie viele andere Werke Rousseaus auch die Natur als Dschungel. Zu sehen ist eine in Mondlicht getauchte, unwirklich erscheinende Szenerie, in der sich verschiedene Tiere und eine Flöte spielende Frau inmitten einer üppigen Vegetation befinden. Das Bild

¹ Blom 2022, S. 21.

² Blom 2022, S. 24.

³ Kather 2012, S. 7.

⁴ Dobb.de Biographien.



Abb. 4.1 Der Traum, Henri Rousseau (1910), Museum of Modern Art, New York.

zeigt eine harmonische Lebensgemeinschaft, in der Pflanzen, Tiere und Menschen ihren Platz haben. Es entsteht der Eindruck einer paradiesischen Natur, in der es keine Gefahren zu geben scheint, weil Mensch und Tiere miteinander auskommen. Warum aber malt Rousseau die Natur auf diese Art und Weise? Wusste er nicht, dass ein Dschungel ein gefährlicher Ort ist? Letzteres wäre durchaus möglich, weil er wohl nie einen realen Dschungel gesehen hat und hauptsächlich durch die Bepflanzung der Pariser Gewächshäuser inspiriert wurde.⁵ Ein anderes Bild von ihm, „Der hungrige Löwe“ in Abb. 4.2, zeigt jedoch, dass Rousseau keinesfalls so naiv war, sich die Natur als eine reine Idylle vorzustellen. Anscheinend war ihm sehr wohl bewusst, dass in der Natur nicht nur Harmonie, sondern auch Not, Leid und Tod zu finden sind. Bei der Dschungelszene aus Abb. 4.1 kann es sich also nicht um einen realen Dschungel handeln. Darauf verweist bereits der Bildtitel, „Der Traum“.

Dass das Gemälde kein reales Geschehen zeigen kann, wird auch durch ein nicht in das Gesamtbild passendes Fragment deutlich. In der linken Bildhälfte ist, inmitten des Waldes, eine unbedeckte Frau auf einem Sofa zu sehen. Sie blickt in Richtung der Tiere und der Flöte spielenden Frau und zeigt mit der Hand auf sie. Lassen wir hier Rousseau selbst zu Wort kommen, der die auf dem Gemälde

⁵ Frankfurter Rundschau 2010.



Abb. 4.2 Der hungrige Löwe wirft sich auf die Antilope, Henri Rousseau (1905), Fondation Beyeler, Riehen, Basel.

dargestellte Situation folgendermaßen beschrieb: „Die Frau, die auf der Couch schläft, träumt davon, in den Wald versetzt worden zu sein, und hört den Klängen der Zauberin zu“⁶. Die Szene zeigt also keine äußere Wirklichkeit, in der eine Frau auf einem Sofa im Dschungel liegt, sondern eine Träumende und ihren Traum. Dieser steht entweder dafür, wie die Träumende sich die Natur vorstellt, oder er gibt ihr eigenes Wesen, ihre „innere Natur“, wieder.

Spätestens an dieser Stelle wird klar, dass das Wort Natur mehrdeutig ist. Wir benutzen es nicht nur als Sammelbezeichnung für alle Dinge und Prozesse, die es physikalisch gibt, sondern sprechen auch dann von Natur, wenn es darum geht, das Wesen von etwas zu benennen. Wenn wir beispielsweise sagen, dass es die Natur einer Katze ist, Mäuse zu jagen, dann meinen wir damit, dass das Mäusejagen unabdingbar zu einer Katze gehört. Dass die Frau auf dem Sofa unbedeckt ist, deutet darauf hin, dass das, was sie sieht, etwas Ursprüngliches ist. Sie erkennt dieses Ursprüngliche, die Natur oder ihre innere Natur, im Dschungel ihres Traums. Die Unterscheidung zwischen innerer und äußerer Natur, die Jean-Jaques Rousseau vorgenommen hat (Abschn. 1.4), findet sich somit auch im Bild seines Namensvetters Henry wieder.

⁶ „The woman asleep on the couch is dreaming she has been transported into the forest, listening to the sounds from the instrument of the enchanter“, MoMA 2020.

Das Bild lässt jedoch noch eine weitere Interpretation des Wortes Natur zu bzw. wirft eine Frage auf, die den Gegensatz zwischen Kultur und Natur betrifft. Wenn Natur ursprünglich das ist, was ohne menschliches Zutun entstanden ist, ist das Sofa dann auch noch Teil der Natur? Es wurde von Menschen hergestellt und ist nicht wie die Bäume des Dschungels von selbst gewachsen. Und wo gehört die Träumende hin? Ist sie Teil der Natur oder ist sie eher, wie das Sofa, etwas der Natur Gegenüberstehendes, das nur noch über etwas in ihrem inneren Wesen mit der „äußeren“ Natur verbunden ist?

Insgesamt lassen sich somit anhand des Bildes mit einer umfanga-, bedeutungs- und wesenslogischen Interpretation drei kategorial verschiedene Auslegungen benennen. Diese versuchen wir im Folgenden begrifflich zu fassen, wohlwissend, dass eine solche Fixierung dem Wort Natur nicht angemessen ist.⁷

1. *Umfangslogischer „Naturbegriff“*

In einem umfangslogischen oder extensionalen Naturverständnis bezeichnet das Wort Natur die Gesamtheit der physischen Welt (Materie und Energie), also all das, was wir in Raum und Zeit beobachten können. Wenn wir in Rousseaus Bild die dargestellte Szenerie als Abbildung eines realen Geschehens werten, was sie nicht ist, gehört alles, was zu sehen ist, zur extensionalen Natur: Pflanzen, Tiere, Menschen, der Mond und das Sofa.

2. *Bedeutungslogischer „Naturbegriff“*

Das bedeutungslogische oder intensionale Naturverständnis orientiert sich an Eigenschaften, die ihre Bedeutung in Abgrenzung zu etwas anderem, beispielsweise zu etwas Künstlichem oder Geistigen, erhalten. Die Bedeutung des Wortes Natur hängt dann davon ab, was als ihr Gegenüber definiert wird.

Werten wir die in Rousseaus Bild dargestellte Szene als reales Geschehen, können wir beispielsweise die folgende Unterscheidung vornehmen: Zur Natur gehören der Mond, Pflanzen, Tiere und die Flötenspielerin. Die Flöte und das Sofa sind nicht von selbst entstanden, sondern wurden von Menschen gemacht. Sie gehören nicht zur Natur, sondern sind Teil eines gedachten Gegenübers, in diesem Fall der Kultur, die hier als Bereich des menschlichen Wirkens verstanden wird. Zu klären wäre dann die Frage, wie die Frau auf dem Sofa einzuordnen ist. Sie ist biologisch betrachtet ein Naturwesen, da sie aus dem Paris des 20. Jahrhunderts kommt aber auch ein Kulturwesen. Auf das Gegenüber von Natur und Kultur gehen wir in Abschn. 5.7 noch ein.

Werten wir die Szene dagegen als Traum und differenzieren nicht zwischen Natur und Kultur, sondern zwischen Natur und geistiger Welt, wie das René Descartes getan hat (Abschn. 4.3.2), dann sind das Sofa und der Körper der träumenden Frau Teil der Natur, während die Traumbilder, ihre Gedanken, von geistiger Art und kein Teil der Natur sind.

⁷ Kirchhoff 2020c.

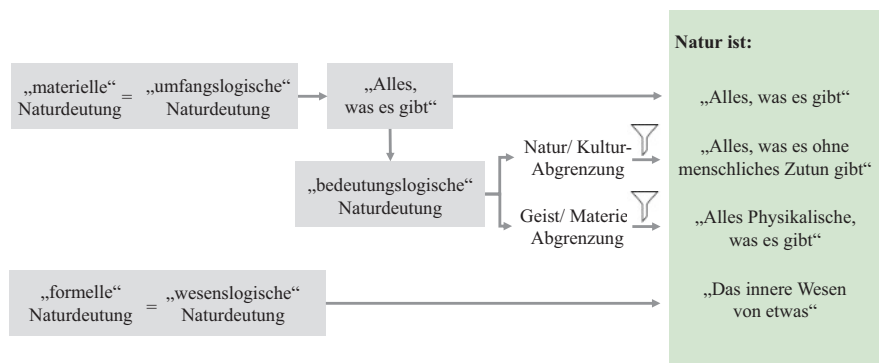


Abb. 4.3 Kategoriale Unterscheidung von Naturdeutungen. (Eigene Darstellung)

3. Wesenslogischer „Naturbegriff“

Die wesenslogische oder essentialistische Naturvorstellung bezieht sich auf ein inneres Prinzip oder Wesen, d. h. auf die typischen Merkmale und Eigenschaften, die etwas charakterisieren. Sichtbar wird diese Auslegung, wenn wir wie oben davon sprechen, dass es zur Natur einer Katze gehört, Mäuse zu jagen, oder wenn wir die Natur eines Menschen als jähzornig oder sanft beschreiben. Wenn wir das Bild von Rousseau wesenslogisch verstehen, geht es um die innere Natur der Frau auf dem Sofa oder das Wesen der Natur selbst. Beides wird durch den von ihr geträumten, als harmonische Gemeinschaft gemalten Dschungel symbolisiert.

Neben der hier vorgenommenen Differenzierung gibt es noch weitere Möglichkeiten, eine kategoriale Unterscheidung vorzunehmen. Die Philosophin Karen Gloy spricht, indem sie auf Kant Bezug nimmt, beispielsweise von einer „materiellen“ und „formellen“ Auslegung. Die materielle Deutung kann mit der umfangslogischen Auslegung gleichgesetzt werden. Sie umfasst die „sinnlich wahrnehmbaren Gegenstände“. Je nachdem, welcher bedeutungslogische Filter dann zur Anwendung kommt, gehören künstliche Produkte wie Kunstwerke, Werkzeuge, Maschinen und Kunststoffe zur materiellen Natur oder zur Kultur. Die Natur in formaler Bedeutung entspricht einem wesenslogischen Naturverständnis. Materielle und formelle Naturinterpretation hängen zusammen, weil „die Natur in formaler Bedeutung gedacht, das Wesen der materiellen Natur ausdrückt“⁸. Die Zusammenhänge zwischen den genannten Kategorien sind in Abb. 4.3 dargestellt. Welches Naturverständnis wir aus Rousseaus Bild herauslesen, hängt davon ab, was für eine Auslegung wir anwenden und ob wir das Bild als reale Szenerie oder als Traum deuten. Je nachdem, wie wir die Randbedingungen setzen, sind Sofa

⁸Gloy 1995, S. 23, 287.

bzw. Mensch Teil der Natur oder auch nicht. Was wir unter Natur verstehen, hängt also entscheidend von der vorgenommenen Grenzziehung ab. Gibt es dann aber, wie beispielsweise Christoph Helferich in seiner „Geschichte der Philosophie“ fragt, „die Natur“ überhaupt „oder gibt es immer nur verschiedene Ansichten über etwas, was die Jahrhunderte hindurch [...] mit ein und demselben Wort „Natur“ bezeichnet wurde?“⁹ Um uns einer Antwort anzunähern, zeichnen wir deshalb in der Folge historisch und kulturell unterschiedliche Naturverständnisse nach.

4.3 Historische Naturdeutungen

Unser heutiges Denken über die Natur ist von den Naturwissenschaften geprägt. Da diese im westlichen Kulturkreis entstanden sind, konzentrieren wir uns hier auf dessen Geschichte und lassen andere Naturvorstellungen weitgehend unberücksichtigt. Aufgrund des Rahmens, den wir uns in diesem Buch gesetzt haben, müssen wir selbst dabei vieles, was von Bedeutung ist, weglassen. Wir beschränken uns, bevor wir anschließend noch auf das Naturverständnis der Naturwissenschaften eingehen, auf zwei diametral unterschiedliche Positionen: Die ganzheitliche Perspektive der stoischen Philosophie und das mechanistische Weltbild von René Descartes.

4.3.1 Alles ist Eins: Das Naturverständnis der Stoiker

4.3.1.1 Natur, Physis und Logos

Das Wort „Natur“ entstammt dem römischen Kulturkreis und leitet sich von dem lateinischen Wort „natura“ ab. Es hat seinen Ursprung im Wort „nasci“ und bedeutet „geboren werden“.¹⁰ Das lateinische „natura“ ist eine Übersetzung des älteren griechischen Wortes „physis“ (φύσις), was sowohl den Prozess des Werdens, Wachsens, Blühens oder Aufgehens als auch die Beschaffenheit oder das Wesen eines Dinges bezeichnet.¹¹ Das, was die frühen Griechen unter Wachstum verstanden, unterscheidet sich jedoch von unserem heutigen Wortverständnis. Wenn wir von Wachstum reden, erwarten wir, dass etwas größer wird, also quantitativ zunimmt. Für die Griechen war Wachsen jedoch eher eine qualitative Veränderung. Es bedeutete, dass etwas Verborgenes zum Vorschein kommt und wieder verborgen wird. Letzteres empfinden wir heute als Gegenteil von Wachsen.¹²

⁹ Helferich und Lang 2012, S. 132.

¹⁰ Picht 1993a, S. 89.

¹¹ Schieman 1996a, S. 12.

¹² Picht 1993a, 54 ff.; Graeser 1989, S. 13.

Es wäre jedoch eine falsche Annahme, wenn wir von einem einheitlichen Naturverständnis der Griechen ausgehen würden. Im „Hellenismus“, wie die historische Phase bezeichnet wird, in der sich, auf Alexander den Großen folgend, die griechische Kultur verbreitete, konkurrierten die bereits in Abschn. 3.3 erwähnten „Stoiker“ mit „Epikureern“ und „Skeptikern“ um die richtige Weltdeutung.¹³ Auf die Stoiker, die ihre Ethik aus ihrem Naturverständnis abgeleitet haben,¹⁴ gehen wir im Folgenden ein. Dabei beziehen wir uns hauptsächlich auf die von Anna Schriefl gegebene Einführung in die stoische Philosophie¹⁵.

Mit den Begriffen „Stoizismus“ oder „Stoa“ wird eine griechische Philosophenschule bezeichnet, die bis weit in die römische Zeit sehr einflussreich war. Als ihre Gründerväter gelten Zenon, Kleanthes und Chrysipp.¹⁶ Das Wort Stoizismus leitet sich aus dem griechischen Wort „stoa“ ab, womit eine Säulenhalle bezeichnet wurde. Die Stoiker heißen Stoiker, weil sie sich regelmäßig in der Atherner Säulenhalle trafen.¹⁷

Oberflächlich betrachtet könnte man das Naturverständnis der Stoiker als „materialistisch“ missverstehen, weil sie nicht wie Platon von einer transzendenten Ideenwelt ausgehen, die hinter den materiellen Gegenständen steht (Abschn. 4.3.1.2). Für die Stoiker existieren diese Ideen nicht, für sie gibt es nur Körper. Diese sind nach stoischer Vorstellung dreidimensional und widerstandsfähig. Körper können interagieren, indem sie sich berühren, voneinander abprallen oder, was ungewöhnlich ist, sich durchdringen. Letzteres, ist im Rahmen eines atomistischen Verständnisses, wie es die Epikureer vertreten haben, nicht möglich. Dort benötigt jedes Atom einen eigenen, separaten Raum, da sich zwei Atome nicht am gleichen Ort aufhalten können. Für die Stoiker wird die Welt durch die Prinzipien Materie und Vernunft konstituiert. Beide werden aber nicht transzendent, sondern körperlich gedeutet, sie können sich aufgrund der o. g. Eigenschaften, die Körper bei den Stoikern haben, durchdringen.¹⁸

Als einflussreichste Quelle des Stoizismus gilt Heraklit.¹⁹ Er wird zu einer Gruppe Philosophen gerechnet, die, weil sie zeitlich vor Sokrates wirkten, oft als „Vorsokratiker“ bezeichnet werden. Von fast allem, was wir über sie wissen, haben wir nur Kenntnis, weil spätere Autoren über sie berichtet haben. Die Vorsokratiker stellten sich die Natur als allumfassend und unvergänglich vor. Ihre Vorstellung von der Physis bezog sich auf die gesamte Wirklichkeit, die noch nicht, wie es später der Fall sein sollte, in verschiedene Seinsbereiche unterteilt war. Mit der Physis ist bei ihnen das Weltganze gemeint. Es umfasst auch das Göttliche bzw.

¹³ Schriefl 2019, S. 19.

¹⁴ Schriefl 2019, S. 16 f.

¹⁵ Schriefl 2019.

¹⁶ Schriefl 2019, S. 23.

¹⁷ Schriefl 2019, S. 13.

¹⁸ Schriefl 2019, 87 ff.

¹⁹ Schriefl 2019, S. 25.

die Götter sowie Gedanken, Menschen und das, was durch Menschen hervor- gebracht wird. Das Göttliche steht in diesem Fall nicht der Natur gegenüber, son- dern die Natur selbst ist göttlich.²⁰

Die Ordnung und Einheit der Physis war durch etwas gegeben, das die Grie- chen als „logos“ (λόγος) bezeichneten. Wir gehen im Folgenden auf diesen Be- griff näher ein, weil die in Abschn. 3.2 genannten Erzählungen der Bioökonomie und Circular Economy auch Motive transportieren, die an Vorstellungen erinnern, die mit dem Logos verbunden werden. Diesen Zusammenhang erläutern wir in Abschn. 7.4.

Das Wort Logos ist wegen seiner Mehrdeutigkeit kaum zu übersetzen. Es kön- nen unterschiedliche Dinge damit gemeint sein, beispielsweise eine „zusammen- hängende Rede“ oder auch eine „Proportion in der Mathematik“. Diese Mehr- deutigkeit wird auch, wie der Philosoph Georg Picht ausführt, in einem Text- fragment deutlich, in dem Heraklit scheinbar verschiedene Dinge Logos nennt. Er benutzt das Wort zum einen, um seinen eigenen Text zu bezeichnen, und zum anderen, um auf eine Art Prinzip hinzuweisen, auf das alles, was in der Physis er- scheint, zurückgeht. Der Logos ist also etwas, das in der Tiefe der Physis enthalten ist. Er ist eine Art Ordnung, die sie im Innersten zusammenhält, aber auch in den Gedanken Heraklits zu finden ist. Der Logos ist kein Gegenstand, der in der Physis sichtbar ist, gehört aber wesentlich zu ihr. Wenn man so will, ist der Logos „die Natur der Natur“ und zugleich die Natur der Menschen! Beide sind im Logos ver- bunden.²¹

Indem sie annimmt, dass die Welt „von einer göttlichen Vernunft“ gestaltet und geordnet wird, knüpft die Stoa an Heraklits Vorstellungen an. Für die stoi- schen Philosophen ist die Welt eine Art Organismus, d. h. ein „sinnvolles Gan- zes“, das von einem „göttlichen Prinzip“ bzw. einer „göttlichen Vernunft“ durch- drungen wird.²² Die menschliche Vernunft ist ein Teil davon, sodass die Strukturen menschlichen Denkens mit der Ordnung der Natur übereinstimmen.^{23,24}

In den Vorstellungen der Stoa wirkt der Logos als aktives Prinzip auf die pas- sive Materie ein. Er „durchdringt sie [...] und [verursacht...] den Kosmos als Ganzen sowie alles, was er enthält: Steine, Artefakte, Pflanzen, Tiere, Menschen, ihre Seelen, ihre Vernunft, [...]“²⁵. Während in der Vorstellung Platons (Abschn. 4.3.1.2) das Göttliche als äußere Kraft auf die Materie einwirkt, ist es in der stoi- schen Philosophie mit ihr vermischt. Gott und Natur bzw. Gott und Materie sind

²⁰ Schieman 1996a, S. 19; Graeser 1989, S. 13 f.

²¹ Picht 1993a, S. 169–170.

²² Ruffing 2021, S. 65; Schriefl 2019, S. 89 f.

²³ Picht 1993a, S. 195, 334.

²⁴ Für Georg Picht ist die Gleichsetzung von Logos und Vernunft jedoch das Resultat einer Um- deutung, die die Stoa an den Logos-Vorstellungen Heraklits vorgenommen hat. Picht 1993a, S. 188 ff.

²⁵ Schriefl 2019, S. 89 f.

hier nicht voneinander unterschieden.²⁶ Die Philosophie der Stoiker ist deshalb auch nicht materialistisch. Im Gegensatz zu ihren Zeitgenossen, den Epikureern, die die Welt als „zufällige Zusammenfügungen von Atomen im leeren Raum“ auffassen, deuten die Stoiker die Welt als sinnvolles Ganzes.²⁷ Das Lebensziel besteht nach stoischer Lehre deshalb darin, „im Einklang mit der Natur bzw. mit der kosmischen Vernunft zu leben“²⁸ (Zitat 4.2). Ein „tugendhafter“ Mensch lebt für die Stoa mit dem Ganzen im Einklang, weil er der Vernunft folgt. Tugend ist nach diesem Verständnis nicht etwas, mit dem unser natürliches Verhalten eingehegt werden soll, sondern ist im Gegenteil „mit der vollen Entwicklung unserer Natur“ gleichzusetzen.²⁹

Zitat 4.2: Diogenes Laertius (3. Jh.) zitiert Chrysipp (281/276–208/204 v. Chr.)



„Ferner ist das Leben gemäß der Tugend dasselbe wie das Leben in Übereinstimmung mit unserer Erfahrung dessen, was von Natur aus geschieht, wie Chrysipp [...] schreibt: Unsere Naturen sind nämlich Teile des Ganzen. Aus diesem Grund besteht das Ziel darin, in Übereinstimmung mit der Natur zu leben, d. h. in Übereinstimmung mit der eigenen Natur und der des Universums, indem man nichts tut, was durch das allgemeine Gesetz [...] verboten ist. Dies ist die richtige Vernunft (orthos logos), die alle Dinge durchzieht und identisch ist mit Zeus, dem Anführer und Verwalter aller Dinge.“³⁰

4.3.1.2 Von der Einheit zum Dualismus

Die Vorstellung von einer einheitlichen, allumfassenden göttlichen Natur, wie sie viele Vorsokratiker und die Stoa hatten, unterscheidet sich vor allem in einem sehr wichtigen Punkt von der Philosophie des Mittelalters. Die Natur war im Mittelalter nichts Göttliches mehr wie in der Stoa, sondern das Werk Gottes. Gott gehört in diesem Denken nicht zur Natur, sondern ist deren Schöpfer bzw. Schöpferin. Dieser „kosmische Dualismus“, in dem sich zwei „verschiedene [...] Welten gegenüberstehen“, war jedoch bereits in der Antike angelegt.³¹ Für Antiphon beispielsweise gibt es bereits einen von der Natur abgegrenzten Bereich der menschlichen Zivilisation, den er „nomos“ (νόμος) nennt.³² Aristoteles differenziert bereits zwischen Natur-

²⁶ Schriefl 2019, S. 112 f., 164.

²⁷ Schriefl 2019, S. 14, 82.

²⁸ Schriefl 2019, S. 139.

²⁹ Schriefl 2019, S. 125, 40.

³⁰ Schriefl 2019, S. 139 zitiert Diogenes Laertius, „Leben und Meinungen berühmter Philosophen“, 7.88 = LS 63 C.

³¹ Zahrt 2002, S. 227.

³² Schiemann 1996b, S. 17.

gegenständen und Artefakten, unterscheidet also Natürliches und Künstliches voneinander. Natürliches ist für ihn das, was von selber da ist, und Künstliches das, was nicht von selber da ist. Diese Unterscheidung ist jedoch für ihn nicht etwas Grundsätzliches. Beides rechnet er insgesamt der Natur zu, weil Kunst, Handwerk und Technik nur etwas vollenden, was vorher bereits potenziell in ihr angelegt war.³³ Unterschiede sieht er allerdings in der Art der Bewegung. Für Aristoteles trägt Natürliches das Prinzip der Bewegung in sich, während bei künstlich hergestellten Gegenständen die Bewegung von außen kommen muss.³⁴

Sich gegenüberstehende Bereiche findet man vor allem bei Platon. Er differenziert zwischen einem mit den Sinnen wahrnehmbaren, aus Materie bestehenden Teil der Welt und einem Bereich der Ideen. Letztere sind sinnlich nicht erfahrbare, können also weder gesehen, gehört, gerochen oder ertastet werden. Sie sind nur der Vernunft und dem Verstand zugänglich.³⁵ Platons Ideen sind „das zeitlos Vernünftige, Schöne und Gerechte an sich“³⁶. Sie sind perfekt und existieren ewig. Die mit unseren Sinnen wahrnehmbare Welt ist dagegen alles andere als perfekt. Laut Platon wurde sie von einem göttlichen Welterbauer nach dem Vorbild der Ideen geschaffen. Die Gegenstände unserer Alltagswelt sind also unperfekte Abbilder ihrer Vorbilder aus der Ideenwelt (Zitat 4.3). Menschen haben laut Platon Kenntnis von diesen Ideen, weil ihre Seele sie bereits gesehen hat, bevor sie mit dem menschlichen Körper verbunden wurde.

Zitat 4.3: Platon (428/427–348/347 v. Chr.)



„Schreiten wir nun auf diesen Grundlagen zur Betrachtung dieser unserer Welt, so ist sie eben hiernach ganz notwendigerweise ein Abbild von etwas.“³⁷

Auf den ersten Blick scheint Platon ein dualistisches Weltbild zu vertreten, weil er einem unvollkommenen aus Materie bestehenden einen transzendenten Bereich mit idealen Werten und Formen gegenüberstellt.³⁸ Aber was ist dann für Platon die Natur? Bezieht er das Wort *Physis* nur auf die sichtbare körperliche Welt, oder sind auch die Ideen ein Teil davon? Wie nicht anders zu erwarten, gibt es hier unterschiedliche Auslegungen. Während Georg Schieman zwischen Natur und Ideen trennt, findet Christian Pietsch, dass Platon mit *Physis* nicht nur den

³³ Aristoteles 1987, *Physik* II., 199a S. 15–17; Schieman 1996a, S. 19 ff.; Gloy 1995, S. 127.

³⁴ Schieman 1996a, S. 19 ff.

³⁵ Gloy 1995, S. 81.

³⁶ Schieman 1996b, S. 17.

³⁷ Platon 1856, 27D–28A.

³⁸ Schieman 1996b, S. 17 ff.

sichtbaren Teil der Welt meint. Wie Letzterer schreibt, ist die Physis für Platon „ein Ganzes, dessen Teile sowohl die Ideen [...] als auch die nach diesen Vorbildern gebildeten Abbilder [...] sind.“ Der Bereich der Ideen ist für Platon, wie Pietsch weiter ausführt, „Wesen und Grund der (sichtbaren) Dinge“ bzw. der unveränderliche wahre Bereich der Natur.³⁹ Laut Pietsch lässt sich Platons Ideenwelt mit dem Logos in Beziehung setzen. Die Natur, die umfangslogisch aus der sinnlich erfahrbaren Welt und der Ideenwelt besteht, hat ihren wesenslogischen Grund, ihren Logos, in der Ideenwelt, von der die menschliche Seele wie vom Logos Heraklits Kenntnis hat.

Platons Vorstellungen von einem die materielle Welt formenden Gott waren ein Grund, warum seine Philosophie bereits sehr früh mit der christlichen Theologie verbunden wurde.⁴⁰ Später hat dann die Scholastik, die dominierende philosophische Richtung des Mittelalters, auch aristotelisches Denken in die christliche Theologie integriert. Dabei hat insbesondere Thomas von Aquin die aristotelische Ursachenlehre mit Platons Konzept eines planvoll wirkenden Schöpfergottes verknüpft. Technische Produkte und Natur sind aus dieser Perspektive miteinander vergleichbar. Beides sind „Werke“ eines zielsetzenden Geistes. Der Unterschied zwischen Natur und Technik besteht für Thomas lediglich darin, dass dieser Geist im Fall der Natur göttlich und bei der Technik menschlich ist. Einer auf Gott zurückgehenden „ersten Schöpfung“ aus Himmel, Erde und Lebewesen wurde von Thomas eine „zweite Schöpfung“ gegenübergestellt, die aus dem besteht, was Menschen mithilfe von Technik oder Kunst schaffen.⁴¹

Bei Thomas findet sich bereits eine klar dualistische Struktur. Etwas Entscheidendes hat sich verändert. Menschen sind einerseits Gottes Geschöpfe und somit Teil der Natur, andererseits aber auch seine oder ihre Ebenbilder, die über die Erde und ihre Lebewesen herrschen sollen (Zitat 4.4).⁴² In der mittelalterlichen Philosophie ist somit bereits die ideengeschichtliche Grundlage dafür gelegt, die Natur als eine zu beherrschende Ressource zu betrachten.⁴³ Dieses Denken wurde in der Neuzeit vor allem von René Descartes zu einem neuen Naturverständnis entwickelt, das in der Folge auch das Denken der Naturwissenschaften prägte.

³⁹ Pietsch 2013 mit Bezug auf Platon 1865, 132d/Platon 1856, 38b und e.

⁴⁰ Beierwaltes 2014.

⁴¹ Anzenbacher 2010, S. 64.

⁴² Bibel 1 Mose 1 26: „Und Gott sprach: Lasst uns Menschen machen als unser Bild, uns ähnlich! Sie sollen herrschen über die Fische des Meeres und über die Vögel des Himmels und über das Vieh und über die ganze Erde und über alle kriechenden Tiere, die auf der Erde kriechen!“

⁴³ Blom 2022.

Zitat 4.4: Augustinus von Hippo (354–430)



„Auch den Menschen hat [...Gott] erschaffen, und zwar nach seinem Ebenbild, damit wie er selber durch seine Allmacht die ganze Schöpfung beherrscht, so der Mensch durch seine Vernunft, womit er zugleich seinen Schöpfer erkennt und verehrt, alle irdischen Wesen beherrsche.“⁴⁴

4.3.2 Natur und Geist – Der Dualismus des René Descartes

In der mittelalterlichen Philosophie bzw. Theologie war bereits eine Zweiteilung (Dichotomie) des Weltbildes angelegt. Natürliche Gegenstände gingen auf Gott und künstliche auf Menschen zurück. Beides waren aber Produkte eines zwecksetzenden Geistes und somit in gewisser Weise vergleichbar. In der Renaissance setzte sich deshalb der Gedanke durch, dass die Natur ebenso wie ein künstliches Gebilde behandelt und umgestaltet werden kann. Er wird vor allem mit René Descartes in Verbindung gebracht. Descartes, den man sowohl einen Philosophen als auch einen Mathematiker oder Naturwissenschaftler nennen kann, sieht, anders als noch Aristoteles, überall die gleichen Bewegungsgesetze wirken. Während Aristoteles Künstliches und Natürliches durch ein passives bzw. aktives Bewegungsprinzip unterscheidet, existieren diese Unterschiede für Descartes nicht.⁴⁵ Trotzdem ist die Welt für ihn eine geteilte Welt. Er differenziert aber nicht zwischen Künstlichem und Natürlichem, sondern wie vor ihm schon Augustinus zwischen Geist und Natur.

4.3.2.1 „Ausgedehnte“ und „denkende“ Sachen

Die Überlegungen, die Descartes im Winter des Jahres 1619/20 anstellte, waren im Kern erkenntnistheoretisch. Er fragt: Gibt es die Dinge, die ich wahrnehme, überhaupt wirklich? Auf den ersten Blick scheint Descartes mit dieser Frage eine ähnliche Haltung wie die Skeptiker der Antike einzunehmen. Diese glaubten, dass uns unsere Sinne kein verlässliches Bild der Wirklichkeit vermitteln und eine Erkenntnis der Welt grundsätzlich nicht möglich ist. Descartes ist aber kein Skeptiker, er will nicht im Zweifel verharren, sondern ihn auflösen. Sein Zweifel ist nicht grundsätzlicher, sondern methodischer Art. Er zweifelt, um etwas zu identifizieren, das nicht bezweifelt werden kann, um auf diesem Fundament seine weiteren Überlegungen aufzubauen. Seine Denkmethode, die er dementsprechend selbst als „methodischen Zweifel“ bezeichnet hat, ist radikal und stellt zunächst alles infrage: die Sitten der Menschen, das Urteil der Sinne, das Gedächtnis und auch die Wirklichkeit der Außenwelt. Was bleibt, so fragt er, noch übrig, dessen Existenz

⁴⁴ Blom 2022, S. 94 zitiert Augustinus, De catechizandis rudibus, Kapitel 18.

⁴⁵ Poser 2004, S. 138 ff.; Köchy 2010, S. 65.

über jeden Zweifel erhaben ist? Bleibt als einzige Gewissheit, dass nichts gewiss ist, oder gibt es doch etwas, an dem nicht gezweifelt werden kann? Descartes entscheidet sich im Gegensatz zu Philosophen wie George Berkeley für das Letztere. Das, woran er nicht zweifeln kann, ist, dass sein denkendes „Ich“ existiert. Es ist dasselbe Ich, das zuvor den Gedanken hatte, dass nichts gewiss ist (Zitat 4.5).⁴⁶

Zitat 4.5: René Descartes (1596–1650)



„Ich weiß nicht, ob ich euch von den ersten Betrachtungen (meditationes, cogitationes), die ich hier gemacht habe, unterhalten soll, denn sie sind so metaphysisch und so wenig in der gewöhnlichen Art, dass sie wohl schwerlich nach jedermanns Geschmack sein werden. Doch, um prüfen zu lassen, ob die Grundlagen, die ich genommen habe, fest genug sind, bin ich gewissermaßen genötigt, davon zu reden. [...] So wollte ich, weil unsere Sinne uns bisweilen täuschen, annehmen, dass kein Ding so wäre, wie die Sinne es uns vorstellen lassen [...]. Als bald aber machte ich die Beobachtung, dass, während ich so denken wollte, alles sei falsch, doch notwendig ich, der das dachte, irgend etwas sein müsse, und da ich bemerkte, dass diese Wahrheit »ich denke, also bin ich« (je pense, donc je suis; Ego cogito, ergo sum, sive existo) so fest und sicher wäre, dass auch die überspanntesten Annahmen der Skeptiker sie nicht zu erschüttern vermöchten [...].“⁴⁷

Das Ich, das Descartes erkennt, bezeichnet er als „denkende Sache“ („res cogitans“). Es ist für ihn reines Denken und damit etwas völlig anderes als das, was es außerhalb von ihm gibt. Alles, was nicht zum Denken gehört, Dinge der Außenwelt, bezeichnet er als „ausgedehnte“ Sachen („res extensa“). Während die Außenwelt seiner Vorstellung nach physikalisch erklärbar ist, d. h. sie kann mithilfe quantitativer Größen vollständig beschrieben und verstanden werden,⁴⁸ unterliegt sein Denken nicht physikalisch determinierten Prozessen, sondern hat einen freien Willen.⁴⁹

Descartes stellt einer vollständig physikalischen Natur mit dem nicht physikalischen Denken einen Bereich des Geistes gegenüber. Zur Natur gehört für ihn alles, was nicht zum Denken gehört: Materie, Pflanzen, Tiere und technische Apparate. Tiere sind für Descartes ausgedehnte und keine denkenden Sachen. Er betrachtet sie als kausal funktionierende Automaten. Auch der menschliche Körper besteht aus Materie und ist für Descartes vom denkenden Ich unterschieden. Der Körper gehört zur Natur und kann wie die übrige Natur mithilfe kausaler Beziehungen beschrieben werden.⁵⁰ Diese Unterscheidung zwischen Körper und uns selbst kommt

⁴⁶ Precht 2017, S. 166 ff.

⁴⁷ Descartes 1637, IV,1.

⁴⁸ Poser 2004, S. 138 ff.

⁴⁹ Helferich und Lang 2012, S. 163.

⁵⁰ Schieman 1996a, S. 27 ff.



Abb. 4.4 Wanderer über dem Nebelmeer, Caspar David Friedrich (ca. 1817), SHK/Hamburger Kunsthalle/bpk, Foto: Elke Walford.

auch in heute gebräuchlichen Redeformen zum Ausdruck, beispielsweise wenn wir sagen, wir müssen etwas für unseren Körper tun. Wir tun dann so, als wäre der Körper etwas anderes als wir selbst. Diese Perspektive lässt sich recht gut mit dem Gemälde „Der Wanderer im Nebelmeer“ von Caspar David Friedrich in Abb. 4.4 anschaulich machen. Der Wanderer steht, dem Betrachter den Rücken zukehrend, auf einer Bergspitze und blickt auf eine ihm gegenüberstehende Natur. Weil er uns als Betrachter den Rücken zukehrt, können wir zum Teil seine Perspektive einnehmen. Wir sehen dann die Natur, wie der Wanderer sie sieht. Ziehen wir uns gedanklich auf unsere Perspektive zurück, wird der Körper des Wanderers für uns auch zu einem Teil der Natur.

Descartes Weltbild ist sowohl dualistisch als auch materialistisch. Dies scheint zunächst ein Widerspruch zu sein, weil im Materialismus normalerweise davon ausgegangen wird, dass es ausschließlich Materie und Energie gibt und Weltbilder, die alles auf einen Gegenstandsbereich zurückführen, als monistisch bezeichnet werden. Descartes unterteilt die Welt aber in eine materialistisch verstandene Natur und einen Bereich des Geistes. Obwohl er die Natur materialistisch deutet, ist seine Philosophie nicht atheistisch, wie es bei späteren Konzepten der Fall

ist. Gott spielt für Descartes noch eine wichtige Rolle. Die Gesetzmäßigkeiten in der Natur kommen von Gott, und sie wurden auch dem menschlichen Geist eingepägt. Letzteres garantiert Descartes, dass die Menschen sichere Erkenntnisse über die Natur haben, da Gott sie nicht betrügt.⁵¹

4.3.2.2 Ist die Natur eine Maschine?

Descartes Philosophie entfaltete in den naturwissenschaftlichen Vorstellungen der Neuzeit eine große Wirkung. Die Natur wurde von den meisten Wissenschaftlern als große Maschine gedeutet, die aus physikalischen, quantitativ charakterisierbaren Körpern besteht, deren Verhalten durch die Naturgesetze bestimmt wird.⁵² Sie ist in diesem „mechanistischen“ Weltverständnis kein lebendiger Organismus, wie sie es bei den Stoikern war, sondern etwas Lebloses. Natur wird als Objekt wahrgenommen, das mit den Mitteln der Mathematik und Physik untersucht werden kann. Was dabei entdeckt wird, kann verwendet werden, um technische Anwendungen zu entwickeln oder Gegebenheiten in der Natur zu verändern.⁵³ Natur wird, wie die Philosophin Regine Kather schreibt, so sowohl zu einem wissenschaftlichen als auch zu einem „wertfreien“ Objekt, das zur Befriedigung menschlicher Bedürfnisse nach Belieben gestaltet und genutzt werden kann.⁵⁴ Descartes selbst bestätigt, wie Zitat 4.6 zeigt, diese Deutung. Er spricht davon, dass die Menschen sich mithilfe von Wissenschaft und Technik zu „Herrn und Eigentümern der Natur“ machen können. Obwohl das mechanistische Weltbild Descartes als überholt gilt, zeigt, Zitat 4.30 bzw. Perspektive 15 in Abschn. 4.8, dass die Vorstellung von der Natur als einer Maschine auch heute noch nicht der Vergangenheit angehört.

Zitat 4.6: René Descartes (1596–1650)



„Denn diese Begriffe haben mir die Möglichkeit gezeigt, Ansichten zu gewinnen, die für das Leben sehr fruchtbringend sein würden, und statt jener theoretischen Schulphilosophie eine praktische zu erreichen, wodurch wir die Kraft und die Tätigkeiten des Feuers, des Wassers, der Luft, der Gestirne, der Himmel und aller übrigen uns umgebenden Körper ebenso deutlich wie die Geschäfte unserer Handwerker kennenlernen und also instande sein würden, sie ebenso praktisch zu allem möglichen Gebrauch zu verwerten und uns auf diese Weise zu Herrn und Eigentümern der Natur zu machen. Und das ist nicht bloß wünschenswert zur Erfindung unendlich vieler mechanischer Künste, kraft deren man mühelos die Früchte der Erde und alle deren Annehmlichkeiten genießen könnte, sondern vorzugsweise zur Erhaltung der Gesundheit [...]“⁵⁵

⁵¹ Peuker 2017, S. 153.

⁵² Peuker 2017, S. 152.

⁵³ Köchy 2010, S. 65.

⁵⁴ Kather 2012, S. 10.

⁵⁵ Descartes 1637, VI,2.

4.4 An welche Natur glauben die Naturwissenschaften?

Wer wissen möchte, was die Natur ist, könnte auf den Gedanken kommen, sich den Begriff von den Naturwissenschaften erklären zu lassen. Dieser Schluss liegt nahe, da es sich bei ihnen, dem Namen nach, um die Disziplinen handelt, die die Natur untersuchen. In naturwissenschaftlichen Studiengängen sucht man jedoch vergeblich nach einer Vorlesung, in der die Natur behandelt wird. Obwohl nach Erklärungen für Phänomene in der Natur gesucht wird, gibt es so etwas wie eine naturwissenschaftliche Definition der Natur nicht.⁵⁶ Trotzdem lassen sich aus der Art und Weise, wie vorgegangen wird, Vorstellung über das Wesen der Natur erkennen, die unausgesprochen vorausgesetzt werden. Auch diese haben sich historisch gewandelt. Während das Naturbild in der Neuzeit durch die klassische Physik und eine mechanistische Perspektive gekennzeichnet war, sind neuere Ansätze wesentlich differenzierter.⁵⁷

4.4.1 Die Natur entspricht dem physikalischen Teil der Welt

In den Naturwissenschaften gibt es vor allem eine umfangslogische Naturperspektive (Abschn. 4.2). Die von ihnen untersuchte Natur ist dabei auf den ersten Blick mit der Welt als Ganzem identisch. Sie umfasst das Universum, d. h. die Gesamtheit von Materie und Energie in Zeit und Raum, also alles, was es physikalisch gibt. Hinzu kommen noch die Gesetzmäßigkeiten, die das physikalische Verhalten bestimmen und auch zur Natur gerechnet werden. Die Zahl Eins, eine Romanfigur, ein Gesetz oder ein Gedanke gehören jedoch nicht dazu. Während diese „Dinge“ für moderate Naturwissenschaftler und -wissenschaftlerinnen nur methodisch ausgeschlossen sind, weil sie, obwohl es sie gibt, kein Teil des physikalischen Universums sind, existieren sie für radikal materialistische Angehörige der Naturwissenschaften nicht wirklich. Sie sind für sie lediglich Begleitphänomene materieller Prozesse.⁵⁸

Die Natur ist aus der Perspektive der Naturwissenschaften so beschaffen, dass Menschen grundsätzlich Zusammenhänge und Prozesse in ihr erkennen können. Andernfalls wäre Naturwissenschaft nicht möglich. Naturwissenschaftlerinnen und Naturwissenschaftler forschen, indem sie logische Überlegungen anstellen und diese durch Beobachtungen oder eine künstlich hergestellte experimentelle Situation überprüfen. Die untersuchten Phänomene lassen sich dabei mithilfe von mathematischen Zusammenhängen beschreiben, die in den Gedanken der Forschenden formuliert werden. Die Naturwissenschaften setzen damit voraus, wir könnten auch sagen, sie glauben daran, dass die Natur sinnvoll organisiert ist und

⁵⁶Freise 1993, S. 126.

⁵⁷Freise 1993, S. 123; Isenmann 2003, S. 24.

⁵⁸Gabriel 2013.

dass der menschliche Verstand sie grundsätzlich begreifen kann. Das Mittel, mit dem sie verstanden und beschrieben werden kann, ist nach naturwissenschaftlichen Verständnis die Mathematik (Zitat 4.7).⁵⁹

Zitat 4.7: Galileo Galilei (1564–1641/1642)



„Die Philosophie ist in diesem großen Buch niedergeschrieben, das vor unseren Augen immer offen liegt (ich meine das Unïversum), welches wir aber nicht verstehen können, wenn wir nicht zuvor lernen, die Sprache zu verstehen und die Zeichen zu deuten, in denen es geschrieben ist. Es ist in der mathematischen Sprache geschrieben, und seine Buchstaben sind Dreiecke, Kreise und andere geometrische Figuren; ohne diese Mittel ist es dem Menschen unmöglich, ein einziges Wort zu verstehen.“⁶⁰

4.4.2 Naturgesetze und Kausalität

Das Weltbild der im 17. Jahrhundert entstehenden Naturwissenschaften war das „mechanistische“ Weltbild René Descartes. Die Natur wird darin als Maschine gedeutet, die nach einem erkennbaren Plan konstruiert ist. Naturvorgänge lassen sich dementsprechend wie die Teile eines Apparates in Einzelteile zerlegen und für sich betrachten. Im Experiment beispielsweise werden Teile der Natur von ihrer Umgebung isoliert, um sie ohne den Einfluss nicht gewünschter Faktoren zu untersuchen. Das Experiment lässt sich somit als „Frage an die Natur“ oder „kontrollierte Erfahrung“ verstehen.⁶¹

Die Bezeichnung Natur wurde nicht nur auf die Materie selbst angewendet, sondern auch auf die Gesetze, die ihre Bewegung bestimmen. Sie wurden Ende des 17. Jahrhunderts zunehmend mathematisch formuliert, u. a. 1687 von Isaak Newton in den „Mathematischen Prinzipien der Naturphilosophie“.⁶² Naturgesetze formulieren Zusammenhänge zwischen verschiedenen Größen und haben die Form von Wenn-dann-Aussagen.⁶³

Was aber müssen wir uns unter „Naturgesetzen“ konkret vorstellen? Für Descartes wurden sie von Gott in die Natur gelegt und zugleich „dem menschlichen Geist eingepägt“⁶⁴. Der Begriff stellt ursprünglich somit eine Analogie

⁵⁹Precht 2017, S. 503.

⁶⁰Gloy 1995, S. 157 zitiert und übersetzt Galilei 1929–1939, S. 232.

⁶¹Peuker 2017, S. 151,155; Freise 1993, S. 123.

⁶²Peuker 2017, S. 160 f.

⁶³Spektrum.de 1999.

⁶⁴Peuker 2017, S. 153.

zur menschlichen Gesetzgebung her, mit Gott als Gesetzgeber. Im Bild dieser Analogie muss sich die Natur nach den gesetzmäßig verfassten Geboten Gottes richten.⁶⁵ In den heutigen Naturwissenschaften hilft diese Analogie jedoch nicht weiter, da sie die Natur beschreiben wollen, ohne auf Gott als Erklärung zurückzugreifen.

Einer der Naturwissenschaftler, die versucht haben, den Naturgesetzbegriff näher zu fassen, war der Physiker Erwin Schrödinger. Seine 1922 an der Universität Zürich gehaltene Antrittsrede überschrieb er mit der Frage: „Was ist ein Naturgesetz?“⁶⁶ Dabei ging er zunächst vom Verständnis der klassischen Physik aus (Zitat 4.8), um diesem eine neue, quantenphysikalisch begründete Auslegung entgegenzusetzen.

Zitat 4.8: Erwin Schrödinger (1887–1961)



„Über die Erfahrung hinaus wird als allgemeines Postulat aufgestellt, daß auch in solchen Fällen, in denen es noch nicht gelungen ist, die bedingenden Ursachen eines bestimmten Erscheinungsablaufes zu isolieren, solche doch angebbbar sein müssen, oder mit anderen Worten, daß ein jeder Naturvorgang absolut und quantitativ determiniert ist [...]. In diesem Postulat, das wohl auch als Kausalitätsprinzip bezeichnet wird, werden wir durch fortschreitende Erkenntnis spezieller bedingender Ursachen stets aufs neue bestärkt. Als Naturgesetz nun bezeichnen wir doch wohl nichts anderes als eine mit genügender Sicherheit festgestellte Regelmäßigkeit im Erscheinungsablauf, sofern sie als notwendig im Sinne des oben genannten Postulats gedacht wird.“⁶⁷

Wie Schrödinger feststellt, verstand man bis dahin eine regelmäßige Ereignisabfolge, die nicht zufällig geschieht, sondern durch „notwendige“ kausale Zusammenhänge bestimmt wird, als Naturgesetz. Das heißt, eine bestimmte Ursache muss immer und überall zu einer bestimmten Wirkung führen (Abb. 4.5).

In Abb. 4.5 wirkt die Ursache A auf B ein. B erfährt hierdurch eine Veränderung und wird zu B', das seinerseits als Ursache auf C einwirkt, usw. Damit eine Kausalerklärung Anwendung findet, reicht es nicht aus, dass B' zeitlich auf A folgt, vielmehr muss A auf B wirken und B' so verursachen. In diesem Prozess gibt es kein Ziel. Im mechanistischen Weltbild der klassischen Physik wird der „Weltenlauf“ allein durch die Position der Teilchen sowie mathematische Gesetzmäßigkeiten bestimmt. Wenn die Ausgangsbedingungen festliegen, ist alles vorherbestimmt bzw. determiniert (Zitat 4.9). In einer vollständig determinierten Welt kann es freie menschliche Entscheidungen nicht geben. Zu Ende gedacht,

⁶⁵ Peucker 2017, S. 161.

⁶⁶ Schrödinger 1929.

⁶⁷ Schrödinger 1929, S. 9.

$$A \longrightarrow B \rightarrow B' \longrightarrow C \rightarrow C' \longrightarrow \dots\dots$$

Abb. 4.5 Lineare Kausalität. (Eigene Darstellung)

impliziert eine solche Sichtweise, dass Lebewesen und soziale menschliche Beziehungen letztendlich nichts anderes sind als die Bewegung von Elementarteilchen oder Atomen.

Zitat 4.9: Pierre-Simon Laplace (1749–1827)



„Wir müssen [...] den gegenwärtigen Zustand des Weltalls als die Wirkung seines früheren Zustandes und andererseits als die Ursache dessen, der folgen wird, betrachten. Eine Intelligenz, welche für einen gegebenen Augenblick alle Kräfte [...] sowie die gegenseitige Lage der Wesen, die sie zusammensetzen, kennen würde, und überdies umfassend genug wäre, um diese gegebenen Grössen einer Analyse zu unterwerfen, würde in derselben Formel die Bewegungen der grössten Weltkörper wie die des leichtesten Atoms ausdrücken: nichts würde für sie ungewiss sein und Zukunft wie Vergangenheit ihr offen vor Augen liegen.“⁶⁸

Schrödinger bezweifelt, dass die Natur eine determinierte Verfasstheit hat. Dabei bezieht er sich auf die von ihm mitbegründete Quantenphysik. Sie stellte Anfangs des 20. Jahrhunderts das vorherrschende Weltbild der klassischen Naturwissenschaft infrage, da die Prozesse auf atomarer und subatomarer Ebene nicht mehr mithilfe kausal vorgestellter Prozessstrukturen erklärt werden können. Hier sind keine klaren Ursache-Wirkungs-Zusammenhänge zu finden, oder anders gesagt, Ursache und Wirkung lassen sich nicht mehr klar voneinander trennen.⁶⁹

Eines der Beispiele, mit denen Schrödinger seinen Zweifel an der Existenz kausaler Naturgesetze begründet, ist der radioaktive Zerfall,⁷⁰ bei dem instabile Atomkerne unter Abgabe von Strahlung zerfallen und stabilere übrigbleiben. Für diesen Vorgang gibt es keine äußere Ursache. Ob ein einzelner Kern unter Abgabe radioaktiver Strahlung zerfällt, ist völlig offen und dem Zufall überlassen. So kann es bei zwei Urankernen, die an sich identisch sind und den gleichen Umgebungsbedingungen ausgesetzt sind, sein, dass der eine Kern in der nächsten Minute zerfällt und der andere nicht. Angeben lässt sich nur eine Wahrscheinlichkeit für den Zerfall. Erst wenn eine große Zahl von Atomen vorliegt, wird aus Wahrscheinlichkeit ein Gesetz, mit dessen Hilfe vorhergesagt werden kann, wie viel nach einer

⁶⁸ „Essai philosophique sur les probabilités“, Laplace 1886, S. 4.

⁶⁹ Rathmann 2008, S. 60.

⁷⁰ Schrödinger 1929, S. 10.

bestimmten Zeit zerfallen ist. Makroskopisch können somit Zusammenhänge formuliert werden, die wie kausale Naturgesetze wirken. Es lässt sich beispielsweise eine Halbwertszeit ermitteln, mit der berechnet werden kann, wie viele Atomkerne nach einer bestimmten Zeit zerfallen sind. Welche das sind, ist aber völlig unbestimmt. Für Schrödinger sind die Prozesse in der Natur durch echte Zufälle bestimmt. Erst auf makroskopischer Ebene ergeben sich aufgrund der großen Zahl der beteiligten Teilchen aus Zufällen scheinbar geordnete Zusammenhänge (Zitat 4.10).

Zitat 4.10: Erwin Schrödinger (1887–1961)



„Die physikalische Forschung hat in den letzten 4–5 Jahrzehnten klipp und klar bewiesen, daß zum mindesten für die erdrückende Mehrzahl der Erscheinungsabläufe, deren Regelmäßigkeit und Beständigkeit zur Aufstellung des Postulates der allgemeinen Kausalität geführt hat, die gemeinsame Wurzel der beobachteten strengen Gesetzmäßigkeit der Zufall ist. [...]

Es ist nun, mindestens in einer sehr großen Zahl von Fällen ganz verschiedener Art gelungen, die beobachtete Gesetzmäßigkeit voll und restlos aus der ungeheuer großen Zahl der zusammenwirkenden molekularen Einzelprozesse zu erklären. Der molekulare Einzelprozeß mag seine eigene strenge Gesetzmäßigkeit besitzen oder nicht besitzen – in die beobachtete Gesetzmäßigkeit der Massenerscheinung braucht jene nicht eingehend gedacht zu werden, sie wird im Gegenteil in den uns allein zugänglichen Mittelwerten über Millionen von Einzelprozessen vollständig verwischt. Diese Mittelwerte zeigen ihre eigene, rein statistische Gesetzmäßigkeit, die auch dann vorhanden wäre, wenn der Verlauf jedes einzelnen molekularen Prozesses durch Würfeln, Roulettespiel, Ziehen aus einer Urne entschieden würde⁷¹ [...] es ist sehr wohl möglich, daß die Naturgesetze samt und sonders statistischen Charakter haben.“⁷²

Insgesamt bleibt festzustellen, dass, obwohl in den Naturwissenschaften mit dem Begriff gearbeitet wird, nach wie vor Unklarheit darüber besteht, um was es sich bei einem Naturgesetz handelt und warum es gilt.⁷³ „Realisten“ glauben, dass Naturgesetze wirklich als solche existieren. Reduktionisten wie Schrödinger vertreten dagegen die Auffassung, dass es die Naturgesetze selbst nicht gibt, sondern dass sie Ausdruck von etwas anderem sind. Dieses andere ist selbst kein Naturgesetz, sondern beruht womöglich nicht auf Regeln, sondern auf Zufällig-

⁷¹ Schrödinger 1929, S. 9.

⁷² Schrödinger 1929, S. 11.

⁷³ Spektrum.de 1999.

keiten. Eine weitere Position versteht Naturgesetze als Denkstrukturen, mit denen wir die Natur beschreiben.⁷⁴

4.4.3 Statische oder dynamische Natur?

Bevor sich die Naturwissenschaften entwickelten wurde die Natur als „unwandelbare Welt“ wahrgenommen, die „Stabilität, Konstanz und Perfektion“ ausdrückte. Veränderungen betrafen nur Individuen, nicht aber Arten oder die Natur als Ganzes. Dieses Verständnis prägte zu Beginn der Neuzeit auch noch die Naturwissenschaften. Descartes setzt ein Universum voraus, das, ähnlich wie ein Uhrwerk, durch gottgegebene Naturgesetze gesteuert wird. Dieses Verständnis hat sich seit Mitte des 19. Jahrhunderts gewandelt. Neuere Erkenntnisse wie die Entwicklung der Evolutionstheorie oder die Entdeckung, dass das Universum expandiert, führten zu der Einsicht, dass die Natur nicht unwandelbar ist, sondern dass sie sich in einer naturgeschichtlichen Entwicklung ständig verändert. Für die heutigen Naturwissenschaften ist die Natur kein „perfektes, absolutes System“, sondern ein „offener, relativer Prozess“.⁷⁵

Für Konzepte, die sich wie die Bionik oder die Circular Economy an Vorbildern aus der Natur orientieren, ist in diesem Zusammenhang vor allem die Evolutionstheorie von Bedeutung (Abschn. 4.5). Der Begriff „Evolution“ leitet sich aus dem lateinischen Wort „evolvere“ ab, was „herausrollen“ oder „entwickeln“ bedeutet. Ab Beginn des 19. Jahrhunderts wird Evolution, nachdem zuvor mehr die individuelle Entwicklung von Lebewesen damit gemeint war, auf deren Entwicklungsgeschichte und den zugehörigen Prozess bezogen. Charles Darwin und Alfred Russel Wallace entwickelten hierzu in der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts eine wissenschaftliche Theorie.⁷⁶ Wesentlich darin sind das Selektionsprinzip und damit verbundene „unterschiedliche Überlebens- und Fortpflanzungswahrscheinlichkeiten“⁷⁷.

Heute werden vor allem drei Bedeutungen mit einer „biologischen Evolution“ verbunden. Sie bezeichnet sowohl die generationenübergreifende Veränderung von Lebewesen als auch deren Verwandtschaft und die Mechanismen, die bei ihrer Veränderung wirksam sind.⁷⁸ Grundlegend für Letztere ist, dass sich alle Lebewesen in Merkmalen voneinander unterscheiden und dass diese, zumindest geringfügig, unterschiedliche Fortpflanzungsraten zur Folge haben. Die Merkmale werden über die Gene an die nachfolgende Generation weitergegeben und

⁷⁴ Esfeld 2002, 23 ff.

⁷⁵ Gloy 1995, S. 225.

⁷⁶ Toepfer 2011c, S. 481.

⁷⁷ Kutschera 2015, S. 99.

⁷⁸ Toepfer 2011c, S. 484.

sind teilweise vererbbar. Ein wichtiger Punkt in der Evolutionstheorie ist, dass sich im Laufe der Zeit so „Typen“ von Lebewesen ausbreiten, die eine höhere Überlebens- und Fortpflanzungsrate haben als andere. Es entstehen neue Populationen, die sich irgendwann von ihren Vorfahren so weit unterscheiden, dass sie mit diesen nicht mehr kreuzbar sind. Das Ausleseergebnis schränkt zukünftige Entwicklungsmöglichkeiten ein und führt zu mehr Komplexität. Der Prozess ist irreversibel und unwiederholbar. Wichtig ist, dass er in der Evolutionstheorie keinem Ziel folgt. Das Auge entstand, evolutionär betrachtet, nicht, „um zu sehen“, sondern weil die Fähigkeit, auf Lichtreize reagieren zu können, die Fortpflanzungswahrscheinlichkeit erhöht hat. Der Evolutionsprozess ist nicht auf bestimmte Merkmale oder Anpassungen, beispielsweise mehr Effizienz, ausgerichtet (Abschn. 4.7.2). Er ist ergebnisoffen und bis auf Ausnahmen nicht vorhersagbar.⁷⁹

4.4.4 Die Umgestaltung der Natur

Bereits Descartes hatte in den Naturwissenschaften nicht nur eine Methode zur Untersuchung von Naturprozessen gesehen. Er verstand sie auch als neue Möglichkeit, die Natur zur Befriedigung menschlicher Bedürfnisse umzugestalten (Zitat 4.6). Dass Natur wie eine Maschine prinzipiell auch „konstruiert“ werden kann, drückt sich jedoch nicht nur in technischen Anwendungen aus, auch die naturwissenschaftliche Untersuchungsmethode selbst nimmt Natur nicht einfach wie sie ist, sondern richtet sie für ihre Experimente her. Die Natur wird dabei in Form von „systematisierbaren, verwertbaren Fragmenten wahrgenommen“⁸⁰.

Naturwissenschaftlerinnen und -wissenschaftler stellen die Objekte, die sie in ihren Experimenten untersuchen, teilweise erst selbst her. In der Physik werden Elementarteilchen beobachtet, die ohne die künstlichen Bedingungen im Beschleuniger nicht existieren würden, in der Chemie werden Stoffe hergestellt, die es zuvor nicht gab, und in der synthetischen Biologie werden neue Organismen konstruiert. Naturwissenschaftler und -wissenschaftlerinnen gehen dabei davon aus, dass die von ihnen künstlich hergestellten Untersuchungsobjekte auch Naturgegenstände sind. Sie untersuchen also nicht die ursprüngliche Natur Rousseaus, wie es sie ohne menschliche Einwirkung geben würde, sondern stellen die Natur, die sie untersuchen, selbst her. Die Naturwissenschaften untersuchen somit nicht nur eine gegebene Natur, sondern ebenfalls auch eine potenziell mögliche, die erst im Experiment und in technischen Anwendungen verwirklicht wird. Eine Unterscheidung zwischen Künstlichem und Natürlichem macht in den Naturwissenschaften deshalb keinen Sinn. Aus ihrer Perspektive wirken überall die gleichen

⁷⁹Toepfer 2011c, S. 481 ff.; Vollmer 1995, S. 68 ff., 95 ff.

⁸⁰Freise 1993, S. 126.

Prinzipien, alles besteht aus Energie, Elementarteilchen, Atomen, Molekülen oder Genen, deren Verhalten durch Naturgesetze bestimmt wird.⁸¹

4.5 Gründe für eine Orientierung am Vorbild Natur?

Bevor wir im nachfolgenden Abschnitt nach Möglichkeiten der Naturerkenntnis fragen, wollen wir hier ein kurzes Resümee ziehen, ob die in Abschn. 4.3 vorgestellten historischen Naturdeutungen Anlass geben, die Natur als Vorbild herauszustellen, und wenn ja, warum. Die Deutung der Stoiker und die von René Descartes bilden dabei ausgesprochene Gegensätze. Beide interessieren sich zwar für die Natur, allerdings aus unterschiedlichen Gründen.

Für die Stoa ist die Natur ein einheitliches Ganzes. Sie ist lebendig und eine Art Organismus, in dem ein göttliches Prinzip wirkt. Sich am Vorbild Natur zu orientieren, heißt hier, im „Einklang mit der Natur“ zu leben, diesem Prinzip zu folgen und mit dem Göttlichen ins Einverständnis zu setzen. Es geht darum, sich in das große Ganze einzufügen und Teil des kosmischen Organismus zu sein. Descartes will das Gegenteil. Er möchte Zusammenhänge in der Natur erkennen, um sie zu verändern. Die Natur, inklusive der Tiere und seines eigenen Körpers, ist für ihn tote Materie, in der sich Teilchen wie in einer Maschine bewegen. Dieser Naturmaschine stellt er den lebendigen Geist der Menschen und den Geist Gottes gegenüber.

In den frühen Naturwissenschaften, für die Descartes hier stellvertretend steht, ist die Natur weniger ein „Vorbild für Nachahmungen“, sondern, wie Birgit Peuker schreibt, eine „Ressource für die schöpferischen Konstruktionen“ von Menschen.⁸² Eine Orientierung an Naturgesetzen erfolgte oft nicht wie bei den Stoikern aus Achtung vor der Natur, sondern um sie zu beherrschen.⁸³ Auch wenn die meisten Naturwissenschaftlerinnen und -wissenschaftler heute nicht mehr dem mechanistischen Weltverständnis von Descartes folgen, vertreten viele dennoch einen physikalischen Monismus. Letztendlich ist die Natur für sie zunächst etwas Unbelebtes, in dem das Entstehen von Leben mithilfe von Mechanismen, die in der toten Materie wirken, erklärt werden muss.

Wenn in den Naturwissenschaften oder technischen Fächern wie der Bionik von einer Orientierung an der Natur die Rede ist, ist als Vorbild meistens die Evolution gemeint. Gleich et al., die wir in diesem Zusammenhang bereits in Abschn. 3.3 zitiert haben, nennen in einer Studie, in der sie Entwicklungstrends in der Bionik untersuchen, drei „Ebenen“, die für das „Lernen von der Natur“ herangezogen werden können. Sie sind alle auf die Evolution bezogen. Wir wiederholen

⁸¹ Peuker 2017, S. 162.; Freise 1993, S. 124 ff.; Gloy 1995, S. 221 ff.

⁸² Peuker 2017, S. 155.

⁸³ Gloy 1995, S. 181.

sie hier noch einmal und geben sie wörtlich so wieder, wie Gleich et al. sie zusammengefasst haben:⁸⁴

1. „Lernen von den Ergebnissen der Evolution“
2. „Lernen vom Prozess der Evolution“
3. „Lernen von den (Erfolgs-)Prinzipien der Evolution“

Wie wir bereits berichtet haben, zählen Gleich et al. zum ersten Punkt der Aufzählung konkrete Systemlösungen wie beispielsweise den Klettverschluss, der sich an der gleichnamigen Pflanze orientiert, oder einen Flugzeugflügel, der dem eines Vogels nachempfunden ist. Als Grund, warum man die Ergebnisse der Evolution als technisches Vorbild heranziehen soll, geben sie an, dass die natürlichen Vorbilder über Jahrmillionen in einem evolutionären Prozess erprobt und optimiert wurden.⁸⁵ Punkt 2 umfasst Methoden, mit denen der Evolutionsprozess durch Variation und Auslese nachgeahmt wird. Für die Circular Economy ist Punkt drei der Aufzählung relevant. Sie wird von Gleich et al. in diesem Zusammenhang explizit als Beispiel genannt. Das Entstehen von natürlichen Kreisläufen wird von ihnen als ein wesentliches Erfolgsprinzip der Evolution interpretiert. Die Weisheit der Natur, die in der Stoa mit dem Logos gleichzusetzen war, wird hier quasi durch das Wort „Erfolg“ ersetzt.

4.6 Was können wir über Natur wissen?

4.6.1 Erkenntnistheoretische Grundsatzpositionen

Wenn wir die Natur als Vorbild heranziehen, beispielsweise um ihre Prinzipien in unser Wirtschaftssystem zu übertragen, setzen wir stillschweigend voraus, dass wir von diesen Prinzipien gesicherte und objektive Kenntnisse haben.⁸⁶ Was wir jedoch über die Natur sagen, wie wir sie sehen und wie wir sie verstehen, ist kein absolutes Wissen, sondern hängt von unserer Perspektive ab. Sowohl unser persönlicher Standpunkt als auch unser kulturelles Umfeld spielen dabei eine Rolle. Was Natur „von sich aus“ ist – ohne unsere Deutung – entzieht sich unserer Erkenntnis. Wir können keine Aussagen über die Natur an sich treffen, sondern nur, wie sie uns erscheint.⁸⁷ Wenn wir also von der Natur lernen wollen, stellt sich die erkenntnistheoretische Frage, ob wir ihre „Prinzipien“ und sie selbst überhaupt erkennen können.

Die Erkenntnistheorie ist eine philosophische Disziplin, die Möglichkeiten und Grenzen der Erkenntnisfähigkeit untersucht. Die meisten historischen Versuche,

⁸⁴ Gleich et al. 2006, S. 26 ff.

⁸⁵ Gleich et al. 2006, S. 30.

⁸⁶ Gleich 1998, S. 8.

⁸⁷ Katzenstein 2019, S. 12.

sich dem Erkenntnisproblem zu nähern, unterteilen die Welt in Subjekt und Objekt (Zitat 4.11).

Zitat 4.11: Heinz Zahrnt (1915–2003)



„Das Wesen der Neuzeit und ihres Denkens besteht darin, daß, daß ihr die Welt zum Bilde wird. [...] Damit hat sich eine tiefe Wandlung im Verhältnis des Menschen zur Welt angebahnt: der Mensch wird zum Subjekt und die Welt zu seinem Objekt. [...] und entsprechend wird die Welt für ihn zum ‚Gegenstand‘. Ob er die Welt als Gegenstand so oder so beschreibt, ob sein ‚Weltbild‘ idealistisch oder materialistisch ausfällt, ist ziemlich gleichgültig – auf jeden Fall hat er es unter Absehen von seiner eigenen Existenz entworfen.“⁸⁸

Subjekt ist das denkende und ggf. erkennende Ich und Objekt alles, was nicht zu diesem Ich gehört. Die Kernfrage der meisten Erkenntnistheorien ist nun, wie Subjekt und Objekt zusammenkommen, ob also das, was in unserer Innenwelt als Gegenstand „erscheint“, mit dem identisch ist, was es in der Außenwelt gibt. Einen anderen Ansatz, auf den wir hier nicht näher eingehen, verfolgt die „Phänomenologie“. Dabei handelt es sich um eine philosophische Richtung, in der Phänomene, also unmittelbar gegebene Erscheinungen, im Mittelpunkt stehen. Die Unterscheidung zwischen Innen- und Außenwelt macht hier keinen Sinn. Ein Subjekt existiert in der Phänomenologie nicht als Gegenüber von Welt. Existenz gib es nur in der Bezogenheit aufeinander, d.h. nur mit der Welt zusammen.⁸⁹

Stark vereinfacht lassen sich mit dem Dogmatismus und Skeptizismus zwei erkenntnistheoretische Grundsatzpositionen unterscheiden.⁹⁰ Der Dogmatismus geht davon aus, dass es unbezweifelbare Auffassungen und Aussagen gibt, der Skeptizismus bezweifelt dagegen grundsätzlich die Möglichkeit, sichere Erkenntnisse zu haben. Die in Abschn. 4.3.2 vorgestellte Philosophie Descartes ist, obwohl man aufgrund seines methodischen Zweifels zunächst einen anderen Eindruck haben könnte, dem Dogmatismus zuzurechnen. Für Descartes stand unbezweifelbar fest, dass es sowohl sein denkendes Ich als auch Gott gibt. Gott sorgt, laut Descartes, dafür, dass Innen- und Außenwelt übereinstimmen.

Nahe mit dem Dogmatismus verwandt ist der „Realismus“. Realisten und Realistinnen gehen davon aus, dass wir „die Dinge an sich erkennen“.⁹¹ Es gibt jedoch verschiedene realistische Spielarten. Der als widerlegt geltende „naive Realis-

⁸⁸Zahrnt 2002, S. 246.

⁸⁹Zahavi 2010, S. 17 ff.

⁹⁰Ingensiep 1990, S. 32.

⁹¹Gabriel 2013, S. 146 f.

mus“, den wir meistens im Alltag praktizieren, ist davon überzeugt, dass die reale Welt genauso wahrgenommen wird, wie sie ist. Der „hypothetische Realismus vermutet dagegen nur, dass es eine reale Welt gibt, nimmt aber an, dass ihre Strukturen zumindest teilweise erkennbar sind und dass eine Prüfung dieser Hypothese möglich ist⁹²“.

Im Folgenden stellen wir exemplarisch mit dem von Immanuel Kant entwickelten „Kritizismus“ und der „Evolutionären Erkenntnistheorie“ zwei Ansichten vor, die zu gegensätzlichen Einschätzungen kommen, was die menschlichen Erkenntnismöglichkeiten betrifft. Für Kant ist die für die Formulierung von Naturgesetzen so wichtige Kausalität kein Prinzip der Natur, sondern ein Schema im menschlichen Geist. „Sie ist das Prinzip, wonach unser Verstand die sinnlichen Eindrücke ordnet“.⁹³ Vertreter der Evolutionären Erkenntnistheorie greifen Kants Gedanken auf und verknüpfen sie mit der Evolutionstheorie. Dabei bewerten sie Kant neu und kommen zu anderen Aussagen.

4.6.2 Das Ding an sich

Kant entwickelte seine erkenntnistheoretischen Vorstellungen in der Auseinandersetzung mit dem Denken des Philosophen David Hume. Dieser gilt als wichtigster Vertreter des „Empirismus“, womit eine erkenntnistheoretische Richtung gemeint ist, nach welcher gesichertes Wissen nur aus Erfahrung gewonnen werden kann.⁹⁴ Hume fragte sich in seiner 1748 veröffentlichten „Untersuchung über den menschlichen Verstand“, wie es sich begründen lässt, dass Ursache und Wirkung notwendigerweise miteinander verknüpft sein müssen. Beobachten können wir nämlich nur eine zeitliche Aufeinanderfolge und nicht deren Zusammenhang (Zitat 4.12). Diesen stellen wir laut Hume aus Gewohnheit her, wenn wir die zeitliche Aufeinanderfolge zweier Ereignisse öfter beobachten. Wir entwickeln dann aus einer endlichen Zahl von Beobachtungen allgemeine Sätze. Die kausale Verknüpfung selbst kann aber weder durch logische Vernunft noch durch Beobachtung bzw. Erfahrung nachgewiesen werden, sondern beruht, laut Hume, auf einem „irrationalen Glauben“ an wiederholt gemachte Erfahrungen.⁹⁵

⁹²Ingensiep 1990, S. 144.

⁹³Precht 2017, S. 475.

⁹⁴Ingensiep 1990, S. 143.

⁹⁵Ingensiep 1990, S. 73.

Zitat 4.12: David Hume (1711–1776)



„Wenn man sich unter äusseren Gegenständen umsieht und die Wirksamkeit der Ursachen betrachtet, so kann man für den einzelnen Fall niemals eine Macht oder nothwendige Verknüpfung entdecken; keine Eigenschaft zeigt sich da, welche die Wirkung an die Ursache bände und die eine zur untrüglichen Folge der andere machte. Man bemerkt nur, dass das Eine thatsächlich und wirklich dem Andern folgt. Dem Stosse der einen Billardkugel folgt die Bewegung der zweiten. Dies allein nehmen die äussern Sinne wahr. [...] Das einzelne Beispiel einer Ursache und Wirkung hat deshalb nichts an sich, was den Begriff von Kraft oder nothwendiger Verknüpfung darbieten könnte.“⁹⁶

Beurteilen Menschen alles, was sie wahrnehmen, aufgrund gemachter Erfahrungen, oder gibt es Urteile, die nicht darauf beruhen? Kant war sich zwar mit Hume darüber einig, dass die Erfahrung der Erkenntnis zeitlich vorangeht, ging aber davon aus, dass nicht die gesamte Erkenntnis aus der Erfahrung kommt. Ein Teil wie die Gesetze der Logik und Mathematik sind davon unabhängig. Für das, was wir Wahrnehmung nennen, verwendet Kant den Begriff „Anschauung“. Dabei unterscheidet er zwischen empirischen, durch die Sinne gegebenen, und „reinen“, nicht durch die Sinne gegebenen Anschauungen. Letztere bezeichnet er mit dem lateinischen Begriff „a priori“, was „von einem Früheren herkommend“ bedeutet. „A-priori-Anschauungen“ sind für Kant Einordnungen, die das menschliche Bewusstsein vornimmt. Sie sind nicht mit angeborenen Fähigkeiten zu wechseln. A priori, im Sinne Kants, bedeutet lediglich, dass sie von der Erfahrung unabhängig sind. Zu ihnen gehören die Anschauungen Raum und Zeit. Die Ordnung, die der Verstand durch sie erzeugt, besteht darin, dass wir alles, was wir wahrnehmen, in eine räumliche und zeitliche Beziehung zueinander setzen. Gegenstände befinden sich nebeneinander und Ereignisse geschehen nacheinander. Kant versteht Raum und Zeit nicht physikalisch, sondern als Erkenntnisstrukturen. Folgt man ihm an dieser Stelle, kann das bedeuten, dass Natur nicht von sich aus organisiert sein muss, sondern dass ihr ihre scheinbare Ordnung erst durch den menschlichen Verstand übergestülpt wird.⁹⁷ Ein Aspekt, der uns bei der Deutung der Natur als System in Abschn. 5.2 noch beschäftigen wird.⁹⁸

Als weitere Erkenntnisquellen identifiziert Kant die „Kategorien“. Dabei handelt es sich um Begriffe, die der Verstand bildet, um Sinneseindrücke zuzuordnen. „Wir können uns keinen Gegenstand denken, ohne durch Kategorien [...]“ schreibt Kant.⁹⁹ Sie sind erforderlich, um beispielsweise ein weißes Etwas

⁹⁶Hume 1869, S. 57 f.

⁹⁷Picht 1993a, S. 211.

⁹⁸Ingensiep 1990, S. 33 ff., 101 ff., 145.

⁹⁹Anzenbacher 2010, S. 143 zitiert Kants Kritik der reinen Vernunft B165.

als Blatt Papier zu erkennen und es nicht nur als Ansammlung von Weiß wahrzunehmen. Kant definiert Kategorien, die, ebenso wie die Anschauungen, vor aller Erfahrung liegen. Ohne sie ist Naturerfahrung nicht möglich.¹⁰⁰

Objektives Wissen über die Natur können wir, so sieht es Kant jedenfalls, nur von den „Erscheinungen“ haben, also davon, wie wir Dinge erfahren und erleben. Über ein „Ding an sich“, wie Kant das Objekt nennt, auf das unsere Sinneswahrnehmung letztendlich zurückgeht, können keine Aussagen getroffen werden, sondern nur darüber, als was es uns erscheint (Zitat 4.13).

Zitat 4.13: Immanuel Kant (1724–1804)



„Wir müssen aber empirische Gesetze der Natur, die jederzeit besondere Wahrnehmungen voraussetzen, von den reinen oder allgemeinen Naturgesetzen, welche, ohne daß besondere Wahrnehmungen zum Grunde liegen, bloß die Bedingungen ihrer notwendigen Vereinigung in einer Erfahrung enthalten, unterscheiden, und in Ansehung der letzteren ist Natur und mögliche Erfahrung ganz und gar einerlei; und da in dieser die Gesetzmäßigkeit auf der notwendigen Verknüpfung der Erscheinungen in einer Erfahrung (ohne welche wir ganz und gar keinen Gegenstand der Sinnenwelt erkennen können), mithin auf den ursprünglichen Gesetzen des Verstandes beruht, so klingt es zwar anfangs befremdlich, ist aber nichtsdestoweniger gewiß, wenn ich in Ansehung der letzteren sage: der Verstand schöpft seine Gesetze (a priori) nicht aus der Natur, sondern schreibt sie dieser vor.“¹⁰¹

Dass die Grundstrukturen für die Ordnung, die wir in der Natur wahrnehmen, im menschlichen Verstand angelegt sind, heißt jedoch nicht, dass es die Dinge und Zusammenhänge, die in den Naturwissenschaften ermittelt werden, nicht gibt. Viel hängt davon ab, ob die Strukturen des Verstandes dieselben sind wie die der äußeren Natur. Ob eine Erscheinung mit dem Gegenstand übereinstimmt, auf den sie zurückgeht, ist aber, laut Kant, nicht festzustellen. Das Erkennen von Natur ist in der Kant'schen Philosophie kein objektives „Abbilden“, sondern ein „subjektiver Entwurf“.¹⁰² Die Vorstellung von der Natur als einheitliches Gebilde hat seinen Ursprung deshalb im denkenden Ich oder, wie Kant schreibt (Zitat 4.13): „Der Verstand schöpft seine Gesetze (a priori) nicht aus der Natur, sondern schreibt sie dieser vor“.¹⁰³ Seit Kant kann Erkenntnis nicht mehr als reines „Abbild einer ob-

¹⁰⁰Ingensiep 1990, S. 33 ff., 101 ff., 145.

¹⁰¹Kant 1969, S. 77 ff., entnommen aus Ingensiep 1990, S. 170.

¹⁰²Ingensiep 1990, S. 37.

¹⁰³Ingensiep 1990, S. 33 ff., 101 ff., 145.

jektiven Wirklichkeit“ aufgefasst werden. Es ist zu berücksichtigen, dass sie vom Subjekt und dessen Wissensstrukturen abhängig ist.¹⁰⁴

4.6.3 Evolutionäre Erkenntnistheorie

Wenn unsere Vorstellungen von der Natur ein „subjektiver Entwurf“¹⁰⁵ sind, stellt sich die Frage, wie weit dieser Entwurf mit dem, was wirklich ist, übereinstimmt. Es kann eine weitgehende Übereinstimmung geben, nur, so Kant, lässt sich das leider nicht feststellen. Kants Reflexion führt also, wie der Biophilosoph Hans-Werner Ingensiep schreibt, in eine „erkenntnistheoretische Sackgasse“¹⁰⁶. Damit es eine Übereinstimmung gibt, müssten in unserem Denken die gleichen Strukturen wirksam sein wie in der äußeren Natur, oder, anders ausgedrückt, was der Natur ihre Ordnung verleiht, bildet sich vielleicht auch im menschlichen Verstand ab. Dass das so ist und dass unsere Erkenntnisstrukturen „wahre“ Zusammenhänge wahrnehmen, weil sie durch Evolution entstanden sind, ist der zentrale Gedanke der „Evolutionären Erkenntnistheorie“ (Zitat 4.14). Zu ihren Begründern zählen die Biologen Konrad Lorenz und Rupert Riedl sowie die Philosophen Karl Popper und Gerhard Vollmer.

Zitat 4.14: Gerhard Vollmer (*1943)



„Unser Erkenntnisapparat ist ein Ergebnis der Evolution. Die subjektiven Erkenntnisstrukturen passen auf die Welt, weil sie sich im Laufe der Evolution in Anpassung an diese reale Welt herausgebildet haben. Und sie stimmen mit den realen Strukturen (teilweise) überein, weil nur eine solche Übereinstimmung das Überleben ermöglichte.“¹⁰⁷

Ihren Ausgangspunkt nimmt die Evolutionäre Erkenntnistheorie bei Kant. Sie akzeptiert zunächst seine Vorstellung von A-priori-Anschauungen, deutet sie aber anders. Lorenz setzt sie mit angeborenen Organfunktionen gleich, die sich durch Mutation und Selektion entwickelt haben,¹⁰⁸ während sie für Kant logisch der Erkenntnis vorangehende Anschauungen waren.

¹⁰⁴Ingensiep 1990, S. 107.

¹⁰⁵Ingensiep 1990, S. 37.

¹⁰⁶Ingensiep 1990, S. 37.

¹⁰⁷Vollmer 1981, S. 102.

¹⁰⁸Ingensiep 1990, S. 48.

Was für Kant die A-priori-Anschauungen und Kategorien sind, ist aus der Sicht der Evolutionären Erkenntnistheoretiker das Ergebnis eines evolutionären Prozesses. In diesem konnte nur ausgebildet werden, was sich in einer langandauernden Auseinandersetzung mit einer objektiven Wirklichkeit bewährt hat. Aus Sicht des Individuums sind die A-priori-Anschauungen in der Evolutionären Erkenntnistheorie angeboren, aus Sicht der Art sind sie erworben.¹⁰⁹ Leben ist hier ein „erkenntnisgewinnender Prozess“, bei dem die Information, die sich im Laufe evolutionärer Anpassungsvorgänge im Genom der Lebewesen angesammelt hat, als eine Art Wissen ausgelegt wird.¹¹⁰ Unsere Denkstrukturen wurden durch die Evolution auf diese Weise an den „Mesokosmos“ mit seinen mittleren Dimensionen angepasst. Wir kommen zurecht, wenn es um Entfernungen von Millimetern bis zu Kilometern, Zeiträumen von Sekunden bis zu Jahren und Geschwindigkeiten bis zu einigen Metern pro Sekunde geht. Außerhalb dieser Bereiche, im Mikrokosmos der Atome und Elementarteilchen oder im kosmischen Makrokosmos, stoßen wir jedoch an unsere Grenzen.¹¹¹ Für die reale Welt in den Dimensionen des Mesokosmos wird in der Evolutionären Erkenntnistheorie aufgrund evolutionärer Anpassungsprozesse eine Übereinstimmung zwischen den subjektiven Erkenntnisstrukturen angenommen. Für Descartes wurde diese Übereinstimmung noch von Gott garantiert, in der Evolutionären Erkenntnistheorie übernimmt die Evolution seine bzw. ihre Rolle.

Die Übereinstimmung unserer Denkstrukturen mit der Wirklichkeit ist jedoch auch für die Evolutionäre Erkenntnistheorie nicht absolut, sondern nur partiell gegeben. Vollmer vertritt beispielsweise einen „hypothetischen Realismus“¹¹². Wissenschaftler und Wissenschaftlerinnen müssen deshalb zunächst von unbewiesenen Postulaten ausgehen. Ihre darauf aufbauenden Theorien werden dann entweder durch eine erfolgreiche Anwendung bestätigt oder widerlegt. Hypothesen bewähren sich oder werden als falsch ausselektiert. Für Popper sind wissenschaftliche Aussagen allesamt Hypothesen. Die Annahme, dass eine Aussage oder Theorie als „wahr“ gilt, kann jedoch damit begründet werden, dass sich andere als falsch erwiesen haben. Wahrheit kann in der Evolutionären Erkenntnistheorie (nur) annäherungsweise erreicht werden. Anders als bei Kant sind „Dinge an sich“, um seinen Ausdruck zu gebrauchen, aber partiell erkennbar, wenn die Dimension ihrer Strukturen zu denen unseres Alltags passt. Die Vertreter der evolutionären Erkenntnistheorie gehen von einem realen und kausalen Zusammenhang zwischen der „Erscheinung“, die sich dem Subjekt der Innenwelt zeigt, und dem „Ding an sich“, dem Objekt der Außenwelt, aus. In der Evolutionären Erkenntnistheorie entsprechen sich beide.¹¹³

¹⁰⁹Ingensiep 1990, S. 93.

¹¹⁰Ingensiep 1990, 50, 70.

¹¹¹Ingensiep 1990, S. 92.

¹¹²Ingensiep 1990, S. 144.

¹¹³Ingensiep 1990, S. 103.

4.7 Prinzipien der Natur

4.7.1 Lassen sich Naturprinzipien erkennen?

In Abschn. 4.6 haben wir mit der Philosophie Kants und der evolutionären Erkenntnistheorie zwei Konzepte vorgestellt, die zu sehr unterschiedlichen Schlussfolgerungen kommen, ob objektive Naturerkenntnis möglich ist. Letzteres ist eine wichtige Voraussetzung, um die Natur als Vorbild für technisch-ökonomische Konzepte heranziehen zu können. Folgen wir beispielsweise Kant in seiner Argumentation, können wir nur Aussagen darüber treffen, nach welchen Prinzipien unser Verstand vorgeht, ob es aber die Dinge so in der Natur gibt, wie wir sie wahrnehmen, müsste dann offenbleiben. Im Gegensatz dazu geht die Evolutionäre Erkenntnistheorie davon aus, dass unser Verstand die Wirklichkeit zumindest teilweise erkennen kann, weil er sich in Auseinandersetzung mit ihr entwickelt und bewährt hat.

Da wir angewandte Wissenschaftler sind, ist es nicht an uns, eine Frage zu klären, die von Philosophinnen und Philosophen seit mehr als zwei Jahrtausenden diskutiert wird. Um jedoch als Natur- oder Ingenieurwissenschaftler arbeiten zu können, bleibt uns in der Praxis nichts anderes übrig, als davon auszugehen, dass wir etwas über Dinge in der Natur und die Art und Weise, wie sie zusammenhängen, herausfinden können. Wir glauben deshalb auch, dass es, wie es die Bionik macht, sinnvoll ist, naturwissenschaftlich ermittelte Erkenntnisse über den Aufbau von Lebewesen auf technische Anwendungen zu übertragen. In manchen Denkschulen der Circular Economy geht es jedoch um etwas anderes. Die Prinzipien Ressourceneffizienz und Kreislauf sollen von der Natur auf die menschliche Wirtschaft übertragen werden. Wie wir in Abschn. 3.3 bereits angedeutet haben, sind sie jedoch kein unmittelbarer Gegenstand naturwissenschaftlicher Erkenntnis. Sie sind keine Dinge in der Natur und können deshalb auch nicht in ihr untersucht werden. Naturprinzipien stellen auch nicht wie Naturgesetze kausale Wenn-dann-Beziehungen her, sondern treffen Aussagen über die Natur und ihr Wesen an sich. Unseres Erachtens sind sie deshalb eher der Metaphysik zuzurechnen und nicht als naturwissenschaftliche Erkenntnisse einzuordnen. Selbst wenn wir uns dem Standpunkt der Evolutionären Erkenntnistheorie anschließen, ist zu berücksichtigen, dass Prinzipien der Natur nicht mehr in deren Zuständigkeitsbereich gehören. Auch unterschiedliche Perspektiven, aus denen auf Natur geschaut werden kann (Abschn. 4.8) sollten zumindest nachdenklich machen.

Wir, für unseren Teil, ziehen hieraus den Schluss, dass wir mit der Formulierung sogenannter Naturprinzipien behutsam umgehen müssen und dass wir sie nicht mit naturwissenschaftlichen Erkenntnissen gleichsetzen dürfen. Allgemeingültige Aussagen über das Wesen der Natur sollten möglichst vermieden werden. Zumindest sollten sie angemessen reflektiert, als nicht naturwissenschaftliche Aussagen kenntlich gemacht und relativiert werden. Aussagen dieser Art finden sich oft in „Die-Natur-ist-Sätzen“. „Die Natur ist grausam!“ wäre z. B. ein Satz, der in

diese Kategorie gehört, genauso wie die Aussagen „Die Natur arbeitet in Kreisläufen!“ und „Die Natur ist effizient!“. Sie sollen etwas über das Wesen der Natur aussagen und sind oft mit einer Schlussfolgerung verknüpft, die sich aus ihnen ergibt. Wir werden sie deshalb im Folgenden näher betrachten. Das Kreislaufmotiv ist für die Circular Economy und Bioökonomie allerdings so prägend, dass es eine ausführlichere Behandlung verdient hat, als es hier im Rahmen eines Kapitels möglich ist. Der zweite Band unserer Buchreihe widmet sich deshalb ausschließlich dem Kreislaufthema. Im Folgenden wollen wir jedoch die Aussage, dass die Natur effizient ist, untersuchen. So viel sei schon vorweggenommen: Für uns ist Effizienz kein Naturprinzip!

4.7.2 Ist Effizienz ein Naturprinzip?

Wie ein Diskussionspapier der Deutschen Akademie der Technikwissenschaften (acatech) zu einer bionischen Materialforschung zeigt, verweisen Publikationen zur Bionik oft auf die hohe Effizienz natürlicher Prozesse.¹¹⁴ Die besondere Qualität bionischer Lösungen wird meistens mit einer verbesserten Effizienz gegenüber herkömmlichen technischen Lösungen begründet. Nahezu jeder Beitrag des Diskussionspapiers bezieht sich argumentativ auf eine solche Effizienzsteigerung. Auf insgesamt 113 Textseiten haben wir 53-mal die Wörter „Effizienz“ oder „effizient“ gefunden.

Bionische Anwendungen können material- und ressourceneffizient sein, weil sie u. a. bestimmte Leichtbauweisen ermöglichen,¹¹⁵ durch die mehr Stabilität mit weniger Material erreicht werden kann. Auch auf einen anderen Aspekt wird häufig verwiesen: In der belebten Natur werden komplexe Strukturen aus Stoffen gebildet, die nicht so viele unterschiedliche chemische Elemente enthalten, wie Produkte für technische Anwendungen. Eine Wiederverwertung und eine Verbesserung der Ressourceneffizienz werden dadurch erleichtert.¹¹⁶

Bionische Entwicklungen können also effizienter sein als herkömmliche technische Anwendungen. Lässt sich hieraus aber der Schluss ziehen, die Natur selbst sei effizient, oder dass Effizienz ein Naturprinzip ist? Manche Verlautbarungen zur Bionik vermitteln diesen Eindruck. So schrieb der bayerische Projektverbund Baybionik 2020 noch auf seiner Homepage: „Die Natur ist effizient, sowohl was den Verbrauch von Energie als auch von Rohstoffen anbelangt“¹¹⁷. Andere Autoren¹¹⁸ definieren „Ressourceneffizienz“ als Naturprinzip oder sprechen davon, „dass Ma-

¹¹⁴Fratzl et al. 2019.

¹¹⁵Fratzl et al. 2019, S. 37,

¹¹⁶Beispiele finden sich auf der Homepage des Bionik-Kompetenz-Netzwerks, BIONIKON 2014.

¹¹⁷StmUV und THD 2020.

¹¹⁸Bauernhansl und Schwarz 2019, S. 25; Fraunhofer-Gesellschaft 2018, S. 23; Ferdinand et al. 2012, S. 45; Gleich 2006.

terial- und/oder Energieeffizienz die wichtigsten Stellschrauben in der Natur sind, um konkurrenzfähig zu sein und das Überleben einer Art zu sichern“¹¹⁹. So, wie es hier formuliert wird, scheint Effizienz eine Art Ziel der Evolution zu sein. Diese zeichnet sich aber gerade dadurch aus, dass sie kein Ziel hat.

Bevor wir auf die Frage zurückkommen, ob Effizienz ein Prinzip der Natur ist, wollen wir zunächst rekapitulieren, was mit dem Begriff gemeint ist. Effizienz ist ihrem Ursprung nach kein biologischer, sondern ein ökonomischer Begriff. Er „beschreibt das Verhältnis zwischen eingesetzten Mitteln (Kosten) und erreichtem Erfolg (Nutzen)“ und gibt damit Auskunft über die Wirtschaftlichkeit einer Handlung oder Maßnahme. „Von einer hohen E[ffizienz] spricht man, wenn ein vorgegebenes Ziel mit möglichst geringem Aufwand erreicht wird oder mit vorgegebenen Mitteln ein möglichst hoher Ertrag erzielt wird“.¹²⁰

$$\text{Effizienz} = \frac{\text{Nutzen}}{\text{Kosten}}$$

Wenn wir also von Effizienz in der Natur sprechen, müssen wir im Blick haben, dass wir ein ökonomisches Kosten-Nutzen-Denken verwenden, um uns die Natur zu erklären. Wir deuten sie dann aus einer ökonomischen Perspektive. Einzelne Prozesse in der Natur lassen sich durchaus unter diesem Blickwinkel betrachten. Es ist beispielsweise möglich, den Materialaufwand zu bestimmen, der für einen zu erzielenden Nutzen wie eine bestimmte Stabilität benötigt wird. Viele Prozesse und Produkte in der Natur sind aus diesem Blickwinkel ausgesprochen effizient. Viele, aber nicht alle! Die Energieumwandlung durch pflanzliche Fotosynthese in Bezug auf die pro Flächeneinheit umgewandelte Energie ist beispielsweise deutlich ineffizienter, als es technische Fotovoltaikanwendungen sind.¹²¹ Wie effizient Prozesse in Lebewesen organisiert sind, hängt weiterhin auch davon ab, wie viel Ressourcen zu Verfügung stehen. Effizient sind Prozesse oft nur dann, wenn Ressourcen knapp sind.¹²²

In Technik und Ökonomie hat der Effizienzgedanke, solange er nicht zum Selbstzweck wird, seine Berechtigung. Effizienz ist jedoch ein quantitatives Konzept, das nur angewendet werden kann, wenn sich Nutzen und Aufwand auch quantifizieren lassen. Der Begriff stößt an seine Grenzen, wenn es nicht um messbare Dinge geht, sondern um Qualitäten. Eine neue Quantität bedeutet, dass mehr oder weniger von etwas da ist, was schon vorhanden war. Durch eine neue Qualität kommt aber etwas hinzu, was anders ist als das, was es zuvor gab. Qualitäten lassen sich, auch wenn das häufig erfolgt, nicht in etwas Quantitatives übersetzen. Ein Beispiel ist die Aussage, dass auf die deutschen Treibhausgasemissionen im Jahr 2019 „Umweltkosten“ in Höhe von 156 Mrd. Euro anfallen, die auf „umwelt-

¹¹⁹ Bauernhansl und Schwarz 2019, S. 27.

¹²⁰ Schubert und Klein 2018.

¹²¹ Fratzl et al. 2019, S. 50.

¹²² Vincent 2002.



Abb. 4.6 Haarstern (Comatulida), Bildnachweis Gerd Kartzig.

bedingte Gesundheits- und Materialschäden, Ernteauffälle oder Schäden an Ökosystemen“ zurückzuführen sind.¹²³ Dabei handelt es sich um eine quantitative Beschreibung aus einer rein ökonomischen Perspektive. Sie berücksichtigt keine qualitativen Verluste wie das Verschwinden von Arten.

Die Grenzen des Effizienzdenkens werden besonders deutlich, wenn wir uns auf Lebewesen oder die Natur als Ganzes beziehen. Während wir in Technik und Ökonomie in der Regel einen Nutzen klar benennen können, ist das in der Natur nicht der Fall. Was ist in der Natur der Nutzen? Ist es das Überleben, die Fortpflanzung, die Arterhaltung? Wäre das der Fall, warum haben sich dann komplexe Lebensformen entwickelt? Würde es dann nicht völlig ausreichen, wenn es nur Lebewesen wie die „Haarsterne“ in Abb. 4.6 gäbe? Sie, bewegen sich nur wenige Zentimeter pro Jahr fort und verwenden keine Energie darauf, die eigene Körpertemperatur aufrechtzuerhalten.¹²⁴ Die Tiere kommen mit dieser Art zu leben bestens klar. Bestünde der Nutzen in der bloßen Arterhaltung, dann stellt sich die Frage, warum es so etwas wie Warmblüter überhaupt gibt. Ist Warmblütigkeit nicht eine Form von Energieverschwendung? Energieeffizient wäre es doch, wenn es keine Warmblüter gäbe, sondern nur Tiere, die keine Energie für

¹²³ Umweltbundesamt (UBA) 2021.

¹²⁴ Weber 2010.

die Aufrechterhaltung ihrer Körpertemperatur verwenden. Überleben und Fortpflanzen können sie sich schließlich auch.

Das Beispiel zeigt, dass Effizienz in der Natur möglicherweise zwar wichtig ist, keinesfalls aber von anderen Aspekten isoliert bewertet werden darf. So eröffnet eine konstante, ausreichend hohe Körpertemperatur, wie sie bei warmblütigen Tieren vorliegt, vermutlich ein reichhaltigeres Innen- und ein ganz anderes Sozialleben, als es bei wechselwarmen Tieren möglich ist. Hier reden wir jedoch über etwas Qualitatives und nicht über eine quantitativ messbare Größe. Die Qualität „Warmblütigkeit“ lässt sich mithilfe des Effizienzgedankens nicht erfassen. Effizienz als Naturprinzip zu verstehen geht deshalb unseres Erachtens zu weit. Es ist eine ökonomische Verengung der Perspektive.

Wenn wir den Effizienzgedanken aus der Ökonomie oder Technik auf die Natur anwenden, nehmen wir eine Begriffsübertragung vor. Wir blicken wie durch einen Filter auf die Natur, und zwar durch einen, den Ingenieurinnen und Ingenieure oder Ökonominen und Ökonomen routinemäßig in ihrem Berufsleben anwenden. Was wir als Angehörige der Ingenieurs- oder ökonomischen Wissenschaften in der Natur entdecken, sind oft Kosten-Nutzen-Relationen, und zwar, weil wir in diesen Wissenschaften gelernt haben, so zu denken. Wenn wir von der Effizienz der Natur sprechen, dann deuten wir sie mithilfe dieses Denkens. Effizienz als Naturprinzip aufzufassen ist eine Übertragung technisch-ökonomischer Zusammenhänge auf die Natur. Wie wir Natur wahrnehmen, ist also nicht nur eine Frage von Kants A-priori-Anschauungen, sondern hängt auch von unseren Denkgewohnheiten und Perspektiven ab. Da sich aber eine perspektivische Betrachtung nicht vermeiden lässt, ist es umso wichtiger, dass wir, wegen ihres relativen Charakters, keine Blickrichtung absolut setzen.¹²⁵ Im folgenden Abschnitt benennen wir deshalb, ohne Anspruch auf Vollständigkeit, unterschiedliche Perspektiven aus denen auf die Natur geschaut werden kann (Abschn. 4.8). Wie wir später noch ausführen, ist die ökonomische Perspektive dabei konstituierend für das Naturverständnis der Circular Economy und Bioökonomie.

4.8 Naturbilder

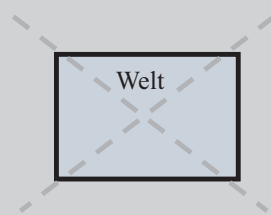
Das Bild, das wir uns von der Natur machen, enthält immer eine bestimmte Perspektive. Je nachdem, aus welchem Umfeld die Aussagen zur Natur kommen, werden bestimmte Aspekte betont und andere weggelassen. Dies gilt, wie wir in Kap. 7 noch behandeln werden, auch für die Circular Economy und Bioökonomie. Im Folgenden werden unterschiedliche Perspektiven auf die Natur kurz vorgestellt.

¹²⁵Katzenstein 2019, S. 20.

Perspektive 1: Es gibt keine Welt

Die Position, dass es keine Welt gibt, bedeutet nicht, dass nichts existiert. Philosophen wie Markus Gabriel betonen sogar, dass es viel mehr als das von den Naturwissenschaften untersuchte Physikalische gibt. Für Gabriel existiert in gewisser Weise auch Sherlock Holmes, und zwar als Romanfigur. Er bestreitet jedoch, dass es so etwas wie ein Übersystem „Welt“ gibt, das alles umfasst. Gabriel geht stattdessen von der Existenz unterschiedlicher Bereiche aus, von denen manche zusammenhängen, aber nicht alle mit allen. Die von den Naturwissenschaften untersuchte Natur ist für ihn nur ein Bereich unter vielen.¹²⁶ Wohlgemerkt, Gabriels These richtet sich auf die Welt und nicht auf die Natur. Es ist aber auch nicht selbstverständlich, dass die Natur ein durch Gesetze geordneter Zusammenhang ist. Das zeigt beispielsweise das auf Erwin Schrödinger zurückgehende Zitat 4.10 in Abschn. 4.4.2, in dem Schrödinger die Natur auf Zufälle und Statistik zurückführt.

Zitat 4.15: Markus Gabriel (*1980), Philosoph



„Die Welt kann [...] prinzipiell nicht existieren, weil sie nicht in der Welt vorkommt.“¹²⁷

Eigene Darstellung

Perspektive 2: Animistisches Naturverständnis

Der Begriff Animismus steht für den Glauben an die Allbeseeltheit der Natur. Sowohl die Natur als auch alle Naturphänomene sind hier beseelt. Die Naturwahrnehmung des Animismus ist durch ein Gefühl der Verbundenheit und Teilhaftigkeit geprägt. Da Menschen und Tiere im Animismus in Verwandtschaft verbunden sind, müssen Menschen demütig und ehrfürchtig handeln. Im animistischen Naturverständnis wird die Natur oft als „Mutter“ beschrieben (Perspektive 9).¹²⁸ Zwischen Perspektive 2 und Perspektive 3 (Natur als organische Einheit) bzw. Perspektive 6 (Menschen sind Teil der Natur) gibt es Überschneidungen.

¹²⁶Gabriel 2013.

¹²⁷Gabriel 2013, S. 22.

¹²⁸Caviola 2013b.

Zitat 4.16: Tahaltan-Kultur (Westkanada)



„Die Erde lebt und ist dasselbe wie unsere Mutter. Denn bestünde die Erde nicht, gäbe es keine Menschen. Die Menschen sind ihre Kinder, und ebenso die Tiere. Sie achtet auf sie alle und versorgt sie mit Nahrung. Die Steine sind ihre Knochen und das Wasser ihre Milch [...] Die Tiere sind dasselbe wie die Menschen; sie sind von gleichem Blut; sie sind Verwandte.“¹²⁹

Höhlenmalerei, Bildquelle Pixabay

Perspektive 3: Natur als organische Einheit

Aus dieser Perspektive ist die Natur ein Ganzes, das als eine Art Organismus gedeutet werden kann. Beispiele hierfür finden sich in der stoischen Philosophie (Abschn. 4.3.1) sowie in der deutschen Romantik, für die u. a. die Namen Goethe und Schelling stehen.

Zitat 4.17: Johann Wolfgang von Goethe (1749–1832), Dichter u. Naturforscher



*„Wie alles sich zum Ganzen webt,
Eins in dem andern wirkt und lebt
Wie Himmelskräfte auf und nieder
steigen
und sich die goldnen Eimer reichen!
Mit segenduftenden Schwingen
Vom Himmel durch die Erde dringen,
Harmonisch all das All durchklingen!
Welch ein Schauspiel! Aber ach! Ein
Schauspiel nur!
Wo fass ich dich, unendliche Natur?“¹³⁰*

Bildquelle Pixabay

Perspektive 4: Natur als Schöpfung

Die Perspektive, die Natur als Schöpfung zu verstehen, nimmt an, dass sie ihren Ursprung außerhalb von sich selbst hat. Sie setzt voraus, dass ein Gott die Welt gewollt und gemacht hat („creatio prima“), und geht oft auch von deren Erhaltung durch Gott aus („creatio continua“). Eine Welt, die auf einen Schöpfer oder eine Schöpferin zurückgeht, sollte nicht sinnlos, sondern in gewisser Weise geordnet sein (Perspektive 5: Natur als Abbild einer höheren Ordnung). In der Schöpfungsvorstellung ist Gott im Gegensatz zur stoischen Philosophie nicht mit der Natur identisch. Er oder sie steht außerhalb und ist mehr als die Natur.

¹²⁹Teit 1919, S. 227 in der Übersetzung von Caviola 2013b.

¹³⁰Goethe 1808, S. 38.

Zitat 4.18: Bibel



*Creatio prima: „Im Anfang schuf Gott Himmel und Erde.“¹³¹
Creatio continua: „Seht euch die Vögel des Himmels an: Sie säen nicht und ernten nicht, sammeln auch keine Vorräte in Scheunen – und Gott, Vater und Mutter für euch im Himmel, ernährt sie.“¹³²*

Die Schöpfung des Menschen. Darstellung auf einem Kirchenfenster (Bildquelle Pixabay)

Perspektive 5: Natur als Abbild einer höheren Ordnung

Die Perspektive auf eine Natur, die Abbild einer höheren Ordnung ist, ist eng mit der Schöpfungsperspektive (Perspektive 4) oder der als organische Einheit (Perspektive 3) verwandt. Ein Beispiel für eine solche Sichtweise ist die in Abschn. 4.3.1.2 beschriebene Ideenwelt Platons. Perspektive 5 ist wichtig für den Vorbildcharakter der Natur. Wenn sie Abbild einer höheren Ordnung ist, dann kann sie, sofern diese Ordnung erkannt werden kann, auch als Vorbild herangezogen werden.

Zitat 4.19: Carolo Rubia (*1934), Physiker



„Als Beobachter der Natur kann ich den Gedanken nicht zurückweisen, dass hier eine höhere Ordnung der Dinge im Voraus existiert.“¹³³

Schedelsche Weltchronik, 1493, Michel Wolgemut, Wilhelm Pleydenwurff (Text: Hartmann Schedel), Deutsches Buch- und Schriftmuseum der Deutschen Nationalbibliothek, Leipzig)

¹³¹ 1 Moses 1, 1 (Genesis 1,1).

¹³² Bibel in gerechter Sprach Matthäus 6, 26.

¹³³ Focus online 2013.

Perspektive 6: Menschen sind Teil der Natur

Die Perspektive, Menschen als Teil der Natur zu begreifen, betont den Aspekt ihrer Körperlichkeit. Menschen sind von der Natur abhängig: Sie haben einen Körper, in dem natürliche Prozesse ablaufen, sie müssen Essen und Trinken. Stoffe, Bakterien und Viren können uns krank machen.

Zitat 4.20: Paul-Henri Thiry d’Holbach (1723–1789), Philosoph der Aufklärung



„Der Mensch ist das Werk der Natur, er existiert in der Natur, er ist ihren Gesetzen unterworfen, er kann sich nicht von ihr freimachen, er kann nicht einmal durch das Denken von ihr loskommen; vergeblich strebt sein Geist über die Grenzen der sichtbaren Welt hinaus, immer ist er gezwungen, zu ihr zurückzukehren.“¹³⁴

Giuseppe Arcimboldo (1526–1593), Portrait von Rudolf II als Vertumnus, 1591, Skokloster Castle.

Perspektive 7: Menschen treten aus der Natur hinaus

Die Position, dass Menschen nicht nur zu Natur gehören, sondern „mehr“ sind, betont, dass sie als geistige Wesen ihre Umgebung selbst gestalten und Erkenntnisse über Zusammenhänge in der Natur gewinnen können. Sie entwickeln transzendente Vorstellungen und versuchen, sich ihre eigene Welt zu erschaffen.

Zitat 4.21: Max Planck (1858–1947), Physiker



„Denn es kann kein Zweifel darüber bestehen, dass unsere Gedanken uns ohne weiteres über jedes uns bekannte Naturgesetz hinausführen können und dass wir Zusammenhänge auszumalen vermögen, die mit eigentlicher Physik überhaupt nichts mehr zu tun haben.“¹³⁵

Flammarion, Camille, 1842–1925, L’Atmosphère: Météorologie Populaire (Paris, 1888), S. 163

¹³⁴ Holbach 1978, S. 17.

¹³⁵ Planck 1949, S. 266.

Perspektive 8: Natur als Gegenüber

Natur wird bedeutungslogisch oft im Gegensatz zu etwas anderem definiert. Bei Descartes war dies der denkende Geist. Die heute vielfach diskutierte und kritisierte Gegenüberstellung, die auch mit dem Dualismus Descartes zusammenhängt, besteht in einem Gegenüber aus Natur und Kultur (Abschn. 5.7). Diese Position ist nah verwandt mit der vorherigen Position, die Menschen als über die Natur hinausgehende Wesen betrachtet.

Zitat 4.22: Karen Gloy (*1941), Philosophin



„Der entscheidende Unterschied zu dem [...] ganzheitlichen] Naturbild besteht darin, dass die Natur [...] nicht mehr als ... Ganzheit auftritt und der Mensch als Teil des Ganzen, sondern dass sie auf Basis einer Subjekt-Objekt-Spaltung dem Menschen als Anderes, Fremdes, Differenziertes gegenübertritt.“¹³⁶

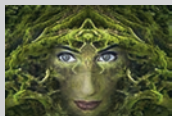
Caspar David Friedrich (1774–1840), Wanderer über dem Nebelmeer (um 1817), Bildnachweis: SHK/Hamburger Kunsthalle/bpk, Foto: Elke Walford.

Perspektive 9: Natur als (allein)erziehende Mutter

Von der Natur wird oft so gesprochen, als ob sie eine Person wäre, die etwas tut, handelt oder leistet. Hierdurch wird eine persönliche Beziehung hergestellt. Besonders geläufig ist in diesem Zusammenhang die Rede von „Mutter Natur“. Die Metapher soll ausdrücken, dass wir, wie Kinder, die ihr Leben aus ihrer Mutter erhalten haben, aus der Natur kommen. Mütter sorgen für ihre Kinder und trauern, wenn ihnen etwas passiert. Perspektive 9 ist mit Perspektive 2 (Animistisches Naturverständnis) und Perspektive 6 (Menschen sind Teil der Natur) verwandt. In Zitat 4.23 kommt Mutter Natur ihrem Erziehungsauftrag nach, indem sie uns eine Pandemie schickt. Andere Personifikationen in diesem Kapitel sind Perspektive 12 (Natur als Ingenieurin), Perspektive 13 (Natur als Lehrerin) oder Perspektive 21 (Natur als Dienstleisterin). Sie betonen einen anderen Aspekt als die Metapher Mutter.

¹³⁶Gloy 1995, S. 18.

Zitat 4.23: Barrie Kosky (*1967), Operintendant



Bildquelle Pixabay

„Das ist eine Naturgewalt. Und Mutter Natur ist nicht glücklich mit uns. Sie schickt uns dieses Virus aus einem Grund.“¹³⁷

Perspektive 10: Natur als einzuhaltende Norm

Das Wort „natürlich“ wird in der Regel verwendet, wenn etwas so ist, wie es sein soll. Die Natur zeigt uns dann, so die oft zu hörende Annahme, was richtig ist und was nicht. Aus dieser Perspektive wird die Natur als normative Institution verstanden. Ein bekanntes Beispiel hierfür ist die Begründung gesellschaftspolitischer Bewertungen anhand der Darwin’schen Evolutionstheorie. Es gibt jedoch noch weitere, ähnlich abschreckende Beispiele. Zitat 4.24 zeigt ein solches aus dem frühen 20. Jahrhundert. Es richtet sich gegen die Gleichstellung von Frauen und argumentiert mit der Natur. Zitat 4.25 stammt von der Philosophin und Frauenrechtlerin Rosa Mayreder, die es ablehnt Natur als normativen Maßstab heranzuziehen. Die Regeln, die angeblich in ihr gefunden werden, sind in Wirklichkeit menschliche Moralvorstellungen, die der Natur zugeschrieben werden, die in diesem Fall eine Alibifunktion hat.

Zitat 4.24: Paul Julius Möbius (1853–1907), Neurologe und Psychiater



Bildquelle Pixabay

„Die Natur ist eine strenge Frau und bedroht die Verletzung ihrer Vorschriften mit harten Strafen. Sie hat gewollt, dass das Weib Mutter sei, und hat alle ihre Kräfte auf diesen Zweck gerichtet. Versagt das Weib den Dienst der Gattung, will es sich als Individuum „ausleben“, so wird es mit Siechthum geschlagen.“¹³⁸

¹³⁷ Lenz und Maier 2021.

¹³⁸ Möbius 1903, S. 28.

Zitat 4.25: Rosa Mayreder (1858–1938), Philosophin und Frauenrechtlerin



Bildquelle Pixabay

„Ja, es ist wahr und nicht zu vertuschen: Mann und Weib repräsentieren physiologisch zwei verschiedene Typen der Art. [...] Die ganze ältere Literatur der Frauenbewegung ist voll von theoretischen Erörterungen, wie weit dieser physiologische Unterschied hinübergreife in die psychische Oekonomie des einzelnen Individuums, und welche Konsequenzen für die sociale Stellung sowie für die fernere intellektuelle Entwicklung des weiblichen Geschlechtes daraus zu ziehen sind. Man [...] führte die Leistungen weiblicher Rennpferde, weiblicher Jagdhunde ins Treffen, [...] ja man kam sogar auf den Bienenstaat, diese merkwürdigste Organisation, welche die Natur hervorgebracht hat, und die beweist, dass sich das weibliche Princip von Natur aus auch zur absoluten Herrschaft entwickeln kann. Doch als die Frauenbewegung die Kinderschuhe ausgetreten hatte, begann man einzusehen, wie unnütz und dilettantisch alle diese Hinweise auf andere Lebensformen sind. [...] Jede Stellung und Bethätigung, die den Frauen jemals zukommen kann, wird sich immer nach den immanen Gesetzen ihrer Natur reguliren. Deshalb ist es ganz überflüssig, die Frauen auf ihre ‚Natur‘ zu verweisen und sie vor Versündigungen dagegen zu warnen. Was gegen die Natur ist, kann sich nicht lebendig behaupten. Das Leben allein wird uns lehren können, ob die Natur mit uns ist oder nicht.“¹³⁹

Perspektive 11: Natur als zu schützendes Objekt

Natur kann aus unterschiedlichen Motiven als zu schützendes Objekt betrachtet werden. Man kann sie um ihrer selbst willen schützen oder um menschliche Lebensgrundlagen zu erhalten. Auch wenn Naturschutz ein positives Mensch-Natur-Verhältnis voraussetzt, treten Menschen hier eher als Gegenüber denn als Teil von Natur auf. Sie sind für sie verantwortlich. Will man die Mutter-Natur-Metapher aus Perspektive 9 bemühen, ist Mutter Natur pflegebedürftig geworden. Im Naturschutz müssen auch Entscheidungen getroffen werden, welche Arten für das Gesamtgefüge besonders wichtig sind und demnach besonders geschützt werden müssen. Auch als Naturschützer und -schützerinnen greifen Menschen, wenn auch mit guten Absichten, in die Natur ein.

¹³⁹ Mayreder 1899.

Zitat 4.26: Scinexx Wissensmagazin (2004), Onlinemagazin



„Das Ziel des Naturschutzes ist relativ einfach zu beschreiben: primär geht es um den Erhalt bedrohter Tier- und Pflanzenarten einschließlich ihrer Lebensräume.“¹⁴⁰

Bildquelle Pixabay

Perspektive 12: Natur als Ingenieurin

In der Bionik wird der Aufbau biologischer Systeme aus der Perspektive der Ingenieurwissenschaften untersucht. In der Natur vorgefundene Formen und Zusammenhänge dienen als Vorbild für technische Konstruktionen. Natur wird hier als technischer Zusammenhang gedeutet, der verbal oft als eine technisch begabte Person beschrieben wird.

Zitat 4.27: Verein Deutscher Ingenieure, VDI (2016)



„Im Laufe der Evolution hat die Natur viele technische Probleme gelöst.“¹⁴¹

Bildquelle Pixabay

Perspektive 13: Natur als Lehrerin

Aus dieser Perspektive ist die Natur ein Vorbild, von dem man etwas lernen kann. Das Naturbild sagt für sich genommen noch nicht viel aus. Es kommt darauf an, in welcher Hinsicht die Natur als Vorbild herangezogen wird, d. h., mit welcher weiteren Naturbildern die Perspektive von der Natur als Vorbild verknüpft wird. Bei den Stoikern, die die Natur als organische Ganzheit begriffen (Perspektive 3), von der sie ein Teil waren, bestand das Lernen in einem Einfügen. Bei Descartes, der die Welt als Maschine deutete (Perspektive 15), ging es darum, Wissen über die Natur

¹⁴⁰ Scinexx 2004.

¹⁴¹ VDI-Blog 2016.

zur Beherrschung der Natur zu nutzen. Die Bionik kombiniert das Motiv der Lehrerin mit dem der Ingenieurin (Perspektive 12).

Zitat 4.28: Werner Nachtigall (2008)



Bildquelle Pixabay

„Schon immer hat sich der Mensch am Vorbild der Natur orientiert. Bionik – zusammengesetzt aus Biologie und Technik – geht darüber hinaus: Sie ist die aufstrebende Wissenschaftsdisziplin, die das Lernen von der Natur systematisiert und die Prinzipien biologischer Systeme in neue Erfindungen umsetzt.“¹⁴²

Perspektive 14: Natur als Gefahr

Menschen haben Natur schon immer auch als Bedrohung erlebt. Man kann von Tieren gefressen werden, von Bergen stürzen, in Fluten ertrinken, von Bränden bedroht und von Krankheiten dahingerafft werden. Menschen fürchten sich deshalb auch vor der Natur. Kultur und Technik können auch als Versuche gedeutet werden, sich vor der Natur zu schützen.

Zitat 4.29: William Turner (1775–1851)



Joseph Mallord William Turner, Das Schiffswrack, ausgestellt 1805, Photo: © Tate

William Turner wurde „zum Chronisten der elementaren Naturgewalten. Schiffsuntergänge, schwere Unwetter und verwüstende Feuer sind häufig Themen seiner Bilder; auf denen der Mensch bedrängt und vom Tode bedroht ist, die Natur in ihrer Erhabenheit und Macht das Geschehen bestimmt.“¹⁴³

Perspektive 15: Natur als Maschine

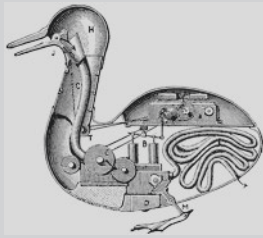
Zu Beginn der Neuzeit entstand die Vorstellung, dass das Weltgeschehen vollständig physikalisch durch die Interaktion von Teilchen zu verstehen ist. Tiere und die ganze

¹⁴²Nachtigall 2008, S. 2.

¹⁴³Stitz 2011.

Natur wurden als Maschine gedeutet. Einer der wichtigsten Vertreter dieses Denkens war René Descartes (Abschn. 4.3.2). Die Beschreibung als Maschine versteht die Natur als zusammengesetztes System, das aus trennbaren Teilen besteht, die in ihrer Verbindung als Natur funktionieren.¹⁴⁴ Natur kann dann grundsätzlich wie eine Maschine umgebaut und repariert werden. Wie das aus der KI-Forschung stammende Zitat 4.30 zeigt, ist diese Sichtweise auch heute noch verbreitet.

Zitat 4.30: Tim Landgraf, KI-Forscher



„Die Natur ist für mich eine höchstentwickelte Technologie.“¹⁴⁵

Mechanische Ente, Scientific American Volume 80 Number 03 (January 1899) S. 43.

Perspektive 16: Natur als chemischer Reaktionscocktail

Die Perspektive stellt chemisch-physikalische Prozesse in den Vordergrund. Leben ist im Grunde ein komplexer chemischer Prozess. Die ersten Lebensformen haben sich hiernach aus chemischen Verbindungen in einer „Ursuppe“ entwickelt.

Zitat 4.31: Biologielehrbuch



Bildquelle Pixabay

„Die Bedingungen, unter denen die Ursuppe existierte, kann man sich nicht vielgestaltig genug vorstellen. Es gab den Urozean, die Urkontinente und die Uratmosphäre. Durch Verwitterung wurden Urgesteine zerstört und die Sedimente neu zusammengesetzt. Auf den Kontinenten sammelte sich Wasser in Flüssen und Seen. Sie konnten austrocknen und wieder volllaufen. Meeresbuchten wurden durch Landhebungen abgetrennt. In ihnen bildeten sich durch Verdunstung konzentrierte Lösungen. So finden wir auf der Urerde vielfältige Reaktionsräume für sehr unterschiedliche chemische Prozesse. Sonnenlicht, Gewitter und Vulkanausbrüche lieferten Energie. Durch die Jahreszeiten veränderten sich die Reaktionsbedingungen in regelmässigem Wechsel.“¹⁴⁶

¹⁴⁴Caviola 2013b.

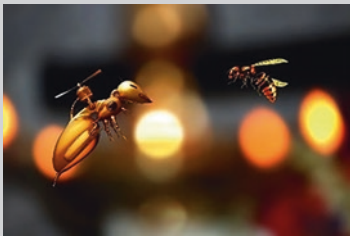
¹⁴⁵LNDW-Podcast 2020.

¹⁴⁶Caviola 2013b zitiert Scharf et al. 1997, S. 423.

Perspektive 17: Natur 2.0

Wenn die Welt wie eine Maschine ist, kann man sie grundsätzlich auch nachbauen. Beispiele für diese Naturdeutungen finden sich in der „synthetischen Biologie“, wo Zellen neu konstruiert werden, in der KI und Robotik (Zitat 4.32) sowie im Geoengineering, wo auf globaler Ebene mittels technischer Eingriffe Natur gestaltet werden soll. Auch das gescheiterte Projekt Biosphäre 2, mit dem als Vorbereitung für künftige Raumfahrtmissionen ein von der Außenwelt unabhängiges, sich selbst erhaltendes Ökosystem geschaffen werden sollte, ist hier zu nennen. Ein extremes Beispiel für die Natur-2.0-Perspektive ist der Transhumanismus, der das Verschmelzen von Menschen und Technik zu einer neuen Spezies anstrebt.

Zitat 4.32: Robert Wood (Ingenieur), Radhika Nagpal (Informatikerin) und Gu-Yeon Wie (Elektrotechniker und Informatiker) (2013)



Bildquelle Pixabay

„Während des letzten Jahrzehnts begann eine rätselhafte Krankheit [...] ganze Völker von Honigbienen in den USA auszulöschen – so massiv, dass gravierende Folgen für die Landwirtschaft zu befürchten waren. Aus diesem Anlass begannen wir 2009 [...] ernsthaft über die Schaffung künstlicher Bienen nachzudenken. Die kleinen Maschinen sollten sich nicht nur jede für sich verhalten wie eine Biene, sondern im Zusammenspiel zu Tausenden die kollektiven Aktionen vollbringen, zu denen ein echter Bienenschwarm fähig ist. Inzwischen ist es uns gelungen, die ersten fliegenden Roboter in Biengröße zu bauen; jetzt arbeiten wir am kooperativen Schwarmverhalten.“¹⁴⁷

Perspektive 18: Natur als Managementobjekt

Die Aufgaben von Managerinnen und Managern sind Planung, Organisation, Führung und Kontrolle. Die Natur als Managementobjekt zu deuten, interpretiert Natur als untergeordnetes Gegenüber (Perspektive 8). Sie wird Gegenstand von Führung und Planung und auf messbare Daten reduziert. Menschen ersetzen in dieser Perspektive die schöpferische, erhaltende Rolle Gottes („creatio continua“) aus Perspektive 4.¹⁴⁸

¹⁴⁷Wood et al. 2013.

¹⁴⁸Caviola 2013a, 7 f.

Zitat 4.33: William C. Clark (1989)



„It is as a global species that we are transforming the planet. It is only as global species – pooling our knowledge, coordinating our actions and sharing what the planet has to offer – that we may have any prospect for managing the planet’s transformation along the pathways of sustainable development. Self-conscious, intelligent management of earth is one of the great challenges facing humanity as it approaches the 21th century.“¹⁴⁹

Bildquelle Pixabay

Perspektive 19: Natur als ökonomischer Zusammenhang

Natur wird auch als ökonomischer Zusammenhang gedeutet. Dabei stehen oft die Aspekte Konkurrenz, Wettbewerb und Ressourcendruck im Vordergrund. Auch werden Zusammenhänge in der Natur mithilfe ökonomischer Theorien erklärt (Abschn. 5.6).¹⁵⁰ Die ökonomische Deutung der Natur spielt in der Circular Economy und Bioökonomie eine wichtige Rolle (Abschn. 7.1.6).

Zitat 4.34: Frederic Vester (1991), Systemwissenschaftler



„Ich will „über jene ‚Firma, die seit 4 Mrd. Jahren nicht Pleite gemacht hat‘, [...] zitieren: » Die Biosphäre, dieses Supersystem aus Mikroben, Algen, Plankton, verletzlischen Tieren und zarten Pflänzchen, macht immerhin einen Jahresumsatz von 200 Mrd. Tonnen Kohlenstoff und organischem Material. Es produziert über seine subtilen Funktionsformen allein 100 Mrd. Tonnen Sauerstoff und verarbeitet selbst an Schwer- und Leichtmetallen wie Eisen, Vanadium und Kobalt, Magnesium, Natrium und Kalium Jahr für Jahr zusammengenommen viele Milliarden Tonnen, ohne je Rohstoff- oder Abfallsorgen zu kennen.“¹⁵¹

Bildquelle Pixabay

Perspektive 20: Natur als Ressource

Die Perspektive, aus der die Natur als Ressource betrachtet wird, nimmt sie als Rohstoffreservoir wahr. Sie ist ökonomisch und die Natur wird als etwas wahrgenommen, das für Menschen da ist.

¹⁴⁹ Caviola 2013a, S. 3 zitiert Clark 1989, S. 47.

¹⁵⁰ Isenmann 2003, 122 f.

¹⁵¹ Vester 1991, S. 28.

Zitat 4.35: Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft (2023)



„Die Bioökonomie nutzt biologische Ressourcen wie Pflanzen, Tiere oder Mikroorganismen. [...] Aus Pflanzen oder Tieren werden Nahrungsmittel, Kleider, Roh- und Baustoffe oder Medikamente erzeugt.“¹⁵²

Bildquelle Pixabay

Perspektive 21: Natur als Dienstleisterin

Eine Natur, die als Dienstleisterin wahrgenommen wird, setzt ebenfalls eine ökonomische Perspektive voraus. Diese ist ambivalent: Einerseits wird durch die Einordnung von Natur als Naturkapital und deren Funktionen als Ökosystemleistungen der Natur, die in der Ökonomie zuvor „wertlos“ war, ein ökonomischer Wert zugewiesen, andererseits wird Natur aber so ausschließlich anthropozentrisch und ökonomisch bewertet.

Zitat 4.36: Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit und Verbraucherschutz, BMUV (2016)



„Die Natur liefert den Menschen eine Vielzahl von Gütern und Leistungen, die das Fundament menschlichen Wohlergehens darstellen. Intakte Böden, Nahrung, Trinkwasser, Brennstoffe und Arzneimittel, Schutz vor Überschwemmungen und Bodenerosion sowie Klimaregulation oder Kohlenstoffspeicherung sind „Ökosystemleistungen“, die uns von der Natur kostenlos bereitgestellt werden. Viele Leistungen der Natur sind bisher bei konventionellen ökonomischen Bewertungen entweder gar nicht berechnet oder als selbstverständlich angenommen worden. Diese Leistungen der Ökosysteme und der Biodiversität besitzen jedoch einen hohen ökonomischen Wert.“¹⁵³

Bildquelle Pixabay

Perspektive 22: Natur als System

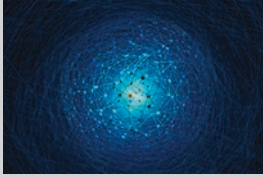
Die Deutung der Natur als System impliziert ein komplex organisiertes, zusammenhängendes Ganzes. Da die Circular Economy und Bioökonomie, wie in Kap. 7 noch dargelegt wird, Natur, Technik und Wirtschaft systemisch deuten, haben wir diesen Aspekt mit Absicht an das Ende unserer Perspektivensammlung,

¹⁵² BMEL 2023.

¹⁵³ BMUV 2016.

die sich noch weiter ergänzen ließe, gesetzt. Im folgenden Kapitel gehen wir ausführlich auf die Systemperspektive ein.

Zitat 4.37: Jannis Hülsen, Designer



„Meine Perspektive auf die Natur stammt aus der Gestaltung. Natur ist für mich alles, was ist. Es ist ein komplexes System mit Dynamiken, die als Gemeinschaften in Abhängigkeiten zueinander stehen, sich gegenseitig regulieren und nach einem Gleichgewicht streben.“¹⁵⁴

Bildquelle Pixabay

¹⁵⁴LNDW-Podcast 2020.

Open Access Dieses Kapitel wird unter der Creative Commons Namensnennung 4.0 International Lizenz (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.de>) veröffentlicht, welche die Nutzung, Vervielfältigung, Bearbeitung, Verbreitung und Wiedergabe in jeglichem Medium und Format erlaubt, sofern Sie den/die ursprünglichen Autor(en) und die Quelle ordnungsgemäß nennen, einen Link zur Creative Commons Lizenz beifügen und angeben, ob Änderungen vorgenommen wurden.

Die in diesem Kapitel enthaltenen Bilder und sonstiges Drittmaterial unterliegen ebenfalls der genannten Creative Commons Lizenz, sofern sich aus der Abbildungslegende nichts anderes ergibt. Sofern das betreffende Material nicht unter der genannten Creative Commons Lizenz steht und die betreffende Handlung nicht nach gesetzlichen Vorschriften erlaubt ist, ist für die oben aufgeführten Weiterverwendungen des Materials die Einwilligung des jeweiligen Rechteinhabers einzuholen.



Die meisten Konzepte der Circular Economy und Bioökonomie beschreiben die Natur als „Ökosystem“ oder „Biosphäre“ und den menschlichen Wirkungsbereich als „Technosphäre“ oder „Wirtschaftssystem. Damit grenzen sie die Natur sprachlich von einem anderen Bereich ab und vertreten, zumindest was den Status quo betrifft, eine bedeutungslogische Naturauslegung, die zwischen Kultur und Natur differenziert. Die verschiedenen Bereiche werden, wie die o. g. Begriffe zeigen, als Systeme gedacht. Der Systembegriff ist somit ein wichtiger Baustein im Weltbild der Circular Economy und Bioökonomie. Das vorliegende Kapitel handelt deshalb von „Systemen“ und der Anwendung des Systembegriffs auf ökologische Zusammenhänge und wirtschaftliche Prozesse. Dabei erläutern wir die Vorstellung von einer Bio- und Technosphäre und den dahinterstehenden Natur-Kultur-Dualismus. Zunächst befassen wir uns jedoch mit Systemen allgemein. Die dabei behandelten, zum Verständnis des Nachfolgenden wichtigen Grundlagen mögen für einen Teil der Leserinnen und Leser zu ausführlich ausfallen. Wir gehen aber davon aus, dass es hier unterschiedliche fachliche Hintergründe gibt.

5.1 Systeme

5.1.1 System oder Aggregat?

Das Wort System leitet sich vom griechischen „sýstēma“ ab, was das Gebilde, Zusammengestellte oder Verbundene bedeutet.¹ Ein Haufen Sand ist beispielsweise kein System, sondern ein Aggregat, weil die Struktur des Haufens sich nicht aus den wechselseitigen Beziehungen der Sandkörner ergibt, sondern aus der Schwerkraft und der Art und Weise, wie sie aufgeschüttet wurden. Im Gegensatz zu

¹Ratter und Treiling 2008, S. 23; Gloy 1995, S. 248.

einem Haufen können die Kristalle, aus denen die Sandkörner bestehen, aber als System interpretiert werden, weil ihre Atome nicht zufällig angeordnet sind und aufgrund chemischer Bindungen eine Struktur bilden.² Wenn wir etwas als System bezeichnen, gehen wir davon aus, dass das, aus dem es besteht, miteinander in Beziehung steht. Das gilt auch, wenn wir über das „System der Natur“ sprechen. Dabei wird unausgesprochen vorausgesetzt, dass es sich bei den Dingen in der Natur nicht um eine Ansammlung unabhängiger Gegenstände handelt, sondern dass sie aufgrund ihrer Beziehungen in einer Einheit bzw. zu einem Ganzen verbunden sind.³

In der Neuzeit galt das System der Natur grundsätzlich als vollständig erklärbar, wenn seine einzelnen Bestandteile und die zwischen ihnen bestehenden Wirkungen bekannt sind. Ein Beispiel ist das astronomische Modell Johannes Keplers, mit dem das „Sonnensystem“, ausgehend von den aktuellen Positionen der Planeten und physikalischer Bewegungsgesetze, beschrieben werden kann. Das System Keplers war, anders als in neueren Vorstellungen, mit der Summe seiner Elemente und der auf Naturgesetze gründenden Ordnung identisch.⁴ Auf die Systemperspektive der frühen Naturwissenschaften oder auf bis ins frühe 19. Jahrhundert bedeutsame philosophische Systemvorstellungen gehen wir im Folgenden nicht ein. Mit Blick auf das in der Circular Economy und Bioökonomie zur Anwendung kommende Systemverständnis interessieren uns mehr die Perspektiven der „Thermodynamik“ und die der „Allgemeinen Systemtheorie“.

5.1.2 Thermodynamische Systeme

Die Thermodynamik oder Wärmelehre befasst sich mit den Erscheinungsformen von Energie und deren Umwandlung. Sie entstand im 19. Jahrhundert, um die Effizienz von Dampfmaschinen zu verbessern, hat aber, weil sie sich zur Beschreibung komplexer Systeme eignet, inzwischen eine Bedeutung erlangt, die weit über ihre ursprüngliche Anwendung hinausgeht. Sie ist auch für Argumentationen in der Ökologischen Ökonomie (Abschn. 5.5.2) und die Vorstellung von geschlossenen Stoffkreisläufen in der Circular Economy relevant.

Thermodynamische Systeme sind räumlich abgegrenzte Bereiche, die sich mithilfe physikalischer Eigenschaften beschreiben lassen. Sie sind über eine Systemgrenze von anderen Raumbereichen getrennt, tauschen aber ggf. Stoffe und Energie mit diesen aus. Abhängig von der Art dieses Austausches wird, wie in Abb. 5.1 dargestellt, zwischen „abgeschlossenen“ bzw. „isolierten“, „geschlossenen“ und „offenen“ Systemen unterschieden.

²Vester 1991, S. 27 ff.

³Gloy 1995, S. 248; Müller 1996, S. 21; Ratter und Treiling 2008, S. 23.

⁴Müller 1996, S. 21.

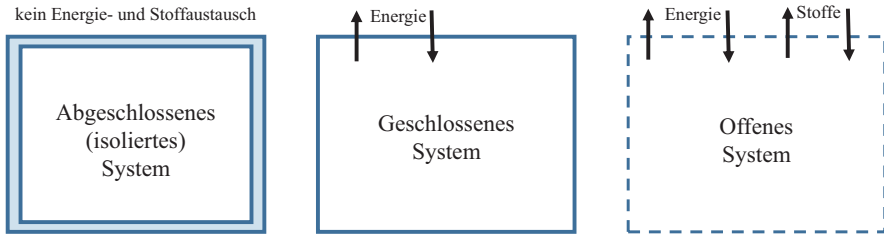


Abb. 5.1 Abgeschlossene, geschlossene und offene Systeme. (Eigene Darstellung)

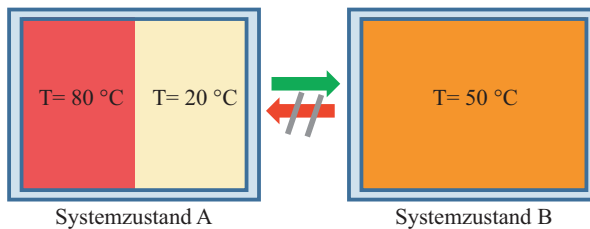


Abb. 5.2 Temperaturausgleich in einem abgeschlossenen System. (Eigene Darstellung)

Thermodynamisch abgeschlossene Systeme sind von ihrer Umgebung vollständig isoliert. Sie sind energetisch und stofflich geschlossen, tauschen also weder Stoffe noch Energie aus. Thermodynamisch geschlossene Systeme sind stofflich geschlossen, energetisch aber offen. Ein Energie- und Stoffaustausch ist nur bei thermodynamisch offenen Systemen möglich.

5.1.2.1 Abgeschlossene Systeme

Da einem abgeschlossenen System weder ein Stoff- noch Energieaustausch möglich ist, existiert für das System keine Umgebung. Es ist vollkommen isoliert und alles, was außerhalb seiner Grenzen liegt und sich ereignet, ist für das System praktisch nicht existent. Für das System gibt es nur sich selbst. Sein Energie- und Stoffinhalt ist konstant, da Energie und Materie nicht aus dem Nichts entstehen können. Definitionsgemäß kann ein abgeschlossenes System beides auch nicht aus der Umgebung erhalten oder an diese abgeben. Das als „1. Hauptsatz der Thermodynamik“ bekannte Prinzip der Energie- und Masseerhaltung schließt für die zeitliche Entwicklung eines abgeschlossenen Systems alle Prozesse aus, bei denen die Systemenergie ab- oder zunimmt. Möglich sind nur relative energetische und stoffliche Verschiebungen innerhalb des Systems. Aber auch diese können nicht beliebig erfolgen, sondern verlaufen in eine bestimmte Richtung, die sich aus einem von Sadi Carnot entdeckten weiteren Prinzip ableiten lässt. Es

besagt, dass die Wärme wie in Abb. 5.2 von einem heißeren zu einem kälteren Reservoir fließen muss, wenn mit ihr Arbeit erzeugt werden soll.⁵

Zu Beginn der dargestellten Entwicklung (Zustand A) liegt ein Temperaturgefälle vor. Der Systemzustand ist nicht stabil, und es fließt so lange Wärme vom heißen zum kälteren Reservoir, bis in Zustand B überall im System die gleiche, mittlere Temperatur vorliegt. Diese Entwicklung wird durch den „2. Hauptsatz der Thermodynamik“ beschrieben. Er wurde 1854 erstmals von Rudolf Clausius formuliert (Zitat 5.1).

Zitat 5.1: Rudolf Clausius (1822–1888)



„Die Wärme kann nicht von selbst aus einem kälteren in einen wärmeren Körper übergehen.“⁶

Clausius leitete den 2. Hauptsatz aus den Überlegungen Carnots ab. Dabei lenkt er die Aufmerksamkeit auf einen Aspekt, der mit Carnots Prinzip unmittelbar verbunden ist und, obwohl er scheinbar trivial ist, weitreichende Konsequenzen mit sich bringt. Wenn Wärme von heißen zu kalten Körpern fließen muss, bedeutet das, dass sie nicht von sich aus von kalten zu heißen fließen kann. Clausius schließt damit Systementwicklungen aus, die aus Gründen der Energieerhaltung eigentlich möglich wären. Ein Anwachsen der Temperaturdifferenz, beispielsweise dadurch, dass die Temperaturen auf 90 °C in der linken Hälfte anwachsen und 10 °C in der rechten Hälfte absinken, verstößt nicht gegen die vom 1. Hauptsatz geforderte Energieerhaltung, ist aber nach dem 2. Hauptsatz nicht möglich. Auch eine Rückkehr von Zustand B zu Zustand A kann es demnach nicht geben. In Zustand B ist, abgesehen von möglichen mikroskopischen Fluktuationen, der Endzustand der Entwicklung, das thermodynamische Gleichgewicht, erreicht.

Warum aber ist die umgekehrte Entwicklung von B nach A nicht möglich? Der Grund hierfür ist, dass sich der energetische Zustand in B von dem in A unterscheidet, obwohl der Energieinhalt derselbe ist. Der Unterschied besteht nicht in der Menge der Systemenergie, sondern in deren Qualität. Auf dem Weg von A nach B verliert das System, wie im Folgenden mithilfe von Abb. 5.3 erläutert wird, seine Fähigkeit Arbeit zu verrichten. Dargestellt ist das Verhalten eines unter Druck stehenden Gases, das anschließend entspannt wird.

In der Abbildung ist Zustand A dadurch charakterisiert, dass die Gasmoleküle im linken Teil des Systems konzentriert sind. Das Gas ist komprimiert und übt Druck auf einen Kolben aus, der den linken Teil des Systems vom rechten, in dem ein geringerer Druck vorliegt, trennt. So wie in Abb. 5.2 ein Temperatenausgleich erfolgt, findet hier ein Druckausgleich statt, bei dem sich das Gas ausdehnt und

⁵Hoffmann et al. 2022, S. 48.

⁶Clausius 1876, S. 81.

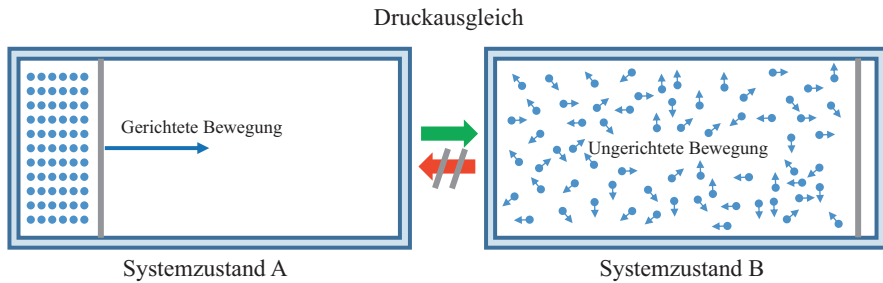


Abb. 5.3 Umwandlung von Arbeit in Wärme. (Eigene Darstellung)

den Kolben bewegt. Diese gerichtete Bewegung entspricht physikalisch der Leistung von Arbeit. Nach erfolgtem Druckausgleich kann die Energie des Systems keine Arbeit mehr leisten, da sie als ungerichtete Bewegung, d. h. als Wärme, im System verteilt ist.

Der 2. Hauptsatz trifft somit die Aussage, dass sich in einem abgeschlossenen System im Laufe der Zeit alle Energiedifferenzen ausgleichen und das System in Richtung eines Zustandes mit gleichmäßiger Wärmeverteilung entwickelt. Diese Entwicklung wird in der Thermodynamik mit einer physikalischen Größe beschrieben, die Clausius „Entropie“ nannte. Der von ihm erfundene Begriff sollte, wie er 1865 schrieb, den „Verwandlungsinhalt eines Körpers“ beschreiben, den „alten Sprachen“ entnommen sein und dem Wort Energie ähneln, um die Verwandtschaft der beiden Begriffe zu betonen.⁷

Die Entropie ist ein Maß für die in einem System enthaltene Energiemenge, die nicht in mechanische Arbeit umgesetzt werden kann.⁸ Ist sie niedrig, ist die Energie größtenteils nutzbar. Mit steigender Entropie nimmt die Möglichkeit, Arbeit zu verrichten, ab. Im thermodynamischen Gleichgewicht, das in Abb. 5.2 und 5.3 dem Zustand B entspricht, hat die Entropie ihren maximalen Wert erreicht. Die Fähigkeit, mit der Energie Arbeit zu verrichten, ist nun gleich null. Der 2. Hauptsatz lässt sich deshalb auch, anders als in Zitat 5.1, mithilfe der Entropie formulieren. Er besagt dann, dass die Entropie in einem abgeschlossenen System zunehmen muss. Diese Formulierung des 2. Hauptsatzes weist über den Betrieb von Dampfmaschinen hinaus und hat, da sie natürlichen Prozessen anscheinend eine Richtung vorschreibt, in der Folge zu allerlei Spekulationen geführt. In seiner Dissertation „Über den zweiten Hauptsatz der mechanischen Wärmetheorie“ schrieb beispielsweise Max Planck, dass sich Systeme von der Natur bevorzugten Zuständen annähern. Er bezeichnete die Entropie deshalb metaphorisch auch als Maß für die „Vorliebe der Natur“ (Zitat 5.2).⁹

⁷Clausius 1865, S. 46.

⁸Müller 1996, S. 76.

⁹Prigogine et al. 1993, S. 125 ff.

Zitat 5.2: Max Planck (1858–1947)



„Wir wollen nun die wesentlichen Eigenschaften und Merkmale eines natürlichen und eines neutralen Prozesses aufsuchen. Da diese nur von der Beschaffenheit des Anfangs- und des Endzustandes abhängen, nämlich von der grösseren oder geringeren Vorliebe der Natur für diese Zustände, so werden wir zu der (einstweilen nur hypothetischen) Annahme geführt, dass für jeden gegebenen Zustand eines Systems von Körpern eine bestimmte Funktion existirt, [...], deren Werth das Maass der Vorliebe der Natur für diesen Zustand bildet. Diese Funktion wollen wir mit S [Entropie] bezeichnen.“¹⁰ Wir wollen uns jedoch im Folgenden darauf beschränken, denjenigen Zustand zu bestimmen, der unter den gegebenen Bedingungen von der Natur am meisten bevorzugt wird, von welchem aus also kein natürlicher Prozess mehr möglich ist. Dieser Zustand entspricht dem Maximum des Entropiewerthes.“¹¹

Eine statistische Erklärung, woher die „Vorliebe der Natur“ für bestimmte Zustände kommt, wurde von Ludwig Boltzmann vorgeschlagen. In seinen 1877 erschienenen „Bemerkungen über einige Probleme der mechanischen Wärmetheorie“ geht Boltzmann davon aus, dass die Zunahme der Entropie dem Übergang von einem unwahrscheinlicheren zu einem wahrscheinlicheren Zustand entspricht (Zitat 5.3).

Zitat 5.3: Ludwig Boltzmann (1844–1906)



„Es ist klar, daß jede einzelne gleichförmige Zustandsverteilung, welche bei einem bestimmten Anfangszustande nach Verlauf einer bestimmten Zeit entsteht, ebenso unwahrscheinlich ist, wie eine einzelne noch so ungleichförmige Zustandsverteilung, geradeso wie im Lottonumspiel jede einzelne Quinterne ebenso unwahrscheinlich ist, wie die Quinterne 12.345. Nur daher, daß es weit mehr gleichförmige als ungleichförmige Zustandsverteilungen gibt, stammt die größere Wahrscheinlichkeit, daß die Zustandsverteilung mit der Zeit gleichförmig wird“ [...] Es ist also damit ausgesprochen, daß man den Zustand des Wärmegleichgewichtes dadurch berechnen kann, daß man die Wahrscheinlichkeit der verschiedenen möglichen Zustände des Systems aufsucht. Der Anfangszustand wird in den meisten Fällen ein sehr unwahrscheinlicher sein, von ihm wird das System immer wahrscheinlicheren Zuständen zueilen, bis es endlich den wahrscheinlichsten, d. h. den des Wärmegleichgewichtes erreicht hat. Wenden wir dies auf den zweiten Hauptsatz an, so können wir diejenige Größe, welche man gewöhnlich als die Entropie zu bezeichnen pflegt, mit der Wahrscheinlichkeit des betreffenden Zustandes identifizieren.“¹²

¹⁰ Planck 1879, S. 5.

¹¹ Planck 1879, S. 26.

¹² Hasenöhr 1909, S. 165.

Wendet man Boltzmanns Argumentation auf die in Abb. 5.3 dargestellten Verteilungen der Gasmoleküle an, gilt, dass es sehr viel mehr Möglichkeiten gibt, die Moleküle gleichmäßig über das ganze System anzuordnen, als konzentriert, nur in einem Teil. Statistisch ist Zustand B mit einer gleichmäßigen Verteilung wahrscheinlicher als die ungleichmäßige in Zustand A. Die „Vorliebe der Natur“, wie Planck die Entropie nannte, ist also für Boltzmann nichts anderes als ein Maß, für die Wahrscheinlichkeit eines Systemzustands. Nach Boltzmann entwickelt sich ein abgeschlossenes System einfach von einem unwahrscheinlicheren zu einem wahrscheinlicheren Zustand. „Wenn man ein isoliertes System sich selbst überlässt, tendiert es zu einem Zustand größter Wahrscheinlichkeit“.¹³ Es ist also nicht erforderlich, eine Vorliebe der Natur für das eine oder andere anzunehmen.

5.1.2.2 Offene Systeme

Da der 2. Hauptsatz der Thermodynamik eine Aussage darüber trifft, in welche Richtung sich abgeschlossene Systeme entwickeln, liegt es nahe, ihn nicht nur auf die Beschreibung von Wärmekraftmaschinen anzuwenden, sondern auch Prognosen über die zukünftige Entwicklung der Welt aus ihm abzuleiten. Clausius selbst hat, wie Zitat (5.4) zeigt, einen solchen Versuch unternommen. Er ging davon aus, dass die Entropie der Welt einem Maximum zustrebt und dass keine weiteren Veränderungen mehr möglich sind, wenn dieser Zustand erreicht ist. Energie läge dann, nachdem alle Sterne erloschen und schwarzen Löcher verschwunden sind, nur noch als gleichmäßig dissipierte Wärme vor.

Zitat 5.4: Rudolf Clausius (1822–1888)



„Vorläufig will ich mich darauf beschränken, als ein Resultat anzuführen, dass, wenn man sich dieselbe Grösse, welche ich in Bezug auf einen einzelnen Körper seine Entropie genannt habe [...] für das ganze Weltall gebildet denkt, und wenn man daneben zugleich den anderen seiner Bedeutung nach einfacheren Begriff der Energie anwendet, man die den beiden Hauptsätzen der mechanischen Wärmetheorie entsprechenden Grundgesetze des Weltalls in folgender einfacher Form aussprechen kann

1) „Die Energie der Welt ist constant
2) Die Entropie der Welt strebt einem Maximum zu.“¹⁴ Und an anderer Stelle:

„Je mehr die Welt sich diesem Grenzzustande, wo die Entropie ein Maximum ist, nähert, desto mehr nehmen die Veranlassungen zu weiteren Veränderungen ab, und wenn dieser Zustand endlich ganz erreicht wäre, so würden auch keine weiteren Veränderungen mehr vorkommen, und die Welt würde sich in einem toten Beharrungszustande befinden.“¹⁵

¹³ Rosnay 1979, S. 118 f.

¹⁴ Clausius 1865, S. 53.

¹⁵ Clausius 1867, S. 17.

Ob es jedoch so kommt, wie Clausius vermutet, ist keinesfalls sicher. Die im 2. Hauptsatz formulierte Zunahme der Entropie gilt nämlich nur für abgeschlossene Systeme. Vollständige Abgeschlossenheit gibt es aber in der Natur wahrscheinlich nicht.¹⁶ Eine vollständige Isolation ist eine Idealvorstellung, die in Experimenten immer nur näherungsweise erreicht werden kann, und ob die Natur als Ganzes oder das Universum, wie Claudius annimmt, ein abgeschlossenes System ist, ist ebenfalls keineswegs klar.¹⁷ Überhaupt ist fragwürdig, ob die thermodynamische Systemdefinition auf das Universum als Ganzes noch sinnvoll angewendet werden kann. Ein System wird in Abgrenzung zu einer Systemumgebung definiert. Eine Systemgrenze und -umgebung lassen sich aber für das Universum kaum finden.

Für Systeme, die Energie, Information und ggf. sogar Materie mit ihrer Umgebung austauschen, gilt die im 2. Hauptsatz formulierte Entropiezunahme jedenfalls nicht. Würde sie es, wäre die Entstehung komplexer Strukturen, wie sie in und durch Lebewesen vorkommen, grundsätzlich unmöglich. Solche Strukturen sind statistisch unwahrscheinlicher als andere, sodass ihr Auftreten mit einer Entropieabnahme verbunden ist. Da es sie aber gibt, müssen für offene und geschlossene Systeme andere Regeln gelten als die der klassischen Thermodynamik. Für solche Systeme gilt die „Nichtgleichgewichtsthermodynamik“. Sie wurde maßgeblich von Ilya Prigogine entwickelt und berücksichtigt Entropieänderungen, die sowohl auf die „innere Systemarbeit“ als auch auf Wechselwirkungen mit der Systemumgebung zurückzuführen sind. Ebenso wie bei abgeschlossenen Systemen ist die „innere“ Entropieentwicklung bei energetisch und/oder stofflich offenen Systemen immer positiv. Im Gegensatz zu abgeschlossenen Systemen können letztere aber Entropie in Form von Wärme an ihre Umgebung abgeben, sodass ihre Entropie auch konstant bleiben oder abnehmen kann.

Wie sich ein stofflich und energetisch offenes oder ein nur energetisch offenes System entwickelt, hängt davon ab, wie weit es vom thermodynamischen Gleichgewicht entfernt ist. Je größer ein Potenzialgefälle zwischen zwei Teilsystemen ist, beispielsweise ein Temperatur-, Druck- oder Konzentrationsunterschied, umso wirkungsvoller sind die thermodynamischen Kräfte, die auf einen Ausgleich hinwirken. Systeme, die nur einem geringen Gefälle ausgesetzt sind, befinden sich nahe an ihrem Gleichgewichtszustand. Die Kräfte, die auf sie wirken, sind relativ gering, und ihre Entwicklung verläuft entsprechend langsam. Da durch das Potenzialgefälle auftretende Flüsse bei solchen Systemen direkt proportional zu den einwirkenden thermodynamischen Kräften sind, wird die Theorie, die sie beschreibt, auch als „lineare Thermodynamik“ bezeichnet. Lineare thermodynamische Systeme befinden sich in einem Fließgleichgewicht mit ihrer Umgebung und in einem relativ stabilen, stationären Zustand. Ihre Entropie bleibt

¹⁶Müller 1996, S. 81.

¹⁷U. a. spielt die Frage eine Rolle, ob das Universum weiter expandiert oder irgendwann wieder eine Kontraktionsphase eintritt. Auch wenn zurzeit vieles auf eine immerwährende Expansion hindeutet, ist die Frage alles andere als geklärt. Auch die Physik schwarzer Löcher und die Grenzen der Relativitäts- und Quantentheorie spielen eine Rolle. Hawking 2000, S. 128 ff.

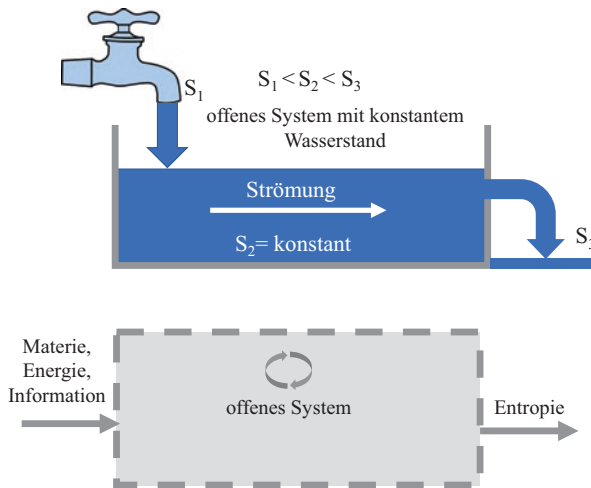


Abb. 5.4 Fließgleichgewicht eines offenen Systems. (Eigene Darstellung mit Icon aus Pixabay)

konstant, weil sie sie nach außen abführen. Hierdurch nimmt die Entropie der Umgebung bzw. die des übergeordneten Systems zu.¹⁸ Abb. 5.4 zeigt ein solches Fließgleichgewicht. Dargestellt ist ein Gefäß, dessen Wasserstand konstant bleibt, weil über einen Hahn dieselbe Wassermenge in das Gefäß strömt, wie durch den Abfluss hinausgelangt.

Das Wasser, das in das Gefäß hineinfließt, hat eine hohe potenzielle Energie und niedrige Entropie (S_1). Die Entropie ist niedrig, weil sich der Hahn oberhalb des Gefäßes befindet und das Wasser bei seinem Fluss in das tiefer gelegene Gefäß Arbeit verrichten kann, beispielsweise wenn ein Wasserrad installiert wäre. Nachdem es das Gefäß durchflossen und durch den Abfluss verlassen hat, befindet sich das Wasser auf gleicher Höhe mit dem Gefäßboden. Es kann nun keine Arbeit mehr leisten und hat eine dementsprechend hohe Entropie (S_3). So lange, wie eine ausreichend große Wassermenge aus dem Hahn läuft, bleiben der Wasserstand und die Entropie des Wassers im Gefäß (S_2) konstant. Es liegt ein Fließgleichgewicht vor, in dem das strömende Wasser Arbeit verrichten kann. Die dabei produzierte Entropie wird durch das abfließende Wasser nach außen transportiert.

Auf Systeme, bei denen ein großes Potenzialgefälle zu ihrer Umgebung besteht, wirken starke thermodynamische Kräfte. Sie befinden sich fern vom Gleichgewicht, und die Geschwindigkeiten, mit denen Stoffe und Energie ausgetauscht werden, sind nicht mehr direkt proportional von den einwirkenden Kräften abhängig. Die Theorie, die diese Systeme beschreibt, wird deshalb als „nichtlineare Thermodynamik“ bezeichnet. Fern vom Gleichgewicht erfahren sie eine viel stärkere Auslenkung als Systeme in Gleichgewichtsnähe. Die Nichtlinearität verstärkt

¹⁸ Prigogine et al. 1993, S. 146 ff.

Fluktuationen und verhindert, dass ein stationärer Zustand erreicht wird. Das System wird entweder zerstört oder stabilisiert sich, indem es seine Entropie durch den Aufbau komplexer Strukturen verringert. Die lokale Entropieverminderung des Systems geht dabei mit einer Entropiezunahme in der Umgebung einher. Beispiele für solche „selbstorganisierenden“ Systemprozesse sind oszillierende chemische Reaktionen oder biologische Wachstumsvorgänge. Selbstorganisation ist nur durch permanente Energiezufuhr möglich. „Lebende Systeme nehmen Energie aus der Umwelt auf, um Strukturen aufzubauen und zu reproduzieren.“¹⁹ Dabei geben sie Entropie an ihre Umgebung ab.²⁰

5.1.3 Allgemeine Systemtheorie

5.1.3.1 Der Weg zur Systemtheorie

Die Allgemeine Systemtheorie beschreibt die formale Übereinstimmung von Systemen sowie ihre Strukturen und Verhaltensweisen. Dabei versucht sie, Zusammenhänge durch mathematische Modelle abzubilden,²¹ die, da sie als allgemein gültig verstanden werden, in unterschiedlichen Wissensbereichen zur Anwendung kommen. Zu nennen sind beispielsweise die Biologie, die Elektrotechnik sowie die Sozial- und Neurowissenschaften. Die Entwicklung der Theorie geht in wichtigen Teilen auf Ludwig von Bertalanffy zurück²² und ist mit der Übertragung biologischer Modelle, beispielsweise Vorstellungen, die sich auf einen Organismus beziehen, auf andere Bereiche verbunden. Wesentlich ist dabei, dass die Existenz eines Organismus nicht vollständig auf die Summe seiner Teile reduziert werden kann. Ein Organ gibt es nicht ohne den übergeordneten Organismus und die anderen Organe. Umgekehrt kann es ohne Organe auch keinen Organismus geben. Das Ganze und seine Teile beziehen sich also aufeinander und setzen sich gegenseitig voraus. Neben Bertalanffys Arbeiten waren für die Formulierung einer Allgemeinen Systemtheorie auch die Entwicklung der Kybernetik in den 1930er- und 1940er-Jahren durch Norbert Wiener und die informationstheoretischen Studien Claude Shannons entscheidend.²³

Die Kybernetik lässt sich, wie Müller in seinem systemtheoretischen Lehrbuch schreibt, im weitesten Sinne und stark vereinfachend auch als eine „verallgemeinerte Theorie elektrischer Schaltkreise“ bezeichnen.²⁴ In ihr geht es um die Aufnahme und Verarbeitung von Informationen sowie die Regelung von

¹⁹ Müller 1996, S. 82.

²⁰ Prigogine et al. 1993, S. 148 ff.

²¹ Fuchs 1972, S. 47.

²² Fuchs 1972, S. 48.

²³ Ratter und Treiling 2008, S. 25.

²⁴ Müller 1996, S. 122.

Prozessen.²⁵ Wesentlich für die Kybernetik ist, dass in ihren Analogien Funktionen in technischen Apparaten mit biologischen Prozessen und Denkvorgängen gleichgesetzt werden (Abschn. 6.3).²⁶ Technische, biologische und sozialwissenschaftliche Vorgänge werden aus Sicht der Kybernetik durch vergleichbare Regel- und Steuerungsmechanismen beschrieben (Zitat 5.5). Das Gehirn beispielsweise wird als neuronales Netz behandelt.²⁷

Zitat 5.5: Frederic Vester (1925–2003)



„Ganz gleich also, ob es sich bei solchen Systemen um Moleküle, Amöben, Menschen, Maschinen oder Wirtschaftsunternehmen handelt, ihrem Kontrollmechanismus mußte eine gemeinsame Basis zugrunde liegen. Diese Basis ist heute das eigentliche Forschungsobjekt der Kybernetik.“²⁸

Die Informationstheorie entstand parallel zu den Entwicklungen in der Kybernetik. Sie verfolgte das Ziel, Nachrichten zu verschlüsseln sowie diese zu dechiffrieren und effizient zu übertragen. Die Informationstheorie ist für die Systemwissenschaften auch deshalb bedeutend, weil sie den thermodynamischen und den kybernetischen Systembegriff verbindet.²⁹ Wichtig ist in diesem Zusammenhang das Verständnis von Entropie. Boltzmanns statistische Interpretation wurde von Shannon mit dem Informationsbegriff verknüpft. Um komplexe, nach Boltzmann unwahrscheinliche Gebilde zu beschreiben ist, so Shannon, eine größere Informationsmenge erforderlich als für wahrscheinlichere von geringerer Komplexität. Die Informationstheorie versteht Information als Maß für Ordnung und setzt die Abnahme von Entropie mit dem Gewinn von Information gleich. Diese Verknüpfung ist umstritten, macht es aber möglich, kybernetisches und thermodynamisches Systemdenken zu verbinden.³⁰

5.1.3.2 Systemdefinition

Eine der bekanntesten Definitionen des Systembegriffs wurde 1956 von Arthur D. Hall und Robert E. Fagen formuliert.³¹ Sie ist in Zitat 5.6 wiedergegeben.

²⁵ Müller 1996, S. 123.

²⁶ Müller 1996, S. 126.

²⁷ Müller 1996, S. 128.

²⁸ Vester 1991, S. 58 f.

²⁹ Müller 1996, S. 100 ff.

³⁰ Müller 1996, S. 100 ff.

³¹ Müller 1996, S. 200.

Zitat 5.6: Arthur D. Hall, Robert E. Fagen (1956)



„A system is a set of objects together with relationships between the objects and between their attributes.“³²

Ein System besteht demnach aus seinen Elementen und den Beziehungen zwischen ihnen,³³ die sich im Austausch von Materie, Energie und/oder Information zeigen.³⁴ Weil Systementwicklungen häufig auf einen Zielzustand zuzusteuern scheinen, berücksichtigen andere Definitionen wie die von Jay Wright Forrester zusätzlich eine teleologische, d. h. eine auf ein Ziel ausgerichtete, Intention. Forrester definiert Systeme wie Hall und Fagen als „Anzahl von miteinander in Beziehung stehenden Teilen“, ergänzt diese Beschreibung aber noch darum, dass diese „zu einem gemeinsamen Zweck miteinander kooperieren“. Grund hierfür ist, dass er, obwohl er zunächst allgemein von Systemen spricht, sich wohl eher auf technische und nicht auf natürlich entstandene Systeme bezieht. Als Beispiel nennt Forrester ein Kraftfahrzeug, in dem Komponenten zusammenwirken, um Transporte zu ermöglichen.³⁵

5.1.3.3 Struktur und Funktion

Ein System wird durch seine Struktur und die Funktionen seiner Elemente charakterisiert. Zu seinen Strukturmerkmalen gehören, zusätzlich zu den in der Definition von Hall und Fagen genannten Systemelementen, noch „Reservoir“ und die Systemgrenze. Bei den Elementen kann es sich um physische oder abstrakte Objekte handeln. Oft sind sie selbst ein System mit einer eigenen Struktur. Ein Element des Systems Körper, eine Zelle, kann selbst als System und somit als Untersystem des Obersystems Körper beschrieben werden. Reservoir sind dagegen Systembereiche, in denen Energie, Informationen oder Materialien gespeichert werden. Die Systemgrenze, auf die wir wegen ihrer Bedeutung in Abschn. 5.1.5 noch gesondert eingehen, trennt das System von seiner Umgebung.

Als Systemfunktionen werden die Wirkungen der Elemente bezeichnet. Sie tragen sowohl zum Bestand des Systems als auch zu ihrem eigenen Erhalt bei.³⁶ Funktionen bestehen aus Energie-, Material- oder Informationsflüssen. Sie können flussbegrenzende Wirkungen haben oder Verzögerungen und Rückkopplungen bewirken. In rückgekoppelten Systemen wirkt das Ergebnis einer

³²Hall und Fagen 1956, S. 18.

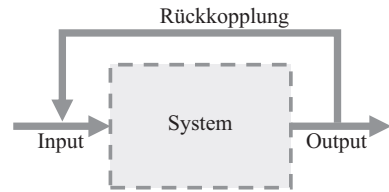
³³Müller 1996, S. 200.

³⁴Fuchs 1972, S. 49.

³⁵Forrester 1972, S. 9.

³⁶Toepfer 2011d, S. 644.

Abb. 5.5 Rückkopplung.
(Eigene Darstellung)



Systemaktivität als Einflussgröße wieder auf das System ein (Abb. 5.5).³⁷ Ist die Wirkung dämpfend, trägt die Rückkopplung zur Stabilisierung bei.³⁸ Die Systemfunktion insgesamt besteht aus dem Zusammenspiel von Rückkopplungen, Durchflüssen und Reservoiren.³⁹

5.1.3.4 Komplexität

Systeme können mehr oder weniger komplex organisiert sein. Ihre Komplexität hängt von der Zahl und Unterschiedlichkeit der Elemente und deren Funktionen ab.⁴⁰ Komplexe Systeme zeichnen sich oft durch einen hohen Vernetzungsgrad und Unterstrukturen aus.⁴¹ Allerdings können auch einfache Strukturen komplexes Verhalten zeigen, beispielsweise bei „nicht linearen Systemen“⁴².

5.1.3.5 Kausalität

Wie in Abschn. 4.4.2 beschrieben, sind kausale Zusammenhänge in den Naturwissenschaften bei der Formulierung gesetzmäßiger Zusammenhänge von großer Bedeutung. Eine zeitlich vorangehende Ursache führt in einem Kausalprozess immer zu einer bestimmten Wirkung. Auch die Beziehungen zwischen Systemelementen lassen sich kausal beschreiben, sie sind aber ggf. so verknüpft und wechselseitig voneinander abhängig, dass sich das Systemverhalten insgesamt nicht mehr auf einzelne Ursachen zurückführen lässt.⁴³ Komplexe Systeme bestehen zwar aus kausal organisierten Netzwerken,⁴⁴ ihr Verhalten als System lässt sich aber ggf. nicht mehr mit einfachen Kausalzusammenhängen beschreiben.

³⁷ Rosnay 1979, S. 85 ff.

³⁸ Rosnay 1979, S. 89.

³⁹ Rosnay 1979, S. 88.

⁴⁰ Rosnay 1979, S. 83.

⁴¹ Vester 1991, S. 40.

⁴² Ratter und Treiling 2008, S. 28; Rosnay 1979, S. 83; Vester 1991, S. 40.

⁴³ Müller 1996, S. 124.

⁴⁴ Rathmann 2008, S. 66.

5.1.3.6 Selbsterhaltung

Ein System ist stabil, wenn seine Organisation nach einer Veränderung erhalten bleibt oder wenn sie sich neu einstellt.⁴⁵ Besonders erwähnenswert sind in diesem Zusammenhang Systeme, die sich durch ihre Prozesse selbst erhalten. Sie werden als „selbstreferenziell“ oder, mit Bezug auf die Biologen Humberto R. Maturana und Francisco Varela García, als „autopoiesisch“ bezeichnet. Der Begriff verbindet die griechischen Wörter „autos“ und „poiesis“ und bedeutet „Selbsterstellung“.⁴⁶

Maturana und Valera deuten Lebewesen als selbsterhaltene Systeme, die eine „zirkuläre Organisation“ aufweisen (Zitat 5.7). Das Besondere ist, dass sie sich selbst herstellen, indem sie sich über ihren Stoffwechsel regenerieren. Was als Ergebnis aus ihrer Organisation hervorgeht, sind sie selbst.⁴⁷ Gewöhnliche Maschinen, die Maturana und Valera „allopoietische Systeme“ nennen, tun das nicht. Sie stellen – dieser Punkt wird bei der Unterscheidung natürlicher und ökonomischer Prozesse in Abschn. 7.3 noch wichtig sein – nicht ihre eigene Struktur her, sondern ein Produkt, das etwas anderes ist als sie selbst. Es gibt sie nicht um ihrer selbst willen, sondern um einen bestimmten Zweck zu erfüllen.⁴⁸

Zitat 5.7: Humberto R. Maturana (1928–2021)



„Die Organisation des Lebendigen ist eine zirkuläre Organisation, die die Erzeugung oder Aufrechterhaltung der Bestandteile sicherstellt, die diese zirkuläre Organisation herstellen, und zwar so, daß das Ergebnis des Funktionierens der Bestandteile eben die Organisation ist, die wiederum diese Bestandteile erzeugt.“⁴⁹

5.1.4 Thermodynamisches und kybernetisches Systemverständnis

Zwischen dem thermodynamischen Systemverständnis und dem der Allgemeinen Systemtheorie gibt es trotz vieler Gemeinsamkeiten auch Unterschiede. Letztere erklären sich zum Teil damit, dass die Begründer der Systemtheorie Mathematiker oder Biologen waren, während die Thermodynamik eine Teildisziplin der Physik ist.⁵⁰ Hieraus resultieren ähnliche, im Detail aber nicht deckungsgleiche Begriffsetzungen und eine jeweils eigene Systemperspektive.

⁴⁵ Müller 1996, S. 209.

⁴⁶ Baecker 2020.

⁴⁷ Metzner 1994, S. 355.

⁴⁸ Allefeld 1999, S. 9.

⁴⁹ Metzner 1994, S. 355 zitiert Maturana 1982, S. 72.

⁵⁰ Trinn 2015, S. 133.

Tab. 5.1 Thermodynamische und kybernetische Systembezeichnungen

Austausch von ...	Kybernetische Systembezeichnung	Thermodynamische Systembezeichnung
Materie und Energie (Information)	Offen	Offen
Energie (Information)	Offen	Geschlossen
—	Geschlossen	Abgeschlossen

Irritationen können durch die verschiedenen Systembezeichnungen entstehen (Tab. 5.1). Während in der Thermodynamik „abgeschlossene“, „geschlossene“ und „offene“ Systeme definiert werden, unterscheidet die durch die Kybernetik geprägte Allgemeine Systemtheorie in der Regel nur zwischen „geschlossenen“ und „offenen“ Systemen (Zitat 5.8). Das liegt daran, dass Stoffflüsse in einer kybernetischen Betrachtung meist in Energieflüsse umgerechnet werden. Kybernetische Modelle operieren mit energetischen Größen oder mit Information. Ein kybernetisch geschlossenes System erlaubt somit keinen Austausch von Energie oder Information mit der Umgebung. Es entspricht dann dem abgeschlossenen und nicht dem geschlossenen System der Thermodynamik.

Zitat 5.8: Arthur D. Hall, Robert E. Fagen (1956)



„A system is closed if there is no import or export of energies in any of its forms such as information, heat, physical materials, etc. [...]“⁵¹

Zu berücksichtigen sind auch die unterschiedlichen Perspektiven, die die Thermodynamik und Kybernetik einnehmen. Die Allgemeine Systemtheorie und die Kybernetik lenken die Aufmerksamkeit auf die Beziehungen und Wechselwirkungen zwischen den Systemelementen. Die Thermodynamik hat dagegen eher einen makroskopischen Blick auf ein System, das sie mithilfe physikalischer Zustandsgrößen beschreibt und über die Art der Abgrenzung, d. h. die Durchlässigkeit der Systemgrenze, zu seiner Umgebung definiert.⁵² In der Allgemeinen Systemtheorie ist die Systemgrenze dagegen durch die Geschlossenheit der Beziehungen zwischen den Elementen definiert.⁵³

⁵¹Hall und Fagen 1956, S. 23.

⁵²Trinn 2015, S. 133.

⁵³Müller 1996, S. 202.

5.1.5 Umwelt und Systeminneres

Eine der wichtigsten Fragen in Zusammenhang mit Systemen ist die nach ihren Grenzen.⁵⁴ Systemgrenzen trennen Systeme von ihrer Umgebung und legen fest, was zum System gehört und was nicht. Systeme können mit einem Teil des Raumes zusammenfallen und durch unterschiedliche Raumteile gegeneinander abgegrenzt sein, können aber auch denselben Raum einnehmen. Ihre Abgrenzung lässt sich mal mehr und mal weniger gut durchführen. Bei einer Zelle ist die Grenze durch die Zellmembran gegeben. Sie trennt nach Claude Bernard das Innere einer Zelle („milieu intérieur“) von ihrer Umgebung („milieu extérieur“)⁵⁵. Allerdings sind bei einer Zelle System und Umwelt nicht vollständig voneinander getrennt. Offene Systeme wären nicht offen, wenn ihr Inneres nicht mit dem Äußeren verbunden wäre.⁵⁶ Ihre Systemgrenze ist durchlässig. Ob etwas zum System gehört oder nicht, ist deshalb oft nicht eindeutig und hängt davon ab, was als Systemgrenze definiert wird (Zitat 5.9).

Zitat 5.9: Florian Sprenger (2019)



„Ein Verhältnis des Umgebens kann nicht in ein Verhältnis von Innenseite und Außenseite übersetzt werden, weil sich beide Seiten nicht konträr gegenüberstehen, sondern sie komplementär miteinander verschränkt sind. Ein Umgebungsverhältnis ist immer eine Verschränkung, in der das Umgebende nicht nur außen und das Umgebene nicht nur innen ist.“⁵⁷

In vielen Fällen sind Grenzziehungen ausgesprochen schwierig.⁵⁸ Oft gibt es kein klar erkennbares Unterscheidungsmerkmal, sodass die Systemdefinition über die Art und Intensität der Beziehungen zwischen den Elementen oder, wie es der Sozialwissenschaftler Niklas Luhmann es in seiner allgemeinen Theorie sozialer Systeme formuliert hat, über die Differenz zu etwas anderem erfolgt (Zitat 5.10).

⁵⁴ Ratter und Treiling 2008, S. 23.

⁵⁵ Sprenger 2019, S. 128; Müller 1996, S. 34.

⁵⁶ Metzner 1994, S. 355 f.

⁵⁷ Sprenger 2019, S. 9.

⁵⁸ Müller 1996, S. 203.

Zitat 5.10: Niklas Luhmann (1927–1998)



„Der Begriff der Umwelt darf nicht als eine Art Restkategorie mißverstanden werden⁵⁹. [...] Für die Theorie selbstreferentieller Systeme ist die Umwelt [...] Voraussetzung der Identität des Systems, weil Identität nur durch Differenz möglich ist.“⁶⁰

Ein System ist ein System, weil die Elemente eine bestimmte Beziehungsart, beispielsweise soziale Kommunikation, teilen, die es außerhalb des Systems nicht gibt.⁶¹ Wie der Psychologe Carsten Allefeld schreibt, grenzt sich ein System selbst von seiner Umgebung ab und schafft sich seine Außenwelt.⁶² Man kann allerdings hier auch einen anderen Standpunkt vertreten und der Meinung sein, dass die Systeme ihre Grenzen und ihre Umgebungen erst durch die Definitionen der Wissenschaftler und Wissenschaftlerinnen erhalten, die sich mit ihnen befassen.

5.2 Ökosysteme: Die modellierte Natur⁶³

5.2.1 Ökologie: Wissenschaft und Weltanschauung

In Kap. 4 ist deutlich geworden, dass es nicht nur eine einzige, verbindliche Naturdeutung gibt. Die Perspektiven, die wir dort in Abschn. 4.8 vorgestellt haben, lassen sich oft einer „lebensweltlichen“ oder „naturwissenschaftlichen“ Kategorie zuordnen.⁶⁴ Während die naturwissenschaftliche eine „methodisch objektivierte Natur“ wahrnimmt, ist die lebensweltliche subjektiv und kulturell geprägt. Beispiele für letztere sind Landschaftsbeschreibungen, die die Ästhetik betonen, oder Rosen, die als Symbol für die Liebe wahrgenommen werden. Von den in Abschn. 4.8 genannten Naturbildern gehören beispielsweise die Natur als „Schöpfung“, ihre Anrede als „Mutter“ und ihre Einordnung als „Gefahr“ zu den lebensweltlichen Naturperspektiven. Wie der interdisziplinär arbeitende Wissenschaftler Thomas Kirchhoff schreibt, wird Natur lebensweltlich „auf kategorial andere Weise(n) wahrgenommen“ als aus der naturwissenschaftlichen Perspektive. „Deshalb hat [...] ein lebensweltlich wahrgenommener Wald Eigenschaften, die Wald“ aus der

⁵⁹Luhmann 2018, S. 242.

⁶⁰Luhmann 2018, S. 243.

⁶¹Lippuner 2008, S. 107 f.; Luhmann 2018, S. 244.

⁶²Allefeld 1999, S. 53.

⁶³Abschn. 5.2 ist ein Überarbeitung und Detailierung von Marzi et al. 2018, 44 ff.

⁶⁴Kirchhoff 2020b.

wissenschaftlichen Perspektive „nicht haben kann, nämlich schön, erhaben, wild, geheimnisvoll, national, natürlich zu sein.“⁶⁵

Das Charakteristische der wissenschaftlichen Perspektive besteht gerade darin, die für die lebensweltliche Sichtweise so wesentlichen subjektiven Deutungen zu vermeiden. Sie ist zwar ebenfalls kulturell geprägt, versucht aber, die Zusammenhänge in der Natur objektiv wahrzunehmen.

Historisch überwog bei der naturwissenschaftlichen Deutung zunächst eine reduktionistische Sichtweise, für die es charakteristisch war, dass Natur als Funktion ihrer Teile beschrieben wurde. Mittlerweile wird die Natur jedoch von Teilen der Naturwissenschaften aus einer Perspektive wahrgenommen, in der vieles mit vielem zusammenhängt. Die Disziplin, die diese Zusammenhänge in Bezug auf den lebendigen Teil der Natur untersucht, ist die Ökologie. Sie gilt vielen als systemischer Gegenentwurf zur reduktionistischen Denkweise.⁶⁶

Mit dem Wort „ökologisch“ wird jedoch nicht nur auf eine naturwissenschaftliche Disziplin verwiesen. Der Begriff wird auch als Synonym für eine Weltanschauung und bestimmte Werthaltungen verwendet, „die ein neuartiges, richtiges Verhältnis der Menschen zur Natur“ anstreben.⁶⁷ Das Wort „ökologisch“ kann sich also sowohl auf eine lebensweltliche als auch auf eine naturwissenschaftliche Deutung beziehen. Wir gehen im Folgenden allerdings nur auf die naturwissenschaftliche ein, in der die Natur aus einer systemwissenschaftlichen Perspektive betrachtet und als „Ökosystem“ modelliert wird.⁶⁸

5.2.2 Ökologische Wissenschaft

Lebewesen sind keine isolierten Einheiten, sondern haben vielfältige und komplexe Beziehungen zu Individuen der eigenen Art und zu denen anderer Arten. Für ihre wechselseitigen Abhängigkeiten steht der Begriff „Biozönose“. Er bezieht sich auf die Gesamtheit aller Lebewesen in einem Lebensraum, dem Biotop, und deren Interaktionen. Eingeführt wurde der Begriff 1877 von Karl August Möbius. Möbius, der sich im Auftrag der preußischen Regierung mit der wirtschaftlichen Nutzbarmachung von Austernbänken beschäftigte, fand, dass die verschiedenen Arten des von ihm untersuchten Lebensraumes eine „Gemeinschaft“ bilden (Zitat 5.11).⁶⁹

⁶⁵ Kirchhoff 2020b.

⁶⁶ Commoner 1971, S. 32.

⁶⁷ Kirchhoff 2020a.

⁶⁸ Kirchhoff 2020b.

⁶⁹ Toepfer 2011b, S. 320.

Zitat 5.11: Karl August Möbius (1825–1908)



„Jede Austerbank ist gewissermassen eine Gemeinde lebender Wesen, eine Auswahl von Arten und eine Summe von Individuen, welche gerade an dieser Stelle alle Bedingungen für ihre Entstehung und Erhaltung finden [...]. Die Wissenschaft besitzt noch kein Wort für eine solche Gemeinschaft von lebenden Wesen, für eine den durchschnittlichen äusseren Lebensverhältnissen entsprechende Auswahl und Zahl von Arten und Individuen, welche sich gegenseitig bedingen und durch Fortpflanzung in einem abgemessenen Gebiete dauernd erhalten. Ich nenne eine solche Gemeinschaft Biocoenosis[...] oder Lebensgemeinde.“⁷⁰

Die von Möbius erkannten wechselseitigen Beziehungen zwischen Lebewesen verschiedener Arten sind der Untersuchungsgegenstand der Ökologie. Als Bezeichnung für eine wissenschaftliche Disziplin wurde der Begriff erstmals von Ernst Haeckel verwendet. Was er unter Ökologie versteht hat Haeckel in seinen Publikationen mehrfach definiert.⁷¹ Eine seiner Definitionen ist in Zitat 5.12 wiedergegeben. Für Haeckel ist Ökologie die Wissenschaft, die die Beziehungen von Organismen zu ihrer Umwelt beschreibt und dabei sowohl biologische wie physikalisch-chemische Zusammenhänge berücksichtigt. Auch wenn neuere Definitionen moderner formuliert sind, gibt Haeckels Beschreibung nach wie vor wieder, worum es in der Ökologie geht. Die in einem aktuellen Lehrbuch von Michael Begon verwendete Definition ist der Haeckels jedenfalls sehr ähnlich. Ökologie ist für Begon ebenfalls die Wissenschaft, die sich mit „Wechselbeziehungen zwischen Organismen“ und den damit verbundenen Energie- und Stoffflüssen befasst.⁷²

Zitat 5.12: Ernst Heinrich Philipp August Haeckel (1834–1919)



„Unter Oecologie verstehen wir die gesammte Wissenschaft von den Beziehungen des Organismus zur umgebenden Aussenwelt, wohin wir im weiteren Sinne alle ‚Existenz-Bedingungen‘ rechnen können. Diese sind theils organischer, theils anorganischer Natur[...].“⁷³

⁷⁰Möbius 1877, S. 75 f.

⁷¹Toepfer 2011e, S. 682.

⁷²Begon et al. 2017, S. 4.

⁷³Haeckel 1866, S. 286.

5.2.3 Ökosysteme sind mehr als Biozöosen

So wie Haeckel und Begon die Ökologie definieren, fällt auf, dass sie nicht nur die wechselseitigen Beziehungen zwischen Lebewesen, sondern auch unbelebte Stoffe und Energie in ökologische Fragestellungen einbeziehen. Deren Bedeutung hatte 1749 bereits Carl von Linné erkannt. Pflanzen und die unbelebten Bestandteile des Bodens waren für Linné in einer „wechselseitigen Verknüpfung“ miteinander verbunden.⁷⁴ Sechzehn Jahre bevor Haeckel den Begriff Ökologie prägte, wies auch bereits Gustav Theodor Fechner darauf hin, dass die Interaktionen der Lebewesen ohne die beteiligten Stoffe nicht möglich wären. Für Fechner sind Pflanzen und Tiere wie die Glieder eines großen Organismus, an dessen Einheit auch anorganische Stoffe Anteil haben.⁷⁵ Ökologische Systeme sind also mehr als Biozöosen.

Der Begriff des „Ökosystems“ ist vermutlich auf den Botaniker Arthur Roy Clapham zurückzuführen. Bekannt wurde der Begriff aber erst durch Arthur Tansley, mit dem Clapham in Oxford zusammenarbeitete. In seiner in Zitat 5.13 wiedergegebenen Definition betont Tansley, dass Lebewesen und Stoffe erst in ihrem Zusammenwirken ein Ökosystem bilden.⁷⁶ Aus Sicht der Thermodynamik und Allgemeinen Systemtheorie sind Ökosysteme offene Systeme, die, fern vom Gleichgewicht, Stoffe, Energie und Information mit ihrer Umgebung austauschen. Sie erhalten sich, indem sie Energie aufnehmen, exportieren Entropie und bilden komplexe Strukturen.⁷⁷

Zitat 5.13: Arthur George Tansley (1871–1955)



„Though the organisms may claim our primary interest, when we are trying to think fundamentally we cannot separate them from their special environment, with which they form one physical system. Our natural human prejudices force us to consider the organisms (in the sense of the biologist) as the most important parts of these systems, but certainly the inorganic ›factors‹ are also parts – there could be no systems without them, and there is constant inter-change of the most various kinds within each system, not only between the organisms but between the organic and the inorganic. These ecosystems, as we may call them, are of the most various kinds and sizes.“⁷⁸

⁷⁴Toepfer 2011e, S. 688.

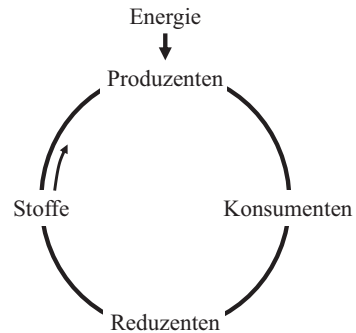
⁷⁵Toepfer 2011 f., S. 718.

⁷⁶Toepfer 2011 f., S. 715.

⁷⁷Bauer 2008, S. 106.

⁷⁸Tansley 1935, S. 299.

Abb. 5.6 Produzenten, Konsumenten, Reduzenten und tote Materie in Ökosystemen. (Eigene Darstellung, die inhaltlich von Toepfer 2011f, S. 737 übernommen wurde)⁷⁹



In Abb. 5.6 ist ein Ökosystem, unter Einbeziehung der beteiligten Stoffe als Nahrungsbeziehung zwischen den drei Organismengruppen Produzenten, Konsumenten und Destruenten dargestellt.

Zu den Produzenten gehören Pflanzen. Sie wandeln Lichtenergie durch Photosynthese in chemisch gebundene Energie um und bauen organische Biomasse auf. Wie viel Energie in Ökosystemen umgesetzt wird, hängt von ihrer Produktivität ab. Die in Biomasse enthaltene Energie dient „Konsumenten“, d. h. Lebewesen, die nicht wie Pflanzen energiereiche organische Stoffe selbst herstellen können, als Nahrung. Dabei wird pflanzliche Biomasse zunächst von Pflanzenfressern, den „Herbivoren“, konsumiert, die ihrerseits Nahrungsgrundlage für fleischfressende Lebewesen, die „Karnivoren“, sind. Organisches Material, das nach dem Tod von Lebewesen vorliegt, wird schließlich von „Destruenten“ bzw. „Reduzenten“ wie Pilzen zu Stoffen abgebaut, die von Produzenten wieder zu neuer Biomasse verarbeitet werden können.⁸⁰ Ein Ökosystem umfasst mindestens eine Population von primären Produzenten und Reduzenten, meistens sind aber auch Konsumenten vorhanden.⁸¹ In der Industriellen Ökologie ist das ökosystemische Zusammenspiel von Produzenten, Konsumenten und Reduzenten eine Vorlage für die Gestaltung industrieller Produktionssysteme (Abschn. 2.2.3 und 7.2.2).⁸²

Da an einem Ökosystem verschiedene Stoffe beteiligt sind, erwies es sich aus Gründen der quantitativen Vergleichbarkeit als praktisch, den Stoffaustausch zu vereinheitlichen und als Energieumsatz zu beschreiben. Ein solches Konzept hatte Alfred James Lotka bereits 1925, also zehn Jahre vor Tansley, entwickelt, allerdings ohne den Begriff Ökosystem zu verwenden (Zitat 5.14).⁸³

⁷⁹Toepfer 2011 f., S. 737 bezieht sich auf eine Veröffentlichung von Schwerdtfeger 1975, S. 269.

⁸⁰Begon et al. 2017, S. 393 f.

⁸¹Toepfer 2011f, S. 715.

⁸²Jelinski et al. 1992.

⁸³Toepfer 2011f, S. 722 f.

Zitat 5.14: Alfred James Lotka (1880–1945)



„Plant and Animal as Coupled Transformers. Coupled transformers are presented to us in profuse abundance, wherever one species feeds on another, so that the energy sink of the one is the energy source of the other.“⁸⁴

Dadurch, dass ökologische Prozesse als Energieaustausch gedeutet wurden, wurde es möglich, ökologische Beziehungen quantitativ abzubilden. Sie konnten so miteinander verrechnet⁸⁵ und als kybernetische Regelkreise modelliert werden⁸⁶. Dies erfolgte in den 1940er-Jahren vor allem durch Raymond Laurel Lindeman und George Evelyn Hutchinson, deren Ökosystemmodelle an Wieners kybernetischen Ansatz angelehnt waren. Bedeutend für die weitere Entwicklung wurde auch die in Zitat 5.15 wiedergegebene Ökosystemdefinition von Eugene Odum, in der Ökosysteme als Kreisläufe beschrieben werden.

Zitat 5.15: Eugene Pleasants Odum (1913–2002)



„Any entity or natural unit that includes living and nonliving parts interacting to produce a stable system in which the exchange of materials between the living and the nonliving parts follows circular paths is an ecological system or ecosystem.“⁸⁷

Der Einfluss der Kybernetik auf die Ökologie ist auch daran ablesbar, wie Ökosysteme grafisch dargestellt wurden. Ein Beispiel ist in Abb. 5.7 zu sehen. Abgebildet ist ein Ausschnitt aus einer Darstellung Howard T. Odums, einem Bruder Eugene Odums. Sein Modell zur Beschreibung von Energieflüssen im Nahrungsnetz eines Regenwaldes ähnelt Plänen elektrischer Schaltkreise.

5.2.4 Kritik am kybernetischen Ökosystemverständnis

Kybernetisch aufgebaute Ökosystemmodelle bringen viele Vorteile mit sich und eröffnen neue Möglichkeiten zur Untersuchung ökologischer Zusammenhänge. Ihre Entwicklung war jedoch nicht nur ein methodischer Fortschritt, son-

⁸⁴ Lotka 1925, S. 330.

⁸⁵ Sprenger 2019, S. 400; Taylor und Blum 1991.

⁸⁶ Bühler 2016, S. 14 f.; Sprenger 2020; Toepfer 2011e, S. 696.

⁸⁷ Sprenger 2019, S. 368 zitiert hier Odum 1971, S. 9.

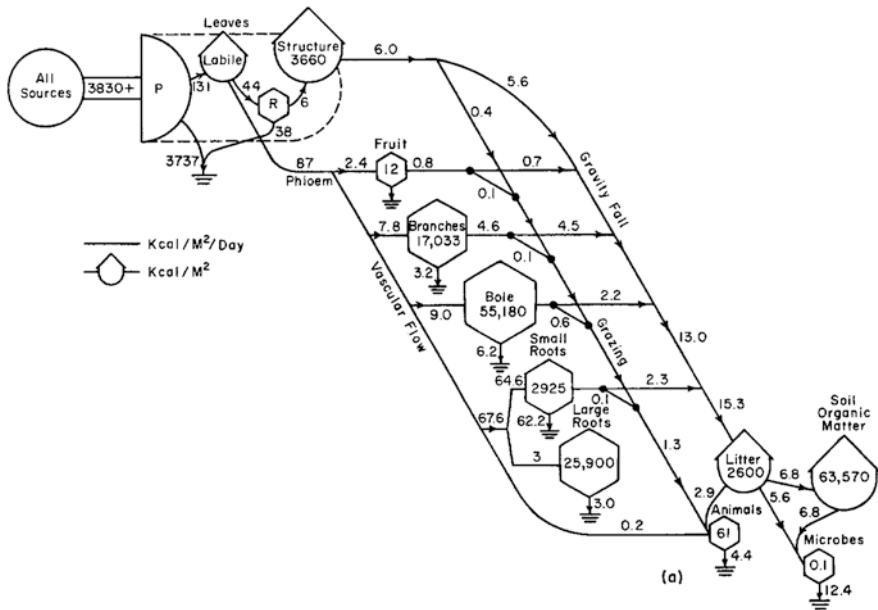


Abb. 5.7 Netzwerk aus Energieflüssen in einem tropischen Regenwald nach einer Darstellung von Howard T. Odum (Ausschnitt).⁸⁸

dern auch mit einem Paradigmenwechsel verbunden, der eine Mathematisierung der Ökologie zur Folge hatte. Von nun an standen nicht mehr ganzheitliche Wechselbeziehungen im Vordergrund, sondern Stoff- und Energieumsätze in kybernetischen Regelkreisläufen.⁸⁹ So erfolgreich diese Vorgehensweise auch war, die kybernetische Perspektive reduziert die Komplexität von ökologischer Zusammenhänge und suggeriert, dass ökologische Zusammenhänge gesteuert werden können.⁹⁰ Die Anwendung der Kybernetik bringt die Gefahr mit sich, aufgrund der verwendeten Analogien zu Schaltkreisen zu denken, man könne ökologische Systeme auch wie Schaltkreise behandeln.⁹¹ Wenn ökologische Zusammenhänge als Energieflüsse darstellbar sind, dann müsste es grundsätzlich auch möglich sein, in sie einzugreifen, Energieflüsse zu steuern, Systemelemente zu ersetzen und neue

⁸⁸Abbildung entnommen bei Taylor und Blum 1991, S. 288, die sich auf Odum und Pigeon 1971 beziehen.

⁸⁹Bühler 2016, S. 14; Toepfer 2011 f., S. 715.

⁹⁰Sprenger 2019, S. 399 bezieht sich auf Taylor und Blum 1991.

⁹¹Sprenger 2019, S. 403.

in das System zu implementieren. Die Darstellung als Regelkreis legt nahe, dass Ökosysteme konstruierbar sind.⁹²

Ab Mitte der 1960er-Jahre setzte deshalb eine Gegenbewegung zum kybernetischen Ökosystemdenken ein. Die Aufmerksamkeit richtete sich wieder mehr auf die wechselseitigen Beziehungen der Lebewesen und weniger auf Stoff- und Energieflüsse.⁹³ Hinzu kam, dass Erkenntnisse aus der Chaos- und Resilienz-forschung auf die Ökologie angewandt wurden. Anstelle von Vorstellungen, die von stabilen ökologischen Gleichgewichten ausgingen, rückte die „Inkonstanz und Instabilität“ der Systeme in den Vordergrund. Störungen wurden als natürliche Faktoren angesehen und Zufälle und Wahrscheinlichkeiten in die Betrachtungen einbezogen. Da diese Ansätze nicht nur einen Status quo und seine funktionalen Zusammenhänge beschreiben,⁹⁴ sondern auch dessen Entwicklung berücksichtigen, werden sie auch als „evolutionäre Ökologie“ bezeichnet.⁹⁵

5.2.5 Abgrenzung von Ökosystemen

In Abschn. 5.1.5 wurde bereits auf die grundsätzliche Problematik von Grenz-ziehungen bei Systemdefinitionen hingewiesen. Es überrascht deshalb nicht, dass auch bei der Anwendung des Ökosystembegriffs Schwierigkeiten bestehen, die Systeme gegenüber ihrer Umwelt abzugrenzen. In der Regel können mit „topografischen“, „zöologischen“ und „systemtheoretischen“ Kriterien drei unterschiedliche Kategorien zur Festlegung der Systemgrenzen verwendet werden.

Das topografische Kriterium orientiert sich an Geländeunterschieden. Die Grenze des Ökosystems „See“ ist dann das Seeufer, wo ein Übergang vom Wasser zum Land stattfindet. Das zöologische Kriterium berücksichtigt dagegen die räumlich unterschiedliche Verteilung von Arten. Das System See existiert dann dort, wo die Arten, die es ausmachen, vorkommen. Seine Grenze wäre dann über den Uferbereich hinaus zu erweitern und würde auch den Aktionsradius von Fröschen einbeziehen. Bei Anwendung eines systemtheoretischen Kriteriums konstituiert sich die Systemgrenze nicht durch äußere Begrenzungen, sondern durch innere Funktionen wie Nahrungsbeziehungen. Das Modell eines Ökosystems kann beispielsweise durch einen Nahrungskreislauf geschlossen werden.⁹⁶

⁹² Sprenger 2019, S. 399.

⁹³ Toepfer 2011e, S. 696.

⁹⁴ Man spricht deshalb auch von „funktionaler Ökologie“, Toepfer 2011e, S. 698.

⁹⁵ Toepfer 2011e, S. 698; Gleich 2008.

⁹⁶ Toepfer 2011f, S. 726 f.

5.2.6 Ökosysteme sind keine „Superorganismen“

Da die Elemente eines Ökosystems wechselseitig voneinander abhängig sind, liegt es nahe, sie mit der Organisation eines Lebewesens zu vergleichen. Dieser Vergleich findet sich bereits bei Möbius, wurde aber auch von dem Ökologen August Thienemann vorgenommen. Für Thienemann bilden die von Möbius definierte Biozönose und ihr Lebensraum, das Biotop, eine „geschlossene Einheit“, die er als „Organismus höherer Ordnung“ bezeichnete.⁹⁷ Das klingt so, als ob Ökosysteme nicht nur aus den Interaktionen von Organismen bestehen, sondern so als ob sie selbst etwas Ähnliches sind wie Lebewesen.

Die Debatte, ob Ökosysteme als Organismen aufgefasst werden können oder nicht, ist auch heute noch Gegenstand der Diskussion.⁹⁸ Gegen einen solchen Standpunkt wenden sich beispielsweise die Biophilosophen Martin Mahner und Mario Bunge, deren Position⁹⁹ wir hier übernehmen. Einen ausführlichen Vergleich zwischen Organismen und Ökosystemen nimmt auch der Biologe und Philosoph Georg Toepfer vor. Laut Toepfer¹⁰⁰ verfügen Lebewesen über

1. eine geschlossene, artspezifische, körperliche Gestalt,
2. eine Lebensspanne mit definiertem Anfang und Ende,
3. aktive Bewegung bei Tieren oder passive Bewegung (Samen) bei Pflanzen und
4. Fortpflanzung durch Reproduktion.

Ökosysteme dagegen haben

1. keine körperlich geschlossene Gestalt,
2. unscharfe Grenzen in Bezug auf ihr Entstehen oder Vergehen,
3. in der Regel keine Selbstbewegung und
4. keinen Fortpflanzungsmechanismus.

Ein weiterer, wesentlicher Unterschied besteht in der „Einheit“ des Systems. Bei Lebewesen hat die Selbsterhaltung des Organismus Vorrang vor der Erhaltung der Teile, aus denen er besteht. Die Selbsterhaltung von Ökosystemen ist dagegen ein Resultat, das sich durch die Lebewesen im System erst ergibt. Für diese ist ihr eigenes Überleben wichtiger als der Bestand des Systems. Viele Lebewesen sind Generalisten, die in unterschiedlichen Umgebungen leben und von einem Ökosystem in ein anderes wechseln können. Letzteres ist Organen oder Körperzellen nicht mög-

⁹⁷Toepfer 2011f, S. 722 f. und Toepfer 2011f., S. 718, der hier Thienemann und Kieffer 1916, S. 485 zitiert.

⁹⁸Toepfer 2011f, S. 719 ff.

⁹⁹Mahner und Bunge 2000.

¹⁰⁰Toepfer 2011f, S. 719 ff.

lich.¹⁰¹ Ein weiteres Unterscheidungskriterium sind die Konkurrenzverhältnisse zwischen Lebewesen. Sowohl Organe und Zellen als auch Ökosysteme stehen nicht in Konkurrenz zueinander. Ökosysteme durchlaufen keine Evolution, die auf Variation und Selektion beruht, dies betrifft nur die Lebewesen, die das Ökosystem bilden.

5.2.7 Sind Ökosysteme reale Gegebenheiten oder reine Modellvorstellungen?

Mit einer der wichtigsten Vertreter einer sozialwissenschaftlich ausgerichteten Systemtheorie ist der Soziologe Niklas Luhmann, dessen bekanntestes Werk „Soziale Systeme, Grundriss einer allgemeinen Theorie“ 1984 erschien.¹⁰² Unsere Frage, ob es Ökosysteme wirklich gibt, die wir in der Überschrift formuliert haben, beantwortet Luhmann im ersten Satz seines ersten Kapitels klar und deutlich. Luhmann schreibt: „Die folgenden Überlegungen gehen davon aus, daß es Systeme gibt“¹⁰³. Da sich seine Aussage nicht nur auf soziale, sondern allgemein auf Systeme bezieht, sollten demnach auch Ökosysteme wirklich existieren.

Doch so klar, wie die Aussage Luhmanns scheint, ist die Antwort auf die oben gestellte Frage unseres Erachtens nicht. Systeme und damit auch Ökosysteme sind zunächst einmal Modelle. Sie sind Vorstellungen, die zur Beschreibung komplexer, wechselseitiger Beziehungen zwischen Lebewesen, Stoffen und Energie erdacht wurden. Sogar Tansley, von dem der Begriff Ökosystem stammt, relativiert ihn in Zitat 5.16. Er betont, dass Ökosysteme keine „realen Einheiten“ sind, sondern dass es sich bei ihnen zumindest „teilweise um künstliche geistige Konstruktionen“ handelt, die dazu dienen, wissenschaftliche Zusammenhänge zu erfassen.¹⁰⁴

Zitat 5.16: Arthur George Tansley (1871–1955)



„The whole method of science [...] is to isolate systems mentally for the purposes of study, so that the series of isolates we make become the actual objects of our study, whether the isolate be a solar system, a planet, a climatic region, a plant or animal community, an individual organism, an organic molecule or an atom. Actually the systems we isolate mentally are not only included as parts of larger ones, but they also overlap, interlock and interact with one another. The isolation is partly artificial, but is the only possible way in which we can proceed. [...] The mental isolates we make are by no means all coincident with physical systems, though many of them are, and the ecosystems among them.“¹⁰⁵

¹⁰¹Toepfer 2011f, S. 729.

¹⁰²Luhmann 2018.

¹⁰³Luhmann 2018, S. 30.

¹⁰⁴Toepfer 2011f, S. 716.

¹⁰⁵Tansley 1935.

Den Modellcharakter von Ökosystemen hebt auch der Ökologe Kurt Jax hervor, indem er nach den Elementen fragt, die in Ökosystemen agieren. In den Modellen, so Jax, werden Lebewesen zu Naturteilen wie Seen oder Wäldern zusammengefasst. Das, was aber in den Modellen interagiert, sind mit „Arten“ keine realen, sondern abstrakte Akteure. Reale Akteure sind Lebewesen und nicht Arten oder Wälder. Die Merkmale von Arten wurden verallgemeinernd aus den Eigenschaften konkreter Einzelwesen abgeleitet.¹⁰⁶ Eine ähnliche Argumentation verwendet auch der Biophilosoph Hans-Werner Ingensiep. Er schreibt, dass Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler selbst wesentliche „Konstrukteure“ der Systeme sind, die sie untersuchen, indem sie beispielsweise die Beziehungen auswählen, die sie in ihre Systemuntersuchung einbeziehen.¹⁰⁷ Haben Ökosystemmodelle also nichts mit der Realität zu tun? Wir wollen erneut Niklas Luhmann auf diese Frage antworten lassen. Er schreibt an einer anderen Stelle seines Buches, dass die „Aussage, es gibt Systeme“ nur besagt, „daß es Forschungsgegenstände gibt, die Merkmale aufweisen, die es rechtfertigen, den Systembegriff anzuwenden“.¹⁰⁸ Wir wollen den Kompromiss, den Luhmann hier anbietet, annehmen: Systeme sind demnach Modelle, die sich als geeignet erwiesen haben, Teile der Realität zu beschreiben.

5.3 Die Biosphäre, das Ökosystem der Erde

5.3.1 Eine eigene Sphäre für das Leben

Die Gesamtheit der Ökosysteme der Erde wird auch als „Biosphäre“ bezeichnet. In der Bioökonomie und Circular Economy ist der Begriff ein Synonym für die belebte Natur, die von anderen Sphären bzw. Systemen wie der „Technosphäre“ (Abschn. 5.4) bzw. der menschlichen Wirtschaft (Abschn. 5.5) unterschieden wird. Das Wort „Sphäre“ leitet sich vom altgriechischen „sphaira“ (σφαῖρα) ab, was Hülle, Kugel oder Ball bedeutet. In der antiken Astronomie wurde angenommen, dass die Erde von sie umkreisenden Kugelschalen umgeben ist, auf denen sich die Planeten, die Fixsterne, die Sonne und der Mond befinden. Diese Kugelschalen wurden als Sphären bezeichnet. Abb. 5.8 zeigt diese Perspektive in der Darstellung der 1493 in Nürnberg erschienenen Schedelschen Weltchronik.¹⁰⁹ Die äußere Schicht in der Abbildung ist die Sphäre der Engel und Heiligen. Nach innen folgen die Sphären der Fixsterne, die von Saturn, Jupiter, Mars, die der Sonne sowie die von Venus, Merkur und Mond. Auf die des Mondes folgen die der Elemente Feuer, Luft und Wasser. Im Zentrum befindet sich als viertes Element die Erde.¹¹⁰

¹⁰⁶ Jax 1996, S. 222 ff.

¹⁰⁷ Ingensiep 2016.

¹⁰⁸ Luhmann 2018, S. 16.

¹⁰⁹ Reske 2011.

¹¹⁰ Pausenberger 2012.

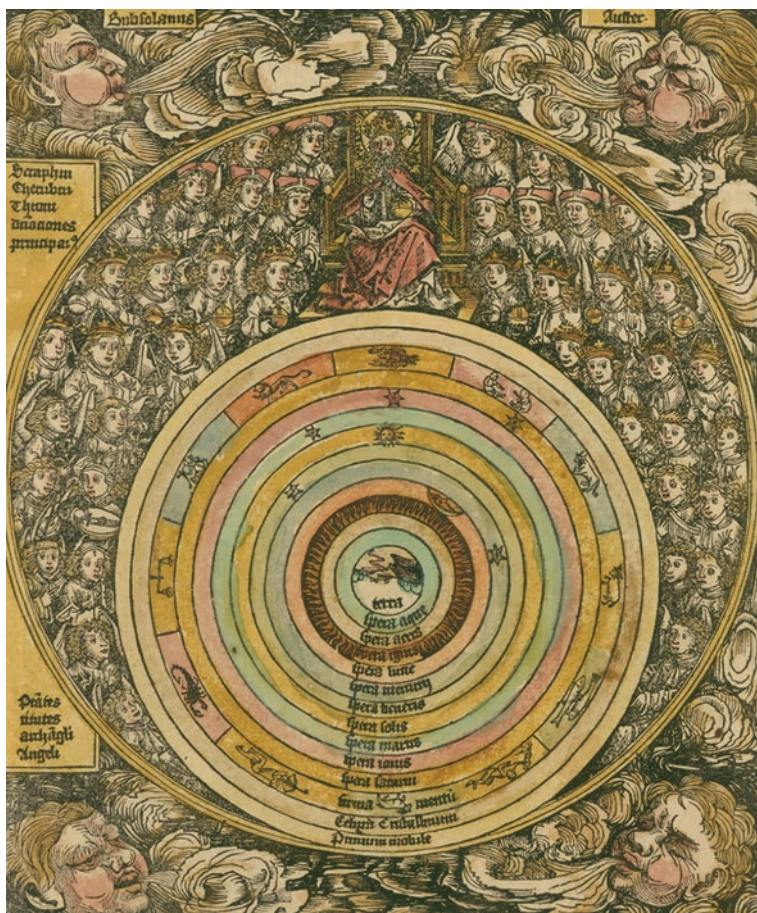


Abb. 5.8 Mittelalterliche Darstellung eines hierarchischen Aufbaus der Welt als „Sphären“, Schedelsche Weltchronik, 1493, Michael Wolgemut, Wilhelm Pleydenwurff (Text: Hartmann Schedel), Deutsches Buch- und Schriftmuseum der Deutschen Nationalbibliothek Leipzig, Klemmsammlung, Bö-Ink, 54¹¹¹.

Die Sphärologie, wie das Denken in Sphären genannt wird, nimmt eine Strukturierung in Form konzentrisch geschichteter Hüllen vor. Der Begriff der Sphäre suggeriert also, dass einzelne Bereiche in Form von Schichten angeordnet sind. Übertragen auf die Erde, ergibt sich so ein „vertikales Schema, das in Form von konzentrischen Erdschichten strukturiert ist“¹¹². Die Atmosphäre – wörtlich eine mit Dampf gefüllte Kugel – ist die Gashülle der Erde. Ihr Teil, der vom Boden

¹¹¹ https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Schedelsche_Weltchronik_-_Kosmologie.jpg

¹¹² Schneider 2019, S. 97.

bis in ca. 10.000 m Höhe reicht, ist die Troposphäre. Ihre Grenze bildet die Ozonschicht. Darüber folgen Stratosphäre, Mesosphäre, Thermosphäre und schließlich mit dem Weltall die Exosphäre. Die Gesteinsmassen der Erde werden als Lithosphäre bezeichnet. Sie wird in Richtung Erdkern in Asthenosphäre und Mesosphäre differenziert. Die Hydrosphäre schließlich ist die Gesamtheit aller Gewässer.¹¹³

In diesen Zusammenhängen gedacht, ist die Biosphäre eine die Erde umhüllende lebendige Schicht. Sie „ist der regelmäßig von Organismen besiedelte Bereich der Erde“ der als umfassendes „Erdökosystem“ betrachtet werden kann.¹¹⁴ Räumlich wird er mit dem Bereich identifiziert, in dem Bakterien stoffwechselaktiv sind. Er reicht von 5 km tiefen Sedimentschichten bis in etwa 60 km Höhe.¹¹⁵

Die Idee von einer Biosphäre geht auf Eduard Suess, Pierre Teilhard de Chardin und Wladimir Iwanowitsch Vernadskij zurück. Ihre Konzepte basieren darauf, dass es sich bei der Biosphäre um eine „lebendige Schicht aus Biomasse“ handelt, „die wie eine Decke über die gesamte Erde ausgebreitet ist“¹¹⁶. Im Detail unterscheiden sich ihre Vorstellungen jedoch. Suess, von dem auch die Begriffe „Lithosphäre“ und „Hydrosphäre“ stammen, versteht unter der Biosphäre vor allem ein räumliches Gebilde. Er ordnet dem Leben eine eigene Zone zu, die mit den anderen Sphären im Austausch steht. Teilhard interpretiert die Biosphäre dagegen biotisch als „Gesamtheit aller irdischen Lebewesen“, und Vernadskij hat eher ein an der Vorstellung eines globalen Ökosystems orientiertes Verständnis. Für ihn ist die Biosphäre ein vom Leben selbst geformter Raum, in dem Lebewesen mit biotischem und abiotischem Material wechselwirken.¹¹⁷ Heute wird die Biosphäre mehr als System aller Lebewesen vorgestellt und weniger als räumlicher Bereich.¹¹⁸ Dieses System ist selbstregulierend und enthält eng verwobene biologische und geologische Elemente. „Lebewesen und die Beziehungen, die sie zu ihrer Umwelt unterhalten, verändern sich in der Biosphäre gegenseitig“.¹¹⁹

Die systemische Interpretation der Biosphäre findet ihre extreme Auslegung in der auf Lynn Margulis und James Lovelock zurückgehenden „Gaia-Hypothese“¹²⁰. „Gaia“ ist in der griechischen Mythologie der Name der Erdgöttin. Sie ist dort die Erzeugerin allen Lebens, von der alles Wachstum in der Natur ausgeht. Für Margulis und Lovelocks ist Gaia ein selbsterhaltendes „kybernetisch geregeltes

¹¹³ Schneider 2019, 95 ff.

¹¹⁴ Toepfer 2011a, S. 296.

¹¹⁵ Kather 2012, S. 151; Karafyllis 2019, S. 108.

¹¹⁶ Schneider 2019, S. 97.

¹¹⁷ Schneider 2019, S. 97.

¹¹⁸ Toepfer 2011a, S. 296.

¹¹⁹ Kather 2012, S. 188.

¹²⁰ Lovelock 1992.

System, das Rückkopplungsschleifen enthält, die bestimmte globale und für das Leben wichtige Regelgrößen konstant halten¹²¹. Lebewesen und ihre Umgebung sind in diesem System so eng verbunden, dass sie sich nicht getrennt betrachten lassen. Höchst umstritten ist die von Margulis und Lovelock mehr oder weniger vorgenommene Gleichsetzung von Gaia mit einem Organismus (Abschn. 5.2.6).

5.3.2 Die Entwicklung der Biosphäre

Die Biosphäre ist nicht unveränderlich, sondern hat eine Geschichte, die im Folgenden auf Grundlage eines Fachartikels¹²², den der Geologe Mark Williams verfasst hat, nacherzählt wird.

Die Erde entstand vor etwa 4,5 Mrd. Jahren und die ersten durch Fossilien belegten Lebensspuren werden auf einen Zeitraum von 3,8 bis 3,5 Mrd. Jahren datiert. Die ersten 3 Mrd. Jahre der Biosphäre werden als ihre „mikrobielle“ Phase bezeichnet, weil es ausschließlich Mikroorganismen gab. Sowohl die Anzahl der Arten als auch ihre Unterschiede waren vermutlich viel geringer als heute. Trotzdem entwickelten sich wahrscheinlich schon sehr früh verschiedene Ernährungsformen und komplexe ökologische Beziehungen. In diese Phase fällt auch das Entstehen der Fotosynthese, was dramatische Auswirkungen auf den weiteren Verlauf der biologischen Entwicklung und die Zusammensetzung der Atmosphäre hatte. Der bei der Fotosynthese freiwerdende Sauerstoff „vergiftete“ einen großen Teil der Organismen. Trotz dieses Massensterbens nahm die Komplexität der Biosphäre danach wieder zu. Als wesentliche Meilensteine der weiteren Entwicklung gelten vor 1,8 Mrd. Jahren das Entstehen von Mikroben mit Zellkern (Eukaryoten) sowie die „Zweigeschlechtlichkeit“ und das Auftreten von mehrzelligen Organismen vor 1,2 Mrd. Jahren.

Die ersten größeren Tiere traten erst vor 0,7 Mrd. Jahren auf. Die Biosphäre wird ab diesem Zeitpunkt als „metazoisch“ bezeichnet. Metazoen sind vielzellige Tiere, die Organe haben und sich als Mehrzeller durch ein Epithel, beispielsweise eine Haut, gegenüber der Außenwelt abgrenzen. Das metazoische Stadium der Biosphäre ist durch komplexe ökologische Wechselwirkungen zwischen mikroskopischen Primärproduzenten und größeren Primär- und Sekundärproduzenten gekennzeichnet. Besonders während der sogenannten „Kambrischen Explosion“ entstanden viele neue Arten. Menschenähnliche Lebewesen tauchen mit den Australopithecinen in der Erdgeschichte erst vor etwa 3 Mio. Jahren auf, die beiden ältesten Arten der Gattung Homo vor rund 2,5 bis 1,5 Mio. Jahren. Den biologisch modernen Menschen gibt es erst seit etwa 300.000 bis 200.000 Jahren. Landwirtschaft betreiben und Städte bauen wir erst seit einigen Jahrtausenden. Die industrielle Produktion, auf die unser hoher Ressourcenverbrauch zurückgeht,

¹²¹Toepfer 2011a, S. 300.

¹²²Williams et al. 2015.

gibt es erst wenige Jahrhunderte, und die in Abschn. 1.2 beschriebene „große Beschleunigung“ des Ressourcenverbrauchs begann erst vor Jahrzehnten.

5.3.3 Systemische Einordnung der Biosphäre

Die Biosphäre, das System des Lebens auf der Erde, ist, betrachtet man sie als Einheit mit der Atmo-, Hydro- und Lithosphäre ist energetisch offen und stofflich nahezu geschlossen. Befände sich das Erdsystem im thermodynamischen Gleichgewicht, gäbe es keine Lebewesen auf der Erde und auch keinen freien Sauerstoff in der Atmosphäre, sondern wahrscheinlich nur CO_2 wie auf dem Mars. Es liegt, wie in Abb. 5.9 dargestellt, kein thermodynamisches Gleichgewicht, sondern ein Fließgleichgewicht vor.

Das in der Abbildung dargestellte Fließgleichgewicht wird durch den Energiefluss von einer Energiequelle, der Sonne, zu einer Energiesenke, dem Weltraum, aufrechterhalten. Die Entropie der Biosphäre bleibt dabei nicht nur konstant, sondern verringert sich sogar durch die zunehmende Komplexität, die bei offenen Systemen, die sich fern vom Gleichgewicht befinden, eintreten kann (Abschn. 5.1.2.2). Mithilfe der Sonnenenergie entstehen komplexe chemische Verbindungen und Strukturen. Befände sich die Erde im thermodynamischen Gleichgewicht, lägen Kohlenstoffverbindungen nicht als Eiweiße, Fette, Kohlehydrate oder Lignin vor, sondern als Methan, CO_2 oder Karbonate. Die entstehende Entropie wird als Wärmestrahlung in den Weltraum exportiert. Da das Erdsystem stofflich nahezu geschlossen ist, ist es immer wieder dieselbe Materie, die an kreislaufartigen Prozessen in der Biosphäre beteiligt ist.¹²³ Zur Erinnerung: Das in Abb. 5.9 dargestellte Konzept des energetisch offenen, aber stofflich geschlossenen Systems Erde ist die Systemgrundlage der Ökologischen Ökonomie. Sie bildet auch den Hintergrund für Kenneth Bouldings Raumschiff-Erde-Analogie und die Idee von einer Circular Economy.

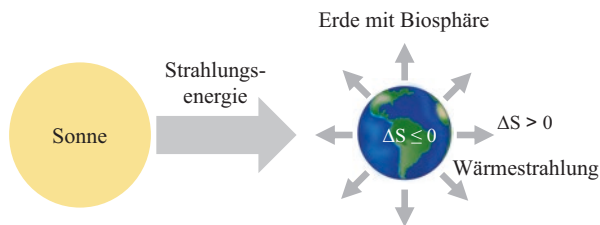


Abb. 5.9 Die Erde mitsamt ihrer Biosphäre tauscht als energetisch offenes System Energie mit der Sonne und dem sie umgebenden Weltraum aus.¹²⁴ (Eigene Darstellung)

¹²³Rosnay 1979, 19 ff.

¹²⁴Rosnay 1979, S. 19.

5.4 Die Technosphäre¹²⁵

Eine verbreitete Auslegung des Naturbegriffs, die wir in Abschn. 4.2 bereits angedeutet haben und auf die wir in Abschn. 5.7 noch eingehen, definiert Natur in Abgrenzung zur menschlichen Kultur. Natur ist in dieser Gegenüberstellung alles, was unabhängig von menschlicher Einflussnahme existiert, und Kultur all das, was von Menschen geschaffen wurde. Aus einer systemischen Perspektive kommt der Natur-Kultur-Dualismus durch die Vorstellung eines von Menschen geprägten Bereichs zum Ausdruck, welcher der Biosphäre gegenübergestellt wird. Je nachdem, ob dabei das soziale Zusammenleben, seine wirtschaftliche Organisation oder die Fähigkeit, Technik zu entwickeln, in den Vordergrund gerückt werden soll, wird die Gesellschaft, das Wirtschaftssystem oder die „Technosphäre“ als Gegenüber der Biosphäre positioniert. Das Technosphärenkonzept, das eng mit der Idee eines von Menschen geprägten neuen Erdzeitalters, dem Anthropozän, verbunden ist, auf das wir in Abschn. 5.7.3 eingehen, vermittelt das Bild einer weltumspannenden Technik. Ihr Gegenbild ist ein von Menschen gänzlich unberührter Planet.¹²⁶ Abb. 5.10 zeigt eine künstlerische Darstellung der Technosphäre bzw. des Anthropozäns der Anthropocene Working Group. Sie ist grundsätzlich an der für die Sphärologie typische Vorstellung einer konzentrischen Hülle orientiert. Diese Hülle ist in der Abbildung als eine den Globus umschließende Plastikfolie dargestellt.

5.4.1 Technik

Die Vorstellung von einer Technosphäre ist mit der Frage verbunden, was Technik eigentlich ist. Der Begriff ist bereits in seiner Herkunft mehrdeutig. Er leitet sich aus dem griechischen Wort „techné“ (τεχνη) ab, das Werkzeuge, Kunstwerke oder das Handwerk bezeichnet.¹²⁷ Eine allgemein gültige Definition für das Wort Technik gibt es jedenfalls nicht. Wenn von ihr die Rede ist, können der Prozess menschlichen Herstellens, die Menge an Werkzeugen, Maschinen und Apparaten oder eine zielgerichtete Vorgehensweise gemeint sein. Manche Autoren deuten beispielsweise den Prozess menschlichen Wirtschaftens als technischen Vorgang¹²⁸ oder „soziale Technologie“¹²⁹, während andere den Technikbegriff nur für Gegenstände und den Prozess zu deren Herstellung gelten lassen¹³⁰. Insgesamt lässt sich feststellen, dass Autorinnen und Autoren, die über Technik nachdenken,

¹²⁵ Abschn. 5.4 enthält überarbeitete Auszüge aus Marzi et al. 2018, 49 ff.

¹²⁶ Schneider 2019, S. 95.

¹²⁷ Kornwachs 2013, S. 18.

¹²⁸ Arthur 2009.

¹²⁹ Martin 2014, Kap. 2.

¹³⁰ Ropohl 2009, S. 29 f.



Abb. 5.10 Technosphäre und Anthropozän in einer Darstellung der Anthropocene Working Group, Bildnachweis: University of Leicester (Ausschnitt), Jonathan Sisson.¹³¹

unterschiedliche Aspekte in den Vordergrund stellen. Je nachdem, welche weltanschaulichen, methodologischen und disziplinären Aspekte eine Rolle spielen, werden der Erfindungsvorgang, die Funktion von Technik, die Folgen einer Technisierung, das Verhältnis zwischen Technik und Natur oder Menschen sowie die Interaktion zwischen Technik und Ökonomie behandelt.¹³² Das hier wiedergegebene Verständnis des Technikbegriffs zeigt deshalb auch nur einen kleinen Ausschnitt möglicher Perspektiven.

Obwohl es bereits in der Antike Überlegungen zum Wesen technischer Prozesse und Werkzeuge gegeben hat, wird erst in Zusammenhang mit den 1877 veröffentlichten Arbeiten von Ernst Kapp von einer Technikphilosophie gesprochen.¹³³ Kapp deutete Technik als „Organprojektion“, weil sie, seinem Verständnis nach, ähnlich wie im Prometheus-Mythos aus Abschn. 1.1, eine unzulängliche natürliche Ausstattung von Menschen verbessert. Arnold Gehlen ergänzte Kapps Konzept um die Begriffe Organentlastung und Organverstärkung.¹³⁴ Kleidung entlastet, weil sie vor Kälte schützt, und ein Hammer verstärkt den menschlichen Arm. Kapps und Gehlens Definitionen sind heute nicht mehr aktuell. Sie scheinen zwar auf viele Anwendungen zu passen, werden aber längst nicht allen technischen Produkten und Prozessen gerecht. Die Funktion

¹³¹ Sisson 2023.

¹³² Eine Übersicht über verschiedene Deutungen des Technikbegriffs geben beispielsweise Hubig et al. 2013; Kornwachs 2013; Nordmann 2016; Richter 2014.

¹³³ Kapp und Maye 2015; Nordmann 2016.

¹³⁴ Ropohl 2009, S. 183.

eines Fernsehers ist weder als Organentlastung noch als Organverstärkung zu verstehen. Günter Ropohl unterschied deshalb noch zwischen der „Substitution“ und „Komplementation“ menschlicher Leistungen.¹³⁵ Eine Substitution liegt dann vor, wenn Fähigkeiten oder das Handeln von Menschen durch ein technisches System ersetzt oder verbessert werden; von Komplementation spricht man, wenn es eine Funktion übernimmt, die bei Menschen nicht angelegt ist. Geht Technik also über die Natur hinaus, indem sie etwas herstellt, was keine Natur mehr ist?

5.4.2 Unterschiede zwischen Natur und Technik

Aus einer naturwissenschaftlichen Perspektive sind technische Prozesse, zumindest grundsätzlich, mit natürlichen Prozessen vergleichbar. In beiden wirken dieselben Naturgesetze. Diese werden in technischen Prozessen nicht außer Kraft gesetzt, sondern lediglich von Menschen, die selbst Teil der Natur sind, angewendet. Auch das Material, aus dem Werkzeuge und Maschinen hergestellt werden, oder die Stoffe, die sie verarbeiten, haben ihren Ursprung in der Natur. Das gilt sogar für die eingangs von Abschn. 4.1 bereits angesprochene Plastiktüte. Der Kunststoff, aus dem sie besteht, wird aus Erdöl hergestellt, das wiederum in geologischen Prozessen aus abgestorbenem Plankton entstanden ist. Aus dieser Sicht ist die Plastiktüte nur eine von Natur aus vorhandene andere Existenzform für Biomasse oder Plankton. Eine ähnliche Auffassung hätte wohl Aristoteles vertreten. Für ihn sind in technisch hergestellten Dingen lediglich in der Natur bereits angelegte Möglichkeiten vollendet, die von sich aus nicht zur Entfaltung kommen (Zitat 5.17). Marmor beispielsweise, der aktuell noch als Marmorblock vorliegt, kann für Aristoteles potenziell auch eine Skulptur sein.¹³⁶

Zitat 5.17: Aristoteles (1881–1942)



„Allgemein gesprochen, die Kunstfertigkeit bringt teils zur Vollendung, was die Natur nicht zu Ende bringen kann, teils eifert sie ihr (der Natur) nach.“¹³⁷

Auch wenn die genannten Argumente auf den ersten Blick für die Natürlichkeit von Technik zu sprechen scheinen, möchten wir uns dieser Ansicht nicht anschließen. Technische Produkte und Verfahren existieren, anders als in der Natur vorgefundene Steine oder Lebewesen, nicht von selbst, sondern sind „aufgrund

¹³⁵Ropohl 2009, S. 184 ff.

¹³⁶Craemer-Ruegenberg 1989, S. 52; Anzenbacher 2010, S. 66 f.; Nordmann 2016; Gloy 1995, S. 127.

¹³⁷Aristoteles 1987, Physik II, 199a 15–17.

anderer Ursachen da¹³⁸. Sie beruhen zwar auf natürlichen Phänomenen, die sich mithilfe von Naturgesetzen beschreiben lassen, die Prozessabfolge würde von selbst aber anders verlaufen. Die einzelnen Prozesse sind natürlich, die Prozessabfolge ist es aber nicht. Sie ist technisch bzw. künstlich. Zusammenfassend lässt sich somit formulieren, dass Menschen Naturprozesse „arrangieren“, um Ziele zu erreichen.¹³⁹ Dabei verknüpfen sie einen Bedarf mit einem Naturphänomen. Heizungen und Öfen sind nicht von selbst in die Welt gekommen, sondern weil der Bedarf nach einem warmen Zimmer mit Phänomenen, bei denen Wärme entsteht, verbunden wurde. Diese Verbindung ist ein kreativer Akt, an dessen Ende eine Innovation steht.¹⁴⁰

In technischen Prozessen entwickelt sich die Welt anders, als es von sich aus geschehen würde. Spätere Technikdeutungen wie die von Gehlen und José Ortega y Gasset bewerten Technik deshalb anders als Aristoteles. Für Gehlen entsteht durch technische Produkte eine „passend gemachte Ersatzwelt“¹⁴¹. Die vorhandene Natur wird dabei zu etwas Neuem umgeformt. Ortega y Gasset bezeichnet das, was durch Technik entsteht, deshalb als „neue, übergeordnete Natur“ (Zitat 5.18). Menschen verändern allerdings durch Technik nicht nur die Natur, sondern sie setzen auch sich selbst in ein neues Verhältnis zu ihrer Umgebung.

Zitat 5.18: José Ortega y Gasset (1883–1955)



Technik ist ein „tatkraftiges Einwirken auf Natur oder Umwelt, die den Menschen dazu bringt, zwischen ihr und sich eine neue, ihr übergeordnete Natur zu schaffen.“¹⁴²

5.4.3 Technik, Menschen, Wirtschaft und Gesellschaft

Lässt sich nun, nachdem wir im vorangehenden Kapitel das Verhältnis zwischen Natur und Technik untersucht haben, die eingangs gestellte Frage nach dem Wesen der Technik beantworten? Technik wäre demnach die menschliche Fähigkeit, Naturphänomene zu ordnen, um sie für bestimmte Zwecke zu nutzen. Diese Definition ist sicherlich nicht falsch, lässt aber außer Acht, dass der Technikbegriff nicht auf den Erfindungsvorgang reduziert werden kann. Technische Geräte sind keine isolierten Objekte, sondern, wie u. a. Ropohl in seiner „Systemtheorie der

¹³⁸ Schiemann 1996b, S. 69.

¹³⁹ Zoglauer 1994, S. 22 f.

¹⁴⁰ Arthur 2009.

¹⁴¹ Kornwachs 2013, Kap. 5 zitiert Gehlen 1961, S. 48.

¹⁴² Poser und Karafyllis 2013, S. 296 zitieren Ortega y Gasset 1978, S. 14.

Technik“¹⁴³ gezeigt hat, in einen systemisch beschreibbaren Zusammenhang eingebunden. Sie stehen nicht für sich, sondern interagieren mit technischen und organisatorischen Subsystemen.¹⁴⁴

Technische Subsysteme sind Technologien, ohne die die Erfindung oder der Betrieb eines technischen Gerätes nicht möglich wäre. Die Kraftfahrzeugtechnik ist beispielsweise für die Reifen auf das Subsystem Kunststofftechnik und für die Steuerung auf die Elektrotechnik angewiesen. Darüber hinaus sind Kraftfahrzeuge in ein Verkehrssystem eingebettet, das sowohl technische als auch organisatorische Subsysteme beinhaltet. Zu nennen sind Straßen, Tankstellen, Raffinerien, Handelsabkommen, Öltanker, Pipelines, Automobilclubs, Werkstätten, Steuersysteme, Versicherungen, Verkehrsregeln usw.¹⁴⁵ Die Anwendung des technischen Produkts Auto setzt die Existenz technischer und organisatorischer Subsysteme voraus, die ihrerseits wieder davon abhängen, dass es Kraftfahrzeuge gibt. Laut Ropohl erzeugen technische Gegenstände ein „soziotechnisches Handlungssystem“¹⁴⁶ (Zitat 5.19).

Zitat 5.19: Günter Ropohl (1939–2017)



„Die Technik führt kein isoliertes Eigenleben, sondern sie hat immer bestimmte Folgen für das natürliche Ökosystem und die menschlichen Lebensformen. Jede Erfindung ist eine Intervention [...] in Natur und Gesellschaft“¹⁴⁷

Besonders von Interesse ist in diesem Zusammenhang die Interaktion zwischen Wirtschaft und Technik, die sich spätestens seit der industriellen Revolution nicht mehr voneinander trennen lassen. Zwischen ihnen besteht eine iterative Beziehung, in der sich wirtschaftliche Gewinne und die Entwicklung neuer Technologien gegenseitig verstärken (Zitat 5.20). Technische Produkte werden größtenteils nur deshalb hergestellt, weil sie sich wirtschaftlich verwerten lassen,¹⁴⁸ während Wirtschaft auf technische Innovationen angewiesen ist. Technik, Menschen, Wirtschaft und Gesellschaft beeinflussen sich wechselseitig.

¹⁴³Ropohl 2009.

¹⁴⁴Ropohl 2009, S. 71 ff.

¹⁴⁶Der Technikphilosoph Klaus Kornwachs, von dem die Beispiele stammen, verwendet hierfür den Ausdruck „organisatorische Hülle“, Kornwachs 2013, Kap. 3.

¹⁴⁶Ropohl 2009, 59, S. 166 ff.

¹⁴⁷Ropohl 2009, S. 44.

¹⁴⁸Ropohl 2009, S. 39 ff.

Zitat 5.20: Karl Marx (1818–1883)



„Mit der Akkumulation des Kapitals entwickelt sich die spezifisch kapitalistische Produktionsweise und mit der spezifisch kapitalistischen Produktionsweise die Akkumulation des Kapitals.“¹⁴⁹

5.4.4 Hat Technik ein Eigenleben?

Ein gutes Leben ohne Technik ist für uns nicht mehr vorstellbar. Technische Geräte verschaffen uns Freiheiten, helfen, uns mit dem zu versorgen, was wir benötigen, und schützen uns vor der Natur. Mit ihrer Hilfe können wir unsere Umgebung so gestalten, wie wir das möchten. Mit Technik verändern wir jedoch nicht nur die Welt, die Geräte, die wir geschaffen haben und das, was wir mit ihnen tun, bleiben auch nicht ohne Auswirkungen auf uns selbst. Sie sind nicht mehr wegzudenken und gewissermaßen zu einem Teil unserer „natürlichen“ Umgebung geworden. Wir wohnen in künstlich errichteten Gebäuden, bereiten Kaffee maschinell zu, lesen auf einem Tablet die Tageszeitung und fahren mit dem Auto oder öffentlichen Verkehrsmitteln zur Arbeit. Wir kommunizieren mit verschiedenen Formen künstlicher Intelligenz und bemerken immer weniger, dass wir nicht mit einem Menschen sprechen. Was wir auf einem Bildschirm sehen, ist für uns Realität. Nicht zuletzt die intensive Nutzung des Smartphones zeigt, wie technische Geräte unser Sozialverhalten beeinflussen. Unter Umständen kann Technik heute auch zu einem unmittelbaren Teil von uns selbst werden. Eine direkte Wechselwirkung elektronischer Bauteile mit dem Gehirn ist bereits möglich: Cochlea-Implantate werden bei Gehörlosen in das Innenohr eingesetzt, um den Hörnerv zu stimulieren, und bei der „tiefen Hirnstimulation (THS)“ sollen Elektroden im Gehirn die Symptome der Parkinsonkrankheit durch elektrische Impulse mildern. Erforscht werden auch Gehirn-Computer-Schnittstellen zur Steuerung von Prothesen.¹⁵⁰

Das Technik aus dem Leben von Menschen nicht mehr wegzudenken ist, kann, mit Blick auf ihre Omnipräsenz, noch eine Untertreibung genannt werden. Für den Technikphilosophen Langdon Winner verlieren Geräte ihren Werkzeugcharakter, je mehr sie in die Textur des täglichen Lebens eingewoben sind. Sie werden hierdurch zu einem unmittelbaren Teil des Menschseins.¹⁵¹ Auch Gehlen wies 1965, ohne dass er die Potenziale heutiger KI-Anwendungen und Möglichkeiten elektronischer Schnittstellen zum Gehirn kannte, darauf hin, dass technische Produkte inzwischen zum biologischen Leben von Menschen gehören. In Zitat 5.21 vergleicht

¹⁴⁹Ropohl 2013, S. 280 zitiert Marx 1867

¹⁵⁰Clausen 2015.

¹⁵¹ „Part of our very humanity“. Winner 2001, S. 12.

er sie metaphorisch mit Schalentieren, deren Schale ein Teil ihrer selbst ist. Bei Menschen ist sie, so Gehlen, aus den sie umgebenden technischen Geräten entstanden.

Zitat 5.21: Arnold Gehlen (1904–1976)



„So gesehen ist es nicht übertrieben [...] zu sagen, dass die Apparate, die wir einst frei handhabten, nunmehr anfangen, so zu unserem biologischen Leben zu gehören, dass es ist, als gehöre die menschliche Spezies nicht mehr zur Gattung der Säugetiere, sondern beginne sich in eine Art Schalentier zu verwandeln.“¹⁵²

Da technische Geräte immer intensiver mit unserem Leben und uns selbst verbunden sind, stellt sich nicht zu Unrecht die Frage, wie kontrollierbar Technik eigentlich noch ist. Ist sie immer noch eine menschliche Fähigkeit, oder hat sie sich zu einer eigenständigen Macht entwickelt, die von Menschen nicht mehr beeinflussbar ist. Diese Frage wird unterschiedlich beantwortet. Ropohl beispielsweise gesteht der Technik kein isoliertes Eigenleben zu. Sie hat für ihn keine „innere Eigengesetzlichkeit“, die Menschen zu „willenlosen Spielbällen“ ihrer eigenen Konstrukte macht. Technik ist und bleibt für ihn „Menschenwerk“. Ropohl betont, dass es letztendlich immer Menschen und Organisationen sind, die entscheiden, was entwickelt und verwendet wird.¹⁵³

Ob seine Argumente ihre Gültigkeit behalten, wenn zukünftig selbstlernende Maschinen ihre Nachfolger konzipieren, ist aus unserer Sicht jedoch mehr als fraglich. Es braucht aber nicht unbedingt digitale Technologien, um die Kontrollierbarkeit von Technik infrage zu stellen. Dass sie eine Eigendynamik entwickeln und sich dem menschlichen Zugriff entziehen kann, wurde bereits im 20. Jahrhundert intensiv diskutiert. Relativ moderat fällt der Hinweis auf das eigendynamische Potenzial der Technik noch bei Joseph Alois Schumpeter aus. Der Ökonom schreibt in seiner 1939 erschienenen Schrift über Konjunkturzyklen, dass alles, was technisch möglich ist und zu einer Verbesserung führt, auch umgesetzt wird¹⁵⁴. Deutlicher als Schumpeter wird der Philosoph Günther Anders in einer seiner technikkritischen Abhandlungen. Menschen sind für ihn ihrer eigenen Technik nicht mehr gewachsen.¹⁵⁵ Laut Anders vergleichen sie sich mit Anforderungen, die durch Maschinen an sie gestellt werden. Diesen werden sie je-

¹⁵² Nordmann 2016, S. 90 zitiert Gehlen 1965, S. 113.

¹⁵³ Ropohl 2009, S. 43, Ropohl 2009, S. 181.

¹⁵⁴ „Jede technologische Verbesserung, die objektiv möglich wird,“ hat „die Tendenz in die Wirklichkeit umgesetzt zu werden“ Poser 2013, S. 356 zitiert Schumpeter 1961, S. 117.

¹⁵⁵ Im ersten Band seiner 1956 erschienenen Technikkritik „Die Antiquiertheit des Menschen“ schreibt Anders einleitend, „dass wir der Perfektion unserer Produkte nicht gewachsen sind. Anders 2018a, „Zum Buch“.

doch nicht gerecht, sodass ihnen nichts anderes übrigbleibt, als sich selbst zu optimieren.¹⁵⁶ Für Anders erfinden Menschen Technik nicht nur, um von ihnen gesetzte Zwecke zu erfüllen. Er sieht sie vielmehr in einer Doppelrolle als „homo creator“ und „homo materia“. Menschen wirken als „homo creator“, wenn sie etwas erfinden, wenn Technik auf sie selbst angewendet wird, sind sie dagegen „homo materia“. Mit Blick auf die Gentechnik warnt Anders, „dass der Mensch [...] sich selbst in Rohstoff [...] verwandeln kann.“¹⁵⁷ Ähnlich argumentiert in Zitat 5.22 der Theologe und Philosoph Paul Tillich.

Zitat 5.22: Paul Tillich (1886–1965)



„Die Technik dient dem Menschen, sie ist ihm unterworfen. Seine Zwecksetzung wird allen Dingen auferlegt. Um dieses Zweckes willen werden die übrigen Wesen ihrem Eigenzweck entfremdet, sie werden entmächtigt, um eine neue Macht im Dienst des Menschen zu erhalten: der Baum wird zum Holz, das Tier zur Arbeitskraft, [...] das Eisen zur Maschine. Und, was die eigentliche Paradoxie ist, der Mensch selbst kann zu dem werden, wozu er Dinge zwingt: zum Werkzeug, zur Maschine, zur Arbeitskraft. Er kann wie die Dinge entmächtigt werden, um in die neue Macht des technischen Gebildes als Glied eingefügt zu werden. [...] Aber freilich: es ist eine fremde Macht über die Technik gekommen. Die Technik mit ihren unbegrenzten Möglichkeiten war die Versuchung. Die Entscheidung aber gab die Wirtschaft und ihre Zwecksetzung. [...] Immer neue Bedürfnisse erzwingt die Wirtschaft, selbst gezwungen durch die Gesetze ihrer frei gewordenen Natur [...]“¹⁵⁸

Was Tillich hier mit drastischen Worten beschreibt, ist nichts anderes als die Technisierung bzw. Ökonomisierung der Natur, die schon Rousseau etwa 150 Jahre vor ihm benannt hatte (Zitat 1.5, Abschn. 1.4). In der Sprache Tillichs werden Lebewesen und anderes durch Technik von der Natur „entfremdet“ und in ihrem Dasein „entmächtigt“. Indem sie einem technisch-ökonomischen Zweck untergeordnet werden, wird ihnen die Möglichkeit genommen, ihrem „Eigenzweck“ gemäß zu existieren. Sie existieren dann nicht so, wie es ihrer inneren Natur entspricht, sondern wie es ihnen ein externer Zweck vorschreibt. Wie für Rousseau werden für Tillich aber nicht nur Pflanzen, Tiere und andere Naturgegenstände von ihrem Eigenzweck entfremdet. Auch Menschen können, wie das in Abb. 5.11 gezeigte Beispiel zeigt, zu Elementen eines technischen Systems werden. Dargestellt ist der Prozess der Glasherstellung um 1910. Das erste Bild zeigt die automatische Her-

¹⁵⁶ Anders 2018a, S. 11.

¹⁵⁷ Anders 2018b, Kap. 1, § 5.

¹⁵⁸ Tillich 1961b, S. 80 f.

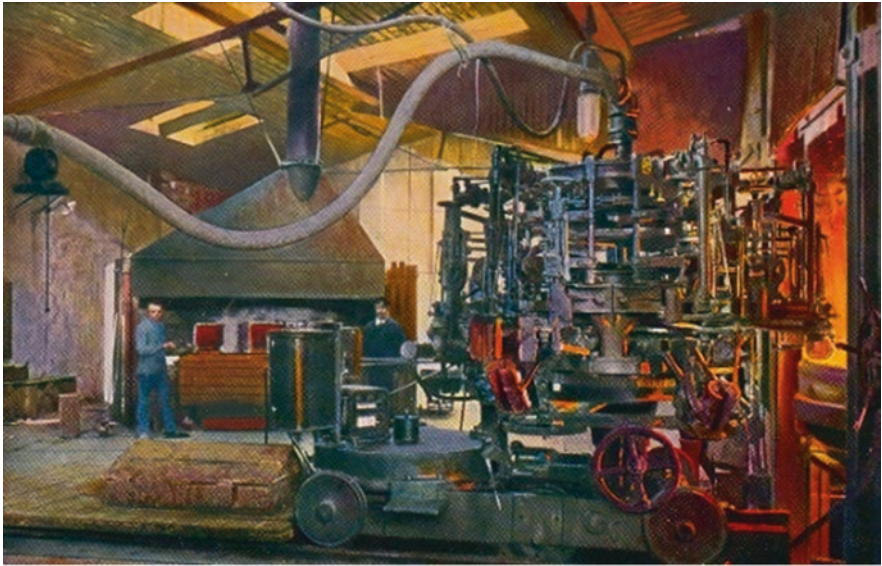


Abb. 5.11 Postkartenmotive für die Glasherstellung (unbekannte Künstler, ca. 1910).¹⁵⁹

stellung von Flaschen mit einer „Siemens-Owens-Maschine“. Sie wird von Personen, die sich im Hintergrund aufhalten, überwacht. Menschen „beherrschen“ hier die Maschine. Das zweite Bild zeigt als Kontrast einen „Wannenofenbetrieb“,

¹⁵⁹ Die Bilder wurden freundlicherweise von Dieter Neumann zur Verfügung gestellt.

bei dem die Arbeiter selbst ein Teil der maschinellen Produktion sind. Sie wurden, um Tillichs Worte zu wählen, als „Glied“ in ein „technisches Gebilde“ eingefügt und dienen einem Zweck, der ihnen von anderen aus wirtschaftlichen Gründen auferlegt wurde. Das technisch-ökonomische System hat also mindestens zwei Seiten: Es kann frei machen und neue Möglichkeiten eröffnen, es kann aber auch Menschen und anderen Lebewesen eine neue Existenzweise in Diensten ökonomischer Zwecke zuweisen.

5.4.5 Gibt es eine eigene Sphäre für die Technik?

Heute hat die Vorstellung von einem eigenständigen, nicht oder zumindest kaum kontrollierbaren technischen Bereich ihren Niederschlag im Konzept der Technosphäre gefunden. Der Begriff weist der Technik und ihrer ökonomischen Anwendung eine eigene Sphäre zu und stellt sie so neben die anderen Sphären der Erde.¹⁶⁰ Die Technosphäre entsteht durch Ausbreitung von Technik und „überformt“ die Biosphäre.¹⁶¹ Vorstellen können wir uns die Technosphäre, analog zur Definition der Biosphäre (Abschn. 5.3), sowohl als Raum, in dem technische Geräte vorkommen, als auch als globales technisches System. Beide Interpretationen schließen sich nicht aus, da ein System, das aus realen Elementen besteht, auch eine räumliche Ausdehnung hat.

Fassen wir die Technosphäre als räumliches Areal auf, reicht sie von den tiefsten Bohrungen in 12.000 m Tiefe bis zu den Bereichen, in die Raumsonden vorgedrungen sind. Orientieren wir uns an der Verbreitung künstlich hergestellter Stoffe, ist die gesamte Erdoberfläche inzwischen ein Teil der Technosphäre.¹⁶² Neben der räumlichen Ausdehnung wurde auch versucht, die Masse der Technosphäre zu bestimmen. Sie beträgt nach Angaben aus 2017 etwa 30 Billionen Tonnen.¹⁶³

Verstehen wir die Technosphäre als System, ist sie ein weltumspannendes Wirkungsfeld.¹⁶⁴ Für den Geologen Peter Haff beschreibt der Begriff Technosphäre das weltumspannende System aller künstlichen Subsysteme und Gegenstände. Hierzu gehören Städte, Fabriken, die Landwirtschaft, die Energie- und Rohstoffgewinnung, Energieübertragungseinrichtungen, sämtliche Kommunikation, jedweder Transport, Finanzmärkte, Regierungen usw. sowie Geräte, künstliche Gegenstände und Materialien, die in diesen Bereichen verwendet werden.¹⁶⁵

¹⁶⁰ Schneider 2019, S. 95 f.

¹⁶¹ Schneider 2019, S. 98.

¹⁶² Schneider 2019, S. 99.

¹⁶³ Karafyllis 2019.

¹⁶⁴ Klingan und Rosol 2019.

¹⁶⁵ Klingan und Rosol 2019.

Sie wachsen mit zunehmender Dynamik zu einer zusammenhängenden technischen Struktur, der Technosphäre, zusammen, die, einer gängigen Vorstellung nach, als eine Art „zweite Natur“ aus der Biosphäre hervorgeht.¹⁶⁶ Menschen sind für Haff Teil der Technosphäre, die, im Moment jedenfalls noch, auf ihre Mitwirkung angewiesen ist.¹⁶⁷ Dabei nehmen die Steuerungsmöglichkeiten von Menschen ab und die der Technosphäre zu. Nach Ansicht Haffs sind die Menschen inzwischen ebenso von der Technosphäre wie von der Biosphäre abhängig.¹⁶⁸

Neben Technosphäre sind auch noch die Bezeichnungen „Noosphäre“ und „Ergosphäre“ im Gebrauch. Der Begriff Noosphäre geht auf Teilhard und Vernadskij zurück und bezeichnet, ähnlich wie die Technosphäre, ein System, das Menschen aus der Biosphäre herstellen. Anders als im Technosphärenkonzept jedoch, das auf die Interaktion technischer Gegenstände abgestellt ist, betont der Begriff die Verbindung zur Biosphäre und steht für den Wirkungsbereich des menschlichen Geistes.¹⁶⁹ Auch der vom griechischen Wort „ergon“ für Arbeit abgeleitete Begriff „Ergosphäre“ steht für den Bereich menschlichen Wirkens. Die Bezeichnung soll aber, mehr als der Technosphärenbegriff, auf Gestaltungsspielräume durch menschliche Arbeit hinweisen.¹⁷⁰

Technik und Wirtschaft sind jedenfalls keine getrennten Bereiche, sondern vielfältig miteinander verwoben. Der Begriff Technosphäre adressiert deshalb auch keine ausschließlich technische Perspektive, sondern bezieht sich auf die ökonomische Anwendung von Technik. Wirtschaftliche Entwicklung und technische Neuerungen bedingen sich gegenseitig.

5.5 Das Wirtschaftssystem

Nach einer Definition der Bundeszentrale für politische Bildung umfasst der Begriff Wirtschaft „die Gesamtheit aller Einrichtungen wie Unternehmen, private und öffentliche Haushalte“ sowie die „Abläufe [...], die mit der Herstellung und dem Verbrauch von Gütern verbunden sind“¹⁷¹. Aus Sicht der ökonomischen Wissenschaft ist die Wirtschaft ein komplexes System, in dem verschiedene Akteure auf Märkten interagieren.¹⁷² Insbesondere die „neoklassische Theorie“, die aufgrund ihrer Verbreitung in den Wirtschaftswissenschaften, häufig auch als

¹⁶⁶Schneider 2019, S. 95.

¹⁶⁷Haff und Renn 2019.

¹⁶⁸Schneider 2019, S. 102.

¹⁶⁹Schneider 2019, S. 100 f.

¹⁷⁰Haff und Renn 2019.

¹⁷¹Duden 2016e.

¹⁷²Duden 2016d.

„Standardökonomik“ bezeichnet wird, arbeitet mit mathematischen Modellen, in denen die Wirtschaft als System von Märkten dargestellt wird.¹⁷³

5.5.1 Die neoklassische Perspektive

Die Neoklassik entstand im 19. Jahrhundert, als sie die Wirtschaftsmodelle der „klassischen Nationalökonomie“ ablöste. Ihre Paradigmen bestehen in den Annahmen, dass sich Märkte selbst regulieren und Akteure ökonomisch rational handeln. Nach der Weltwirtschaftskrise der 1920er-Jahre, mit ihren sozialen und ökonomischen Verwerfungen, stand die Neoklassik zunehmend in Konkurrenz zu dem auf John Maynard Keynes zurückgehenden „Keynesianismus“. Dieser setzt im Gegensatz zur Neoklassik nicht auf vollkommen freie Märkte, sondern auch auf deren Regulierung. Ab den 1970er-Jahren wurde die neoklassische Ökonomie wieder bedeutender. Handelsbeschränkungen wurden zunehmend abgebaut und Finanzmärkte dereguliert. Heute spielen in der Wirtschaftspolitik sowohl neoklassische als auch keynesianische Instrumente eine Rolle.¹⁷⁴

Volkswirtschaftliche Zusammenhänge werden in der neoklassischen Wirtschaftstheorie wie in Abb. 5.12 oft mithilfe eines Kreislaufschemas beschrieben und als geschlossenes System dargestellt. Der dort gezeigte „einfache Wirtschaftskreislauf“ beschreibt eine geschlossene Volkswirtschaft, deren Akteure als Unternehmen und Haushalte zu Gruppen zusammengefasst werden.

Im abgebildeten Modell des einfachen Wirtschaftskreislaufs stellen Unternehmen Konsumgüter her, und die Haushalte kaufen sie bei ihnen. Im Gegenzug erwerben die Unternehmen bei den Haushalten die von ihnen benötigten, „Produktionsfaktoren“ in Form von Arbeitsleistung, Kapital und Boden. Wie der Begriff bereits anzeigt, bildet der „einfache“ Wirtschaftskreislauf das Wirtschaftssystem extrem vereinfachend ab und lässt viele Aspekte unberücksichtigt. Das Modell setzt beispielsweise voraus, dass die Haushalte ihre Einkommen vollständig für Waren und Dienstleistungen ausgeben und keine Ersparnisse bilden. Komplexere Darstellungen, die auch als „erweiterter Wirtschaftskreislauf“ bezeichnet werden, berücksichtigen deshalb auch die ökonomischen Funktionen des Finanzwesens und Staates.¹⁷⁵

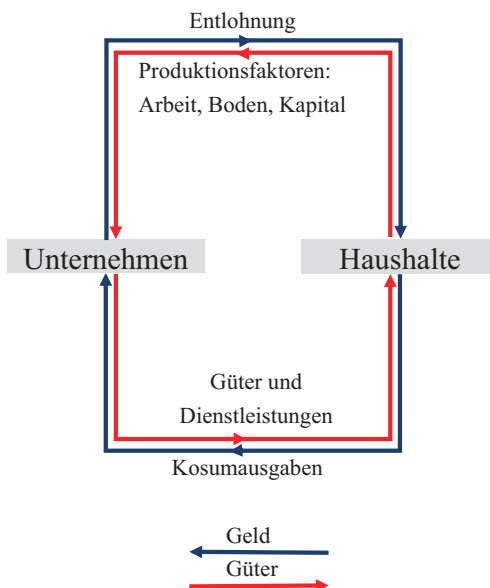
Wichtige Systemelemente und Größen sind in der neoklassischen Theorie Märkte und Marktpreise. Sie sorgen für ein Gleichgewicht aus Angebot und Nachfrage, das sowohl Waren und Dienstleistungen als auch die Produktionsfaktoren betrifft. Wird die Nachfrage geringer, sinken Preis und Angebot. Kleinere Preise führen aber, zumindest in der Theorie, wieder zu mehr Nachfrage und damit wieder zu steigenden Preisen und einem größer werdenden Angebot. Diese Iteration

¹⁷³Ott 2019, S. 764; Duden 2016c.

¹⁷⁴Van Treeck 2017.

¹⁷⁵Duden 2016f, 2016a, 2016b.

Abb. 5.12 Einfacher Wirtschaftskreislauf.¹⁷⁶
(Eigene Darstellung in Anlehnung an Daly (2002, S. 5); Wikipedia (2006))



erfolgt so lange, bis ein stabiles Gleichgewicht aus Angebot und Nachfrage vorliegt. Das Marktgeschehen ist im Modell des vereinfachten Wirtschaftskreislaufs ein rückgekoppeltes, sich selbst regulierendes kybernetisches System.¹⁷⁷

Eine wichtige Funktion in der neoklassischen Theorie hat der technische Fortschritt. Er erhöht die Produktivität von Arbeit und Kapital und ermöglicht es, dieselbe Warenmenge mit geringerem Aufwand herzustellen oder mit demselben Aufwand mehr Waren zu produzieren. Im ersten Fall bleibt das Wirtschaftsvolumen gleich, im zweiten Fall wächst die Wirtschaft. Wenn das System nicht wächst, wird immer weniger Arbeit zur Herstellung derselben Warenmenge benötigt, und es kommt zu einer Abwärtsspirale aus geringer werdenden Möglichkeiten der Bedürfnisbefriedigung, sinkender Nachfrage und geringer werdenden Angeboten. Diese Abwärtsbewegung wird im neoklassischen Modell durch Wachstum vermieden. Der auf technischen Fortschritt zurückgehende Effizienzgewinn senkt den Preis, begünstigt die Nachfrage und ermöglicht größeren Konsum, sodass sowohl mehr als auch neue Waren auf den Markt kommen. Den Haushalten erschließen sich hierdurch nicht nur weitere Konsummöglichkeiten, sondern auch neue Einkommensquellen. Innovationsgeschwindigkeit und Wirtschaftswachstum hängen in der neoklassischen Theorie zusammen. Das System muss hier wachsen, damit es nicht kollabiert.¹⁷⁸

¹⁷⁶ Grafik in Anlehnung an Daly 2002, S. 5; Wikipedia 2006.

¹⁷⁷ Cleveland 1999.

¹⁷⁸ Leipprand und Moore 2012, S. 186 f.

Der einfache Wirtschaftskreislauf bildet ein geschlossenes System ab, dessen Prozesse scheinbar endlos wiederholbar sind.¹⁷⁹ Das Modell aus Abb. 5.12 enthält mit dem Güter- und Geldkreislauf zwei miteinander gekoppelte, in ihrer Fließrichtung entgegengesetzte Kreisprozesse. Der Güterkreislauf umfasst alle Waren und Dienstleistungen sowie die Produktionsfaktoren Arbeit, Boden und Kapital. Der Geldkreislauf enthält alle Einnahmen und Ausgaben von Haushalten und Unternehmen (Zitat 5.23). Geld ist jedoch etwas völlig anderes als Waren. Es existiert nicht im physikalischen Sinne, sondern ist eine abstrakte Größe, die wie ein übertragbarer, allgemein akzeptierter Schuldschein funktioniert.¹⁸⁰ Geld macht Waren vergleichbar, indem es sie quantitativ bemisst und mit einem Tauschwert versieht. Es macht Äpfel mit Birnen vergleichbar.

Zitat 5.23: Herman E. Daly (1938–2022)



„Die Grundannahme der Standardökonomie besteht darin, dass die Wirtschaft ein isoliertes System ist: ein Kreislauf von Tauschwerten, die zwischen Unternehmen und Haushalten entstehen.“¹⁸¹

Anders als in Abb. 5.12 dargestellt, ist der einfache Wirtschaftskreislauf als Ganzes nicht geschlossen. Geschlossen ist allenfalls der Geldkreislauf, nicht aber der physikalische Fluss aus Materie und Energie. In Abb. 5.13 ist der einfache Wirtschaftskreislauf aus Abb. 5.12 um diesen linearen Prozess ergänzt. Das Wirtschaftssystem ist somit in Wirklichkeit ökonomisch geschlossen und physikalisch offen. Es entnimmt Ressourcen aus seiner Umgebung und gibt Emissionen bzw. Abfälle an sie ab.¹⁸² Dieser Stoff- und Energieaustausch findet in der neoklassischen Theorie, die im Wesentlichen auf das Wechselspiel zwischen Arbeit und Kapital fokussiert ist, keine Berücksichtigung. Die Neoklassik modelliert die Wirtschaft als von der Natur bzw. Umwelt unabhängigen Bereich. Das Modell kann allerdings nur aufrechterhalten werden, wenn die Einwirkungen der Ökonomie auf die Ökologie der Erde vernachlässigbar sind, was inzwischen nicht mehr der Fall ist.

¹⁷⁹Duden 2016 f., 2016a, 2016b; Bonaiuti 2011, S. 53.

¹⁸⁰Martin 2014, Kap. 1.

¹⁸¹Daly 2002, S. 4.

¹⁸²Cleveland 1999.

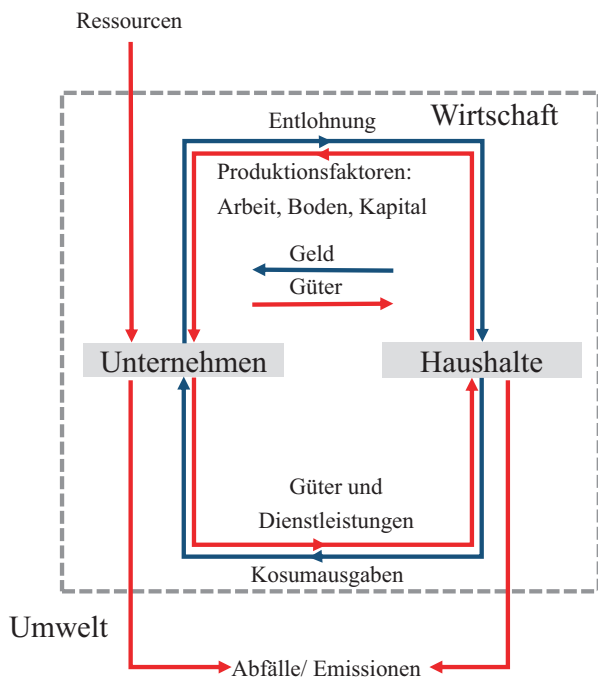


Abb. 5.13 Wirtschaftskreislauf mit eingefügtem linearem Ressourcenverbrauch. (Eigene Darstellung)

5.5.2 Die Perspektiven von Umweltökonomie und Ökologischer Ökonomie

Da die begrenzte Verfügbarkeit natürlicher Ressourcen und die limitierte Aufnahmefähigkeit der Umwelt, wie bereits in Abschn. 2.1 vermerkt, in konventionellen neoklassischen Wirtschaftsmodellen nicht berücksichtigt wird, versuchen die Umweltökonomie und Ökologische Ökonomie, dieses Defizit zu beheben. Beide verfolgen, obwohl es Überschneidungen zwischen ihnen gibt und es zu Vermischungen kommt,¹⁸³ vom Grundsatz her unterschiedliche Ansätze. Diese Unterschiede sind in Tab. 5.2 zusammengefasst und werden nachfolgend beschrieben.

Während ökonomische Prozesse in der Ökologischen Ökonomie mithilfe physikalischer Größen beschrieben werden, versucht die Umweltökonomie Umweltschäden zu monetarisieren bzw. ökonomisch zu bewerten. Der „Verbrauch“ von Umwelt soll so mit dem Wert von Waren oder den Kosten anderer Produktions-

¹⁸³Bühler 2016, S. 16 f. zitiert Eser et al. 2001, S. 60.

Tab. 5.2 Vergleich zwischen Umweltökonomie und Ökologischer Ökonomie¹⁸⁴

Typ	Umweltökonomie	Ökologische Ökonomie
Natur	Wird berücksichtigt	
	Als <ul style="list-style-type: none"> • Ressource, • Schadstoffempfänger • öffentliches Gut 	Als <ul style="list-style-type: none"> • begrenzende Instanz
Wert von Natur	<ul style="list-style-type: none"> • Als Tauschwert berechenbar • wird im ökonomischen Prozess berücksichtigt („internalisiert“) 	<ul style="list-style-type: none"> • Korrekte Preisbildung nicht möglich • nicht monetarisierbar
Mensch-Natur-Beziehung	<ul style="list-style-type: none"> • Natur ist Objekt menschlicher Handlungen 	<ul style="list-style-type: none"> • Menschliches Wirtschaften ist in die materiell geschlossene Biosphäre eingebunden • Wirtschaft Subsystem der Biosphäre
Denkweise	<ul style="list-style-type: none"> • Ökonomisch: Ökonomie setzt Rahmenbedingungen für die Naturnutzung 	<ul style="list-style-type: none"> • Ökologisch: Natur setzt Rahmenbedingungen für die Ökonomie
Indikatoren	<ul style="list-style-type: none"> • Tauschwerte (Geld) 	<ul style="list-style-type: none"> • Physikalische und biologische
Wirtschaftswachstum	<ul style="list-style-type: none"> • Notwendig und möglich 	<ul style="list-style-type: none"> • Auf Dauer nicht möglich
Substituierbarkeit	<ul style="list-style-type: none"> • Technischer Fortschritt kann Ressourcenknappheit überwinden • Neue Technologien können Leistungen des Öko-Systems substituieren 	<ul style="list-style-type: none"> • Nicht gegeben • Naturkapital muss erhalten werden

faktoren vergleichbar gemacht werden.¹⁸⁵ Die Bepreisung der Umwelt beruht dabei auf dem Gedanken, dass Umwelteffekte in der bisherigen Praxis nicht als Kosten in der Bilanz von Unternehmen anfallen. Für die Gesellschaft stellen sie aber einen Verlust dar. Die damit verbundenen Kosten werden als „externe Kosten“ bezeichnet, weil sie nicht von den Verursachenden selbst getragen werden und außerhalb der Unternehmen anfallen. In der Umweltökonomie geht es darum, diese externen Kosten zu „internen Kosten“ der verantwortlichen Akteure zu machen, damit sie in deren Entscheidungsprozessen berücksichtigt werden. Umwelteffekte sollen so Teil der ökonomischen Kalkulation werden.¹⁸⁶ Ein Beispiel für die Internalisierung externer Kosten ist eine „CO₂-Steuer“. Sie soll den Preis kohlenstoffhaltiger Energieträger erhöhen und Anreize zur Reduzierung von CO₂-Emissionen setzen.

¹⁸⁴In Anlehnung an Bauer 2008, 211 ff. und Leipprand und Moore 2012.

¹⁸⁵Bauer 2008, S. 212 f.; Leipprand und Moore 2012, S. 188.

¹⁸⁶Bauer 2008, S. 222 f.; Leipprand und Moore 2012, S. 188.

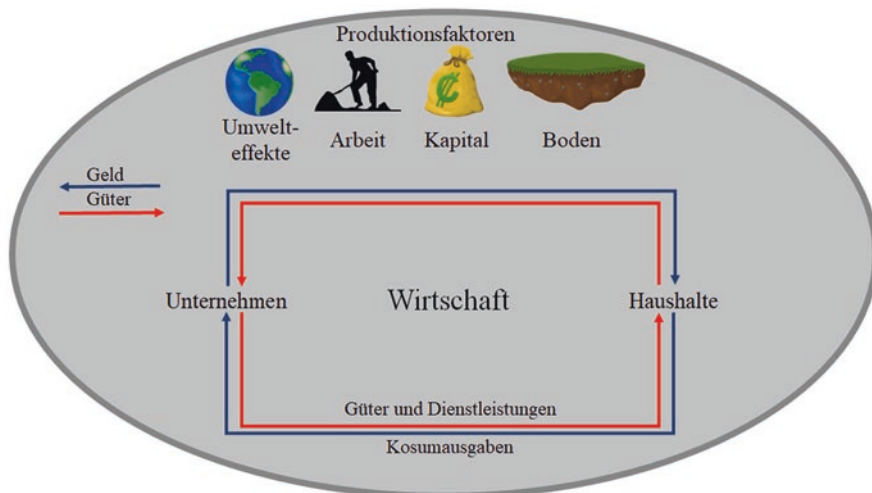


Abb. 5.14 Systemperspektive der Umweltökonomie: Umweltschäden und Ressourcenverbrauch werden als ökonomische Kosten Teil des Wirtschaftssystems. (Eigene Darstellung mit Icons aus Pixabay) (Eigene Darstellung mit Icons aus Pixabay)

Die monetäre Bewertung von Umwelteffekten ist sicherlich eine Verbesserung gegenüber der neoklassischen Perspektive, sie muss aber sowohl aus methodischen wie systemischen Gründen hinterfragt werden. Methodisch gesehen ist anzumerken, dass die Kosten von Umwelteffekten und deren Vermeidungskosten nicht auf der gleichen Grundlage ermittelt werden. Vermeidungskosten spiegeln den ökonomischen Aufwand, der betrieben werden muss, um negative Umwelteffekte zu verhindern. Dabei handelt es sich um betriebswirtschaftliche Kosten, die beispielsweise auf den Einsatz eines anderen Rohstoffs oder den Betrieb einer Aufbereitungsanlage zurückzuführen sind. Sie lassen sich weitgehend objektiv ermitteln. Die mit ihnen zu verrechnenden Kosten von Umwelteffekten gehören in eine andere Kategorie. Wie lässt sich die ökologische Bedeutung eines Waldes oder die einer Tierart ökonomisch bewerten?¹⁸⁷ Weiterhin suggeriert die Umrechnung von Umwelteffekten in Geldwerte, dass ein Verlust an Natur mit menschlicher Arbeit oder Kapital kompensiert werden kann. Vieles lässt sich aber nicht rückgängig machen.

Systemisch lässt sich anmerken, dass die Natur in der Umweltökonomie nicht als eigenständiges System behandelt wird, sondern als Subsystem oder Element eines übergeordneten Wirtschaftssystems. Ihre Systemperspektive ist in Abb. 5.14 dargestellt. Sie beruht im Wesentlichen auf einem neoklassischen Modell, das um den Faktor Umwelt erweitert wurde. Die zentrale Frage der Umweltökonomie

¹⁸⁷ Bauer 2008, S. 224 f.

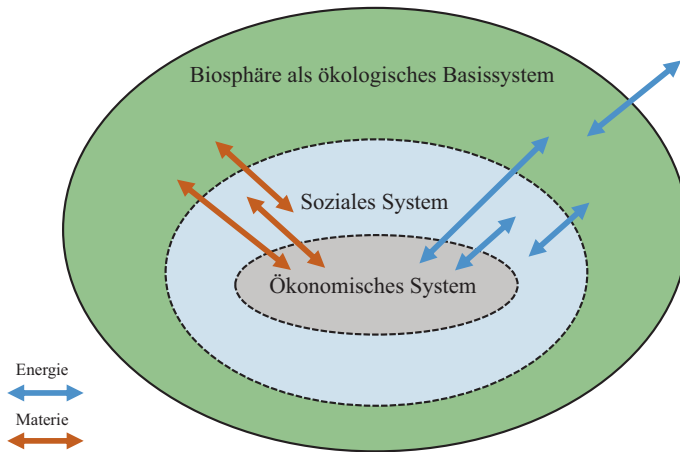


Abb. 5.15 Systemperspektive der Ökologischen Ökonomie.¹⁸⁸ (Eigene Darstellung in Anlehnung an Kapeller 2022; Gowdy und Erickson 2005)

lautet deshalb, wie hoch Umwelteffekte bepreist werden müssen, damit die Natur ausreichend geschützt ist.

In der Ökologischen Ökonomie ist die Systemperspektive umgekehrt. Die Natur bzw. Umwelt wird nicht als Teil der Wirtschaft eingeordnet, sondern das ökonomische System als Teilsystem der Biosphäre ausgelegt (Zitat 5.24 und Abb. 5.15)¹⁸⁹.

Zitat 5.24: Herman E. Daly (1938–2022)



„Die Ökologische Ökonomie geht von der Annahme aus, dass die Wirtschaft in ihren physischen Dimensionen ein offenes Subsystem eines endlichen, nicht wachsenden und materiell geschlossenen Gesamtsystems ist – des Ökosystems Erde.“¹⁹⁰

In der Ökologischen Ökonomie wird das Wirtschaftssystem als gerichteter Transformationsprozess dargestellt, der, da dabei Energie und Materie ausgetauscht und umgewandelt werden, wie in Abb. 5.16 thermodynamisch beschreibbar ist.¹⁹¹

¹⁸⁸ In Anlehnung an Kapeller 2022; Gowdy und Erickson 2005

¹⁸⁹ Bartkowski 2016.

¹⁹⁰ Daly 2002, S. 3.

¹⁹¹ Busch-Lüty und Dürr 1993, S. 29; Cleveland 1999; Wagner 2015, S. 63; Seifert 1994, S. 187; Söllner 1997, S. 426.

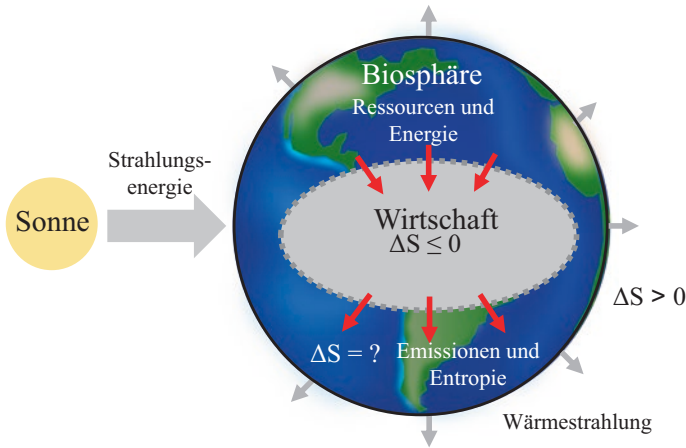


Abb. 5.16 Die Wirtschaft ist in der Perspektive der Ökologischen Ökonomie ein offenes Subsystem der Biosphäre. (Eigene Darstellung)

Aus der thermodynamisch ausgerichteten Perspektive der Ökologischen Ökonomie entnimmt das ökonomische System dem Erdsystem Materialien, um Produkte herzustellen, die nach ihrem Gebrauch wieder als Abfälle oder Emissionen an die Biosphäre abgegeben werden. Insgesamt nimmt die Entropie hierdurch zu (Abschn. 5.1.2). Seine eigene Entropie hält das Wirtschaftssystem konstant oder verringert sie sogar, indem es sie an das übergeordnete Erdsystem abgibt. Ob dieses seine eigene Entropie stabilisieren kann, hängt vom Ausmaß des Exports in sie ab. In den Modellen der Ökologischen Ökonomie geht ökonomisches Wachstum zu Lasten der Biosphäre. Die zentrale Frage der Ökologischen Ökonomie lautet deshalb: Wie groß kann die Wirtschaft werden, bevor ihr Durchsatz die Regenerations- und Absorptionsfähigkeit der Biosphäre übersteigt?¹⁹² Anders als in der Umweltökonomie, für die Wirtschaftswachstum weiterhin möglich ist, beschränkt die begrenzte Belastbarkeit der Biosphäre in der Ökologischen Ökonomie das Wachstum des Wirtschaftssystems.¹⁹³

5.6 Sind Ökosysteme ökonomisch organisiert?

Eine Denkschule, die wir in Abschn. 2.2.3, als Teil der der Circular Economy vorgestellt haben, ist die Industrielle Ökologie. Ihre Modelle orientieren sich an Ökosystemen und übersetzen deren Aufbau in industrielle Strukturen. Diese Vor-

¹⁹²Daly 2002, S. 11.

¹⁹³Bartkowski 2016.

gehensweise beruht auf der Annahme, dass beide Systeme vergleichbar sind, weil sowohl in ökologischen als auch in ökonomischen Prozessen Stoffe und Energie ausgetauscht und umgewandelt werden.¹⁹⁴ Wenn das so ist, können dann nicht umgekehrt auch die Zusammenhänge in der Biosphäre als ökonomische Prozesse beschrieben werden? Der Systemwissenschaftler Joel de Rosnay geht in Zitat 5.25 jedenfalls davon aus. Für de Rosnay ist der Stoffaustausch in der Biosphäre mit den Abläufen der Wirtschaft vergleichbar, Für ihn ist die Natur eine Art „natürliche Industrie“, in der „produziert“, „gelagert“, „verteilt“ und „verbraucht“ wird.

Zitat 5.25: Joel de Rosnay (*1937)



„Die organische Stufe im ökologischen Zyklus kann als der eigentliche ‚Motor‘ des gesamten Stoffkreislaufs betrachtet werden. In dieser Etappe werden die zur Aufrechterhaltung des Lebens wichtigen Substanzen aufgebaut und verbraucht. [...] Dieser organisierte Vorgang ist durchaus mit Abläufen in der Industrie und der Wirtschaft vergleichbar: Es wird produziert, gelagert, verteilt, verbraucht, Energie wird an die Umwelt verteilt, das gesamte Material unterliegt dem Recycling. Hinsichtlich dieser natürlichen ‚Industrie‘ und ‚Wirtschaft‘ lassen sich alle Lebewesen in drei Hauptgruppen einteilen: in Produzenten, Konsumenten und Reduzenten.“¹⁹⁵

Die ökonomische Deutung der Natur hat Tradition. Charles Darwin verwendete beispielsweise Begriffe des Ökonomen Thomas Robert Malthus, um seine Evolutionstheorie zu erläutern. Darwins Metapher vom „Kampf ums Dasein“ („struggle for existence“) geht auf die Bevölkerungstheorie von Malthus zurück.¹⁹⁶ Auch die in Abschn. 5.2.3 beschriebenen Nahrungsbeziehungen in Ökosystemen werden oft mithilfe ökonomischer Metaphern beschrieben. Die Unterscheidung von Produzenten und Konsumenten zur Beschreibung von Nahrungsbeziehungen in Ökosystemen, die auch de Rosnay verwendet, stammt ursprünglich aus der Ökonomie, wo sie bereits von Adam Smith verwendet wurde.¹⁹⁷ In der Ökologie sind die Begriffe seit Ende des 19. Jahrhunderts in Gebrauch, eigentlich also seit ihren Anfängen.¹⁹⁸ Dies zeigt auch der auf den Evolutionsbiologen Hermann Reinheimer zurückgehende Text aus dem Jahr 1913 in Zitat 5.26.

¹⁹⁴ Busch-Lüty und Dürr 1993, S. 29; Cleveland 1999; Wagner 2015, S. 63; Seifert 1994, S. 187; Söllner 1997, S. 426.

¹⁹⁵ Rosnay 1979, S. 21.

¹⁹⁶ Toepfer 2011c, S. 497.

¹⁹⁷ Smith 1853.

¹⁹⁸ Toepfer 2011g, S. 207 f.

Zitat 5.26: Hermann Reinheimer (1872–1964)



„[...] we may, therefore, consider organisms among other things as economic persons, as traders by nature, whose mutual activities constantly enhance their biological status. It is normal for an organism to produce values, moreover exchangeable values, to render mutual services, and to earn its food rather [...].“¹⁹⁹

Reinheimer beschreibt Organismen, als ob sie ökonomisch handelnde Subjekte wären, die von Natur aus Handel treiben, um ihren biologischen Status zu verbessern. Sie erbringen gegenseitige Leistungen und produzieren Werte.²⁰⁰ Doch was sind das für Werte, die von Lebewesen produziert werden? Reinheimer weist durch die eingefügte Präzisierung, dass die Werte „austauschbar“ sein müssen, in diesem Zusammenhang auf einen wichtigen Punkt hin: Damit ökologische Prozesse sich als ökonomische Zusammenhänge beschreiben lassen, bedarf es einer Größe, die dem Tauschwert bzw. dem Geld in ökonomischen Modellen entspricht (Abschn. 5.5.1). Geld vereinheitlicht verschiedene Waren und Leistungen und macht sie, egal ob es sich um Nahrungsmittel, technische Geräte, Luxusartikel oder einen Haarschnitt handelt, miteinander verrechenbar. Bei ökologischen Prozessen wird die Tauschwertfunktion der Ökonomie, laut Reinheimer, von energetischen Größen übernommen. In Zitat 5.27 spricht er von „bioökonomischen Werten“ und schreibt, dass die Produktion dieser Werte es den Lebewesen ermöglicht, „ihren Lebensunterhalt zu verdienen“.

Zitat 5.27: Hermann Reinheimer (1872–1964)



„It is the bio-economic task of organisms to earn their sustenance and over and above this to provide for marginal and exchangeable bio-economic-values to be used in the mutual accomplishment of evolution. The chief part of this task consists in the provision of raw material and in the transforming and storing (capitalising) of solar energies, in which process physical forces are being systematically raised to the position of physiological forces. The resulting values are bio-economically useful and exchangeable as between species and larger groups.“²⁰¹

Bioökonomische Werte lassen sich, laut Reinheimer, als energetische Größen ausdrücken. Der als Arbeit nutzbare Teil der Energie, so seine Argumentation, sei sowohl in der Wirtschaft als auch in der Natur die treibende Kraft. Sonnen-

¹⁹⁹ Reinheimer 1913, S. 46.

²⁰⁰ Toepfer 2011g, S. 203.

²⁰¹ Reinheimer 1913, S. 5.

energie wird von Pflanzen absorbiert und zum Aufbau von Stoffen verwendet, in denen die Energie chemisch gespeichert und anschließend zwischen Lebewesen ausgetauscht wird. Die Speicherung nennt Reinheimer Kapitalbildung.²⁰² Weil sie unterschiedliche Stoffe verrechenbar machen, übernehmen energetische Größen für Reinheimer in der Ökologie die Rolle einer Währung.

Eine ähnliche Argumentation verwendete auch der Chemiker Frederick Soddy. Er nennt Pflanzen „Kapitalisten“ („original capitalists“), weil sie, ähnlich wie diese Kapital anhäufen, das Sonnenlicht speichern.²⁰³ Weitere Namen, die in diesem Zusammenhang zu nennen sind, sind Wilhelm Ostwald und der in Abschn. 5.2.3 bereits genannte Alfred James Lotka. Ostwald bezeichnete die „Freie Energie“, eine thermodynamische Größe, die darüber entscheidet, ob ein Prozess von selbst abläuft, als „Kapital der Lebewesen“.²⁰⁴

Lotka ist vor allem durch eine Arbeit bekannt geworden, in der er die Energieumsätze ökologischer Zusammenhänge im globalen Maßstab ermittelte. Dabei erkennt auch er Gemeinsamkeiten zwischen dem Stoffaustausch in der menschlichen Wirtschaft und dem ökologischen Energiefluss und nimmt die Natur aus einer ökonomischen Perspektive wahr.²⁰⁵ Die menschliche Wirtschaft ist für ihn ein Teil des „Wirtschaftssystems Natur“, für das er verschiedene Bezeichnungen verwendet, u. a. „Economy of Life“²⁰⁶, „Economy of the Organism“²⁰⁷ und „Earth’s Carbon Economy“²⁰⁸. Den ökologischen Austausch von Phosphorverbindungen nennt er sogar explizit eine Kreislaufwirtschaft („Cycle in the Economy of Nature“)²⁰⁹. Lotka verwendet auch, ebenso wie Reinheimer, den Begriff Bioökonomie, um eine „Wirtschaft der Natur“ zu bezeichnen.²¹⁰ Den in Kap. 2 beschriebenen Lesarten der Bioökonomie lässt sich somit, wie dort angekündigt, noch eine weitere hinzufügen: Der Begriff Bioökonomie steht auch für eine Perspektive, die biologische und ökologische Zusammenhänge ökonomisch betrachtet. Diese Lesart ist, wie wir in Abschn. 7.1.9 noch erläutern, sowohl für die Circular Economy als auch für die Bioökonomie von Bedeutung. Wie wir noch begründen werden, führt sie aus unserer Sicht in die falsche Richtung.

²⁰² Reinheimer 1913, 5, 21 f.

²⁰³ Cleveland 1999

²⁰⁴ Wagner 2015, S. 60

²⁰⁵ Lotka 1925, S. 27.

²⁰⁶ Lotka 1925, S. 132.

²⁰⁷ Lotka 1925, S. 220.

²⁰⁸ Lotka 1925, S. 26.

²⁰⁹ Lotka 1925, S. 250.

²¹⁰ Reinheimer 1913 verwendet die Bezeichnung „Bio-Economics“; Lotka 1925, S. 212 spricht von einer „biological economy“.

5.7 Natur und Kultur

5.7.1 Natur-Kultur-Trennung

In den vorangehenden Abschnitten wurden die belebte Natur sowie Technik und Ökonomie als separate Systeme beschrieben. Damit haben wir unausgesprochen vorausgesetzt oder suggeriert, dass es sich bei ihnen um unterschiedliche Bereiche handelt. Entspricht diese Unterscheidung der Wirklichkeit, oder ist es besser, Bio- und Technosphäre nicht getrennt, sondern als zusammenhängendes System zu beschreiben?

Die systemische Trennung in Bio- und Technosphäre geht auf den in Abschn. 4.2 beschriebenen bedeutungslogischen Naturbegriff zurück. Er definiert Natur als Abgrenzung zu etwas anderem und unterteilt die Realität damit in zwei Bereiche. Auf diese Weise wird eine „Dichotomie“²¹¹ begründet, wie eine solche Zweiteilung bezeichnet wird. In Abb. 5.17 ist die allgemeine Konstruktion einer Dichotomie dargestellt. Sie teilt die Welt in zwei Bereiche, die durch unterschiedliche Merkmale charakterisiert werden. Dabei ist ein Merkmal das Gegenteil des anderen.²¹² Beispiele für Dichotomien sind die Begriffspaare Gut und Böse, Groß und Klein sowie Hell und Dunkel. Ihre Bedeutung erschließt sich durch ihre gegenseitige Negation.

Die Dichotomie, die in den Begriffen Bio- und Technosphäre zum Ausdruck kommt und um die es im Folgenden geht, wird als „Natur-Kultur-Dichotomie“ oder „Natur-Kultur-Trennung“ bezeichnet. Sie unterteilt die Welt in die als Gegensätze wahrgenommenen Bereiche Natur und Kultur. Mit Kultur ist darin das gemeint, „was durch menschliches Handeln entsteht“²¹³, während alles andere, was nicht auf Menschen zurückgeht, zur Natur gehört. Wir ziehen damit, so wie in Abb. 5.18, eine gedankliche Grenzlinie zwischen Menschen und Kulturgütern auf der einen und der Natur auf der anderen Seite. Natur und Kultur werden darin symbolisch wie durch die scharfe Trennlinie zwischen der Bebauung New Yorks und dem Central Park voneinander geschieden. Der Park ist selbstredend aber keine Natur-, sondern eine Kulturlandschaft. Das Bild zeigt deshalb keine wirkliche, sondern nur eine künstlerisch dargestellte Natur-Kultur-Trennung, in der ein grüner Bereich die Natur symbolisieren soll.

Unser Umgang mit der Natur-Kultur-Trennung ist oft widersprüchlich. Auf der einen Seite würden die meisten Menschen auf eine entsprechende Nachfrage antworten, dass sie sich selbst als Teil der Natur empfinden²¹⁴, auf der anderen Seite aber sind wir die Teilung unseres Weltbildes so gewöhnt, dass wir oft nicht

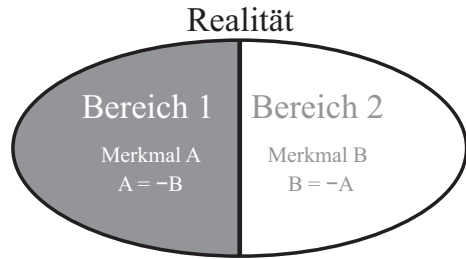
²¹¹ Von griech. „dichotomía“ = Zweiteilung, Duden online.

²¹² Metzlers Lexikon der Philosophie 2023a.

²¹³ Tenbruck 1989, S. 15.

²¹⁴ Peuker 2017, S. 149.

Abb. 5.17 Dichotomie.
(Eigene Darstellung)



bemerken, wenn wir die Natur-Kultur-Dichotomie anwenden. Sprachlich ist kaum zu vermeiden, dass wir Natur wie ein uns gegenüberstehendes Objekt beschreiben. Eine Natur-Kultur-Dichotomie kommt auch in der Unterscheidung zwischen „Natur- und Geisteswissenschaften“ zum Ausdruck, wie sie beispielsweise in der historisch einflussreich gewordenen Abgrenzung der beiden Wissenschaftsbereiche durch den Philosophen und Theologen Wilhelm Dilthey in Zitat 5.28 vorgenommen wird. Zusammengefasst schreibt Dilthey, dass Naturwissenschaftlerinnen und -wissenschaftler nach kausalen Zusammenhängen in der Natur suchen, während in den Geisteswissenschaften der Geltungsbereich des freien menschlichen Willens untersucht wird.

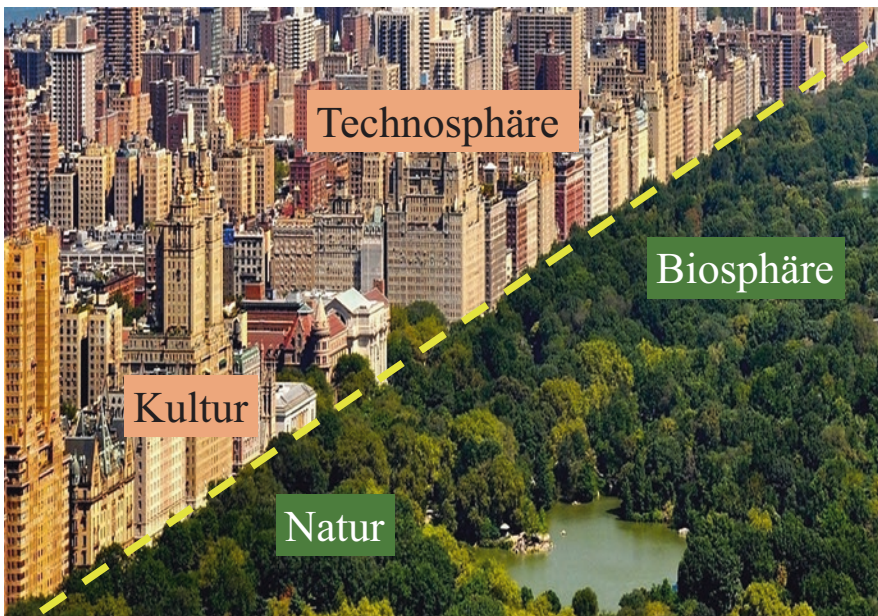


Abb. 5.18 Natur-Kultur-Dichotomie. (Eigene Bearbeitung eines Bilds aus Pixabay)

Zitat 5.28: Wilhelm Dilthey (1833–1911)



„Der Inbegriff der geistigen Thatsachen, welche unter diesen Begriff von Wissenschaft fallen, pflegt in zwei Glieder getheilt zu werden, von denen das eine durch den Namen der Naturwissenschaft bezeichnet wird; für das andere ist, merkwürdig genug, eine allgemein anerkannte Bezeichnung nicht vorhanden. Ich schließe mich an den Sprachgebrauch derjenigen Denker an, welche diese andere Hälfte des globus intellectualis als Geisteswissenschaften bezeichnen. [...] Der Beweggrund nämlich, von welchem die Gewohnheit ausgegangen ist, diese Wissenschaften als eine Einheit von denen der Natur abzugrenzen, reicht in die Tiefe und Totalität des menschlichen Selbstbewußtseins. Unangerührt noch von Untersuchungen über den Ursprung des Geistigen, findet der Mensch in diesem Selbstbewußtsein eine Souveränität des Willens, eine Verantwortlichkeit der Handlungen, ein Vermögen, Alles dem Gedanken zu unterwerfen und Allem innerhalb der Burgfreiheit seiner Person zu widerstehen, durch welche er sich von der ganzen Natur absondert. [...] hier bringen die Thaten des Willens, im Gegensatz zu dem mechanischen Ablauf der Naturveränderungen, [...] etwas [...] über die leere und öde Wiederholung von Naturlauf im Bewußtsein hinaus [hervor].“²¹⁵

Diltheys Ausführungen scheinen zunächst eine rein akademische Argumentation abzubilden, die in der Praxis vielleicht nicht so wichtig ist. Die Diskussion über die Natur-Kultur-Trennung ist aber mehr als eine intellektuelle Spielerei. Dadurch, dass wir sie als gegenüberstehendes Objekt wahrnehmen, denken wir uns konzeptionell aus der Natur heraus und gehen ggf. anders mit ihr um. Für die Philosophin Regine Kather ist die verbreitete „Überzeugung, dass alle Probleme technisch lösbar sind und die Natur nahezu vollständig beherrschbar ist“, ursächlich mit der Natur-Kultur-Dichotomie verbunden.²¹⁶ Für den Soziologen Bruno Latour²¹⁷ und die Naturwissenschaftshistorikerin Donna Jan Haraway²¹⁸ ist die getrennte Wahrnehmung von Natur und Kultur sogar eine Hauptursache der ökologischen Krise.

5.7.2 Grenzbereiche

Die gedankliche Trennung zwischen Natur und Kultur erweist sich zunehmend als problematisch, da es immer mehr Wesen, Objekte und Zusammenhänge gibt, die dann sowohl natur- als auch kulturgeprägt wären. Solche „Hybride“, um einen

²¹⁵ Dilthey 1883, S. 6 f.

²¹⁶ Kather 2012, S. 8.

²¹⁷ Latour 2017a, 2017b.

²¹⁸ Stache, S. 75 ff.

Ausdruck Latours zu benutzen, lassen sich in einem dualistischen Weltbild, das nur ein „Entweder-oder“ kennt, nicht einordnen.²¹⁹

Ein hybrides Gebilde ist beispielsweise ein Weizenfeld. Es ist Teil der Natur, weil es natürlich entstandene Objekte wie Steine, Pflanzen und Tiere enthält und weil Naturprozesse in ihm wirksam sind, zu denen das Wachstum von Pflanzen oder die Nahrungsaufnahme von Tieren gehören. Das Feld ist aber auch Teil der Kultur. Weizen wurde gezielt von Menschen gezüchtet und wird ausgesät, um Nahrungsmittel herzustellen. Das Getreide wächst zudem nicht einfach in der Natur, sondern auf einem Acker, also einem mit technischen Mitteln extra für den Anbau hergestelltem Areal. Es wird bewässert, mit mineralischem Dünger versorgt und maschinell abgeerntet. Um einen höheren Ertrag zu erzielen, wird der Naturanteil des Feldes durch „Pflanzenschutzmittel“ zurückgedrängt. Sie sollen die Weizenpflanzen vor „Schädlingen“ aus der Natur schützen. Das Feld lässt sich somit als Ganzes weder dem Bereich der Natur noch dem der Kultur vollständig zuordnen. Es ist ein Gebilde, in dem natürliche und kulturelle Faktoren aufeinander einwirken.

Noch schwieriger wird die Differenzierung, wenn wir nicht Systeme wie das Getreidefeld betrachten, sondern einzelne Lebewesen. Zu den Hybriden unter ihnen gehören gentechnisch veränderte Organismen sowie klassische Nutzpflanzen wie der o. g. Weizen und Nutztiere. Milchkühe beispielsweise sind empfindsame Lebewesen. Als solche sind sie grundsätzlich der Natur zuzurechnen, sie werden aber, wie Zitat 5.29 verdeutlicht, wie Maschinen technisch zu gerichtet und ökonomisch optimiert.²²⁰

Zitat 5.29: M. Schwerin (2009)



„Aus ökonomischer Sicht muss die Leistung einer Kuh mindestens 15 kg Milch je Lebenstag betragen, um ihre Kosten zu amortisieren und Gewinn zu erwirtschaften [...] Das entspricht z. B. einer Lebensleistung von $\geq 30\,000$ kg Milch bei einer Nutzungsdauer von 3,5 Laktationen.“²²¹

Ohne Menschen und den Einsatz technischer Mittel würden Milchkühe gar nicht existieren. Vor 20.000 Jahren gab es sie noch nicht, sondern nur frei lebende Rinder. Einige von ihnen wurden der Natur „entnommen“ und ihre Nachkommen, durch das technische Mittel der Züchtung, zu Milchkühen gemacht. Da sie regelmäßig gemolken werden müssen, sind sie ohne Menschen nicht mehr (über) lebensfähig. Durch ihre „Milchleistung“, die sich seit 1950 verdoppelt hat,²²² wird

²¹⁹Sprenger 2019, S. 464.

²²⁰Marzi et al. 2018, S. 83 ff.

²²¹Schwerin 2009, S. 394.

²²²Albert Schweitzer St. 2018.

der Stoffwechsel der Tiere dermaßen belastet, dass sie ihr eigenes Körpergewebe angreifen müssen²²³. Um die Worte Tillichs aus Zitat 5.22 zu verwenden, werden sie „ihrem Eigenzweck entfremdet“, „entmächtigt“ und „als Glied in ein technisches Gebilde eingefügt“. Sie leben nicht wie ihre Vorfahren, die Rinder, um zu leben, sondern um mit möglichst hohem Ertrag ein Produkt zu produzieren.

5.7.3 Das „Anthropozän“

Ein Weltbild, das strikt zwischen dem Bereichen Natur und Kultur trennt, lässt sich auch deshalb nicht mehr aufrechterhalten, da es auf der Erde keine pure Natur mehr gibt. Stattdessen gibt es eine kulturell und technisch überformte Biosphäre,²²⁴ die sich grundlegend von der früherer Zeiten unterscheidet. Heutige Ökosysteme sind nicht mehr naturbelassen, sondern modifizierte und in ihrer Komplexität und Artenvielfalt reduzierte, ehemals natürliche Bereiche. Städte werden gebaut, Landschaften umgestaltet und große Mengen an Gesteinen bewegt. Inzwischen sind etwa 50 % der Landoberfläche landwirtschaftliche Flächen, Städte oder anderweitig genutzte Areale. Satellitenbilder zeigen, dass heute nur noch ein Viertel der eisfreien Landoberfläche als Wildnis bezeichnet werden kann.²²⁵

Die zur Verfügung stehenden Ressourcen beanspruchen Menschen im Wesentlichen für sich. So entspricht die Menge der Biomasse, die sie umsetzen, etwa 25–40 % der gesamten Netto-Primärproduktion der Biosphäre. Auch die Evolution von Pflanzen, Tieren und Mikroorganismen wird heute zunehmend von Menschen beeinflusst. Lebewesen, die infolge menschlicher Aktivitäten rund um den Globus transportiert werden, verbreiten sich in Umgebungen, in denen sie ursprünglich nicht heimisch sind. Als „Neobiota“ verändern sie Ökosysteme in großer Geschwindigkeit und tragen zu einer in der Erdgeschichte wahrscheinlich einzigartigen globalen Vereinheitlichung von Lebensformen bei. Inzwischen besteht auch die Gesamtmasse aller auf der Erde lebenden großen Wirbeltiere hauptsächlich aus Menschen und den von ihnen domestizierten Tieren.²²⁶

Die Auswirkungen menschlicher Aktivitäten haben inzwischen globale Ausmaße erreicht und sind in großen Teilen unumkehrbar. Viele Wissenschaftler und Wissenschaftlerinnen halten es deshalb für angemessen, von einem neuen Erdzeitalter zu sprechen, um das Ausmaß menschlicher Aktivitäten zu beschreiben. Es wird auf Vorschlag von Paul Crutzen und Eugene F. Stoermer als Anthropozän, das Zeitalter des Menschen, bezeichnet. Das Anthropozän folgt in dieser Einordnung auf das Holozän, dessen Beginn auf einen Zeitpunkt vor ca. 12.000 da-

²²³Schwerin 2009, S. 391.

²²⁴Dürbeck 2018.

²²⁵Williams et al. 2015.

²²⁶Williams et al. 2015.

tiert wird, als die gegenwärtige Zwischeneiszeit einsetzte. Das Holozän ist durch stabile und gemäßigte klimatische Bedingungen gekennzeichnet.²²⁷

Von einem neuen Erdzeitalter ist auch deshalb die Rede, weil in der Biosphäre inzwischen Stoffe zu finden sind, die es nicht gab, bevor sie von Menschen hergestellt wurden. Künstlich hergestellte radioaktive Elemente, chlorierte und fluorierte organische Verbindungen sowie Mikroplastik kommen mittlerweile überall vor (Zitat 5.30). Da sie auch in Bodensedimenten gefunden und zur Abgrenzung unterschiedlicher Erdzeitalter verwendet werden können, werden sie auch als „Technofossilien“²²⁸ bezeichnet.

Zitat 5.30: Nelson Rangel-Buitrago, William Neal, Allan Williams (2022)



„Plastics [...] have been found everywhere, ranging from the highest mountains [...], the ocean deeps [...], in rivers [...], in the atmosphere [...] and even inside the human [...]. In the marine environment, plastics have been documented in sub-tropical gyres [...], Islands [...], beaches [...], dunes [...], mangroves [...], and the food chains of most organisms, among others. Plastic is now so ubiquitous in all world environments [...], deposited, buried, and now present as stratigraphic markers in deposits as well as rock.“²²⁹

Umstritten ist, ob das Anthropozän-Konzept dabei hilft, mit den Folgen menschlicher Aktivitäten umzugehen. Auf der einen Seite transportiert es eine planetarische Perspektive und lenkt die Aufmerksamkeit auf die Auswirkungen, die die Aktivitäten der Spezies Mensch auf die Ökosysteme der Erde haben. Dabei wird das Ausmaß der von Menschen verursachten Veränderungen und die Verwobenheit von Natur, Sozialem und Technik mehr als deutlich. Auf der anderen Seite verleitet der Begriff aber auch dazu, die Biosphäre aufgrund der menschlichen Eingriffstiefe als konstruier- und kontrollierbares System anzusehen. Fraglich ist auch, ob es richtig ist, Menschen als einheitlich agierende Spezies zu betrachten. Dies lenkt möglicherweise davon ab, dass die Auswirkungen, die das Anthropozän mit sich bringt, nicht von allen Menschen gleichermaßen ausgelöst werden.²³⁰ Die Hälfte der globalen CO₂-Emissionen wurde 2019 von nur 10 % der Weltbevölkerung verursacht, während sich fast die Hälfte der Menschen für nur 12 % dieser Emissionen verantwortlich zeigte.²³¹

²²⁷ Dürbeck 2018, S. 4 ff.; Zalasiewicz 2017; Williams et al. 2015.

²²⁸ Zalasiewicz 2017, S. 173.

²²⁹ Rangel-Buitrago et al. 2022, S. 2.

²³⁰ Gebhardt 2016; Schneider 2019, S. 104.

²³¹ Chancel 2022.

5.7.4 Aufhebung der konzeptionellen Natur-Kultur-Trennung

Bei den Versuchen, die Natur-Kultur-Trennung konzeptionell aufzuheben, lassen sich grundsätzlich drei unterschiedliche Herangehensweisen erkennen. Die ersten beiden bestehen darin, einen Bereich als Resultat des jeweils anderen zu erklären. Wir sprechen dann entweder von „Naturalismus“ oder „Kulturalismus“. Der Naturalismus betrachtet Kultur lediglich als Nebenprodukt einer physikalischen Natur. Eine „außerhalb der Natur befindliche Kultur“ existiert für ihn nicht.²³² Umgekehrt gibt es für den Kulturalismus in seiner radikalen Auslegung keine objektiv vorhandene Natur, sondern nur kulturell bestimmte Vorstellungen davon. Naturalistische und kulturalistische Positionen finden sich beispielsweise auch im Streit um die Deutung des menschlichen Geschlechts. Naturalistisch betrachtet ist das Geschlecht eines Menschen ein genetisch und hormonell bestimmter Sachverhalt, kulturalistisch ist es ein soziales Konstrukt.²³³

Die dritte Herangehensweise besteht darin, Kausalität und Freiheit nicht wie in Zitat 5.28 Dilthey getrennten Bereichen zuzuordnen, sondern als zusammenwirkende Prinzipien zu verstehen. In diesen Kontext lassen sich als Beispiele die Naturphilosophie von Alfred North Whitehead und die auf ihn bezogene „Akteur-Netzwerk-Theorie“ anführen. Letztere wurde u. a. von Bruno Latour entwickelt, auf den auch der oben eingeführte Begriff der Hybride zurückgeht.

Whiteheads „Prozessphilosophie“ beruht auf einem fundamentalen Perspektivwechsel. Während wir es gewöhnt sind, uns die Welt aus Dingen zusammengesetzt vorzustellen, bei denen wir kategorial zwischen Menschen, Tieren, Pflanzen und toter Materie unterscheiden, konstituiert sich die Welt für Whitehead nicht aus Dingen, sondern aus „Ereignissen“. Er unterscheidet nicht wie Descartes zwischen einem freien Geist und einer determinierten Materie. In seinen Ereignissen sind sowohl kausal determinierte als auch kreativ unberechenbare Prinzipien zugleich wirksam. Menschliches Handeln ist für ihn nicht völlig frei, sondern hat, ebenso wie bei lebloser Materie, determinierte Anteile. Umgekehrt spricht er auch der unbelebten Materie „eigene Impulse“²³⁴ zu, wenn auch in geringeren Anteilen. Diese Eigenständigkeit der Materie ist für Naturwissenschaftlerinnen und -wissenschaftler eine schwer zu akzeptierende Prämisse, die es grundsätzlich aber auch in der Quantenphysik gibt. Weil alle Ereignisse bei Whitehead sowohl einen kausal determinierten als auch einen freien Entscheidungsanteil haben, verschwimmen die kategorialen Unterschiede zwischen Natur und Kultur.²³⁵ Kultur und Natur

²³² Schiemann 2011, S. 61.

²³³ Wiarda 2017; Der Tagesspiegel 2013.

²³⁴ Gill 2008, S. 55.

²³⁵ Gill 2008; Muraca 2013; Laux 2014.

bzw. Geist und Materie sind für Whitehead keine realen Gegenpole, sondern „überzogene Abstraktionen“²³⁶.

An dieser Stelle setzt die Akteur-Netzwerk-Theorie an, die wie Whitehead, von der grundsätzlichen Gleichwertigkeit von Dingen, Lebewesen und Menschen ausgeht. Sie „zielt [...] darauf [...], die Unterscheidung zwischen Gesellschaft und Natur bzw. zwischen Gesellschaft und Technik aufzubrechen“²³⁷. Hierzu betrachtet sie die Eigenschaften und Verhaltensweisen der an einem Netzwerk beteiligten Akteure, egal ob sie der belebten oder unbelebten Natur angehören. Das Besondere an der Akteur-Netzwerk-Theorie ist, dass sie die Unterschiede zwischen Natur und Kultur aufhebt, indem sie die Beteiligung nicht menschlicher Dinge in ihrer Analyse berücksichtigt. Verdeutlichen lässt sich das, in dem wir uns das System einer Universität vorstellen. Eine Universität wird nicht nur durch die beteiligten Menschen zu dem, was sie ist, sondern auch durch Dinge, Stoffe, Energie sowie Ideen und Konzepte, die zusammen mit Menschen das „System Universität“ ausmachen. Die Beziehungen in einem solchen Netzwerk befinden sich im ständigen Wandel und bilden sich erst durch ihren wiederholten und immer neuen Vollzug. Unterbleibt dieser, zerfällt das System. Beziehungen zwischen Akteuren bezeichnet Latour als „Aktanten“. Ein Aktant „Mensch-Stift“ bildet sich aus dem Zusammenwirken der Akteure Mensch und Stift. Das Beziehungsgefüge kann nicht auf einen Akteur reduziert werden, da der Stift nicht ohne einen Menschen und ein Mensch nicht ohne einen Stift schreiben kann. Diese Sichtweise ist zugegebenermaßen ungewöhnlich, wenn nicht gar befremdlich, da wir normalerweise zwischen „Menschen mit Handlungsmacht und Nicht-Menschen ohne Handlungsmacht“, also „zwischen Subjekten und Objekten“ unterscheiden²³⁸. Latour argumentiert jedoch, dass uns diese Unterscheidung daran hindert, Zusammenhänge wie die o. g. „Hybride“ wahrzunehmen.²³⁹ Die Ausrichtung der Akteur-Netzwerk-Theorie wird in Zitat 5.31 von dem Literaturwissenschaftler Hannes Bergthaller und der Literaturwissenschaftlerin Eva Horn zusammengefasst.

²³⁶ Gill 2008, S. 53.

²³⁷ Schulz-Schaeffer 2000.

²³⁸ Sprenger 2018, S. 73.

²³⁹ Sprenger 2018, S. 74, Sprenger 2019, 455 ff.; Schulz-Schaeffer 2000; Laux 2014; Sprenger 2018.

Zitat 5.31: Hannes Bergthaller, Eva Horn (2019)



„Anstatt Natur und Kultur als ontologisch unterschieden zu verstehen, gelte es, die Welt als ein ‚nahtloses Gewebe‘ zu betrachten, in dem menschliche und nichtmenschliche Akteure zusammenwirken. Die Welt der belebten und unbelebten Dinge ist nicht nur passiver Gegenstand oder Bühne menschlichen Handelns. Gesellschaft und Wissen über die Welt konstituieren sich, indem sie nichtmenschliche Akteure in Anspruch nehmen, diese formen und sich von ihnen formen lassen“²⁴⁰

Die Akteur-Netzwerk-Theorie ist also eine Methode, mit der die Kultur-Natur-Trennung und die Unterscheidung zwischen Subjekten und Objekten umgangen wird. Das geschieht jedoch auf eine Art und Weise, die dem Alltagsverstand und der Sprache widersprechen.²⁴¹ Kann man leblose Dinge wirklich als Akteure begreifen? Vielleicht hilft es bei der Akzeptanz der Akteur-Netzwerk-Theorie, wenn wir sie in diesem Punkt nicht wörtlich nehmen und stattdessen als methodischen Ansatz verstehen. Ziel der Theorie ist, die „Verflechtung von Menschen und nicht-menschlichen Wesen“ sichtbar zu machen, wie sie uns in ähnlicher Form in Abschn. 5.4.3 und 5.4.4 bereits in den wechselseitigen Beziehungen zwischen Menschen und ihrer Technik begegnet ist. Es geht nicht darum, Subjektivität oder gar Bewusstsein „auf Dinge zu übertragen, Menschen als Objekte zu behandeln oder Maschinen als soziale Aktanten zu betrachten“²⁴². Für Latour haben unbelebte Dinge keine Handlungsabsichten, sie sind nur deshalb „Akteure“, weil es einen Unterschied macht, ob sie, ähnlich wie Stoffe in einem Ökosystemmodell, in eine Handlung einbezogen sind oder nicht. Eine Kraftübertragung wird von Latour lediglich methodisch als Handlung formuliert und nicht als Absicht geleiteter Vorgang verstanden.²⁴³

Die in Abschn. 5.1.5 bereits erwähnte Theorie Luhmanns zu sozialen Systemen kann ggf. als Gegenstück zur Akteur-Netzwerk-Theorie aufgefasst werden. Für Luhmann konstituiert sich ein soziales System allein durch kommunikative Beziehungen. Nur was an der Kommunikation teil hat, gehört zum sozialen System, alles andere nicht. Unbelebte Objekte sind bei Luhmann kein Teil des kommunikativen Netzwerks und gehören deshalb, im Gegensatz zu ihrer Rolle in der Akteur-Netzwerk-Theorie, auch nicht zum sozialen System. Sie können aber auf andere Weise, beispielsweise durch einen physikalisch-chemischen Stoffaustausch, mit Elementen des sozialen Systems interagieren und auf diese Weise ein anderes Sys-

²⁴⁰Horn und Bergthaller 2019, S. 62.

²⁴¹Gill 2008.

²⁴²Sprenger 2018, S. 83.

²⁴³Laux 2014

tem bilden.²⁴⁴ Menschen gehören aus dieser Perspektive aufgrund physikalisch-chemischer und biologischer Wechselwirkungen zur Biosphäre, zugleich sind sie aber durch kommunikative Beziehungen Teil eines kulturellen Systems.

5.7.5 Natur und Kultur: „Sein“ oder „Werden“?

Ist die Natur-Kultur-Trennung real und die Unterscheidung zwischen Biosphäre und Technosphäre sinnvoll? Unseres Erachtens hängt die Beantwortung der Frage davon ab, wie wir die Begriffe Natur und Kultur bzw. natürlich und künstlich auslegen. Wenn wir Natur und Kultur als Seinsbereiche verstehen, die jeweils eine bestimmte Klasse von Gegenständen enthalten, ist die Natur-Kultur-Trennung obsolet. Die Begriffe stünden dann für sich gegenseitig ausschließende Kategorien und ein Gegenstand kann dann entweder künstlich oder natürlich sein. Wie das Vorangehende gezeigt hat, ist das aber nicht der Fall, da er auch beides zugleich sein kann.

Unsere Bewertung fällt vielleicht anders aus, wenn wir Natur und Kultur bzw. natürlich und künstlich nicht als Kategorienzuordnung verstehen, sondern als Synonyme, die unterschiedliche Arten des „Werdens“ oder verschiedene Existenzweisen beschreiben. Sowohl eine in einem See lebende Amöbe als auch ein gentechnisch verändertes Bakterium sind Lebewesen, da beide lebendig sind. Sie sind jedoch nicht aufgrund derselben Ursachen da²⁴⁵ (Abschn. 5.4.2) und unterscheiden sich in der Art der Prozesse, die zu ihrer Existenz geführt haben. Im Fall der Amöbe ist keine äußere Zwecksetzung vorhanden, sie lebt, um zu leben. Das gentechnisch veränderte Bakterium gibt es jedoch nur, weil mit dem gentechnischen Eingriff eine Absicht verbunden war, beispielsweise die Herstellung eines Medikaments. Ggf. ist es auch Teil einer technischen Produktionsanlage. Letzteres gilt ggf. aber auch für die natürlich entstandene Amöbe. Auch sie kann ggf. Teil eines technischen Systems sein und eine technische Existenzweise haben.

Im Werden des gentechnisch hergestellten Bakteriums sind technische Zwecksetzung und natürliches Wachstum miteinander verbunden. Um beiden Aspekten gerecht zu werden, hat die Philosophin Nicole C. Karafyllis deshalb den an das Wort „Artefakt“ angelehnten Begriff des „Biofakts“ eingeführt.²⁴⁶ Während Artefakte künstlich geschaffene Objekte sind, handelt es sich bei Biofakten um technisch zugerichtete Lebewesen. In Biofakten gibt es keine physikalische Grenze, die Natürliches und Künstliches scheidet. Sie sind nicht wie bei einer in einem Körper implantierten Prothese aus natürlichen und künstlichen Teilen zusammengefügt. Die technischen Merkmale liegen bei Biofakten nicht im Lebewesen selbst, sondern sind in dessen Entstehungsgeschichte zu finden.²⁴⁷

²⁴⁴ Luhmann 2018, S. 245.

²⁴⁵ Schiemann 1996b, S. 69.

²⁴⁶ Karafyllis 2006; Karafyllis 2003.

²⁴⁷ Karafyllis 2019.

Wir selbst haben an anderer Stelle²⁴⁸ ähnlich argumentiert und, angelehnt an einen Text von Tillich²⁴⁹, vorgeschlagen, nicht von natürlichen und künstlichen „Bereichen“ zu sprechen, sondern stattdessen den Begriff „Dimension“ zu verwenden. „Bereiche“ stehen in ihrer Bedeutung für sich „gegenseitig ausschließende Sektoren der Wirklichkeit“, während die der Geometrie entnommene Metapher Dimension das Verbindende betont.²⁵⁰ Letztere steht für den Anteil von Unterschiedlichen an einem Gesamten. So, wie ein Rechteck durch die Dimensionen Höhe und Breite bestimmt wird, haben gentechnisch veränderte Organismen eine künstliche und natürliche Dimension. Der Dimensionsbegriff erlaubt es, das Verhältnis unterschiedlicher Prinzipien nebeneinander auszudrücken. Festzuhalten ist jedoch, dass das Wort Dimension in Zusammenhang mit der Natur oder Kultur nicht wörtlich ausgelegt werden kann. Das Wort fungiert als eine Metapher, die Vorstellungen aus der Mathematik auf die Natur-Kultur-Dichotomie überträgt. Das ist allerdings kein Einzelfall. Metaphern und Analogien spielen in fast allen Lebensbereichen eine wichtige Rolle. Dies betrifft auch die Circular Economy und Bioökonomie. Es wird deshalb Zeit, dass wir uns im nächsten Kapitel näher mit der Bedeutung von Metaphern und Analogien auseinandersetzen.

²⁴⁸Marzi et al. 2018, S. 88 ff.

²⁴⁹Tillich 1962, 72 ff., Tillich bezieht sich in seiner Argumentation allerdings nicht auf die Unterscheidung von Natur und Technik, sondern wendet die Metapher „Dimension“ auf die Charakterisierung von unbelebter Materie, einfachen Lebewesen und Bewusstsein an.

²⁵⁰Tillich 1962, S. 76, Tillich spricht von „Schichten“, nicht von Bereichen.

Open Access Dieses Kapitel wird unter der Creative Commons Namensnennung 4.0 International Lizenz (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.de>) veröffentlicht, welche die Nutzung, Vervielfältigung, Bearbeitung, Verbreitung und Wiedergabe in jeglichem Medium und Format erlaubt, sofern Sie den/die ursprünglichen Autor(en) und die Quelle ordnungsgemäß nennen, einen Link zur Creative Commons Lizenz beifügen und angeben, ob Änderungen vorgenommen wurden.

Die in diesem Kapitel enthaltenen Bilder und sonstiges Drittmaterial unterliegen ebenfalls der genannten Creative Commons Lizenz, sofern sich aus der Abbildungslegende nichts anderes ergibt. Sofern das betreffende Material nicht unter der genannten Creative Commons Lizenz steht und die betreffende Handlung nicht nach gesetzlichen Vorschriften erlaubt ist, ist für die oben aufgeführten Weiterverwendungen des Materials die Einwilligung des jeweiligen Rechteinhabers einzuholen.



Metaphern, Analogien und Modellübertragungen

6

In den Erzählungen der Circular Economy und Bioökonomie werden durch Metaphern Analogien zwischen der Biosphäre und dem menschlichen Wirtschaftssystem hergestellt. Manche Konzepte nehmen darüber hinaus noch eine Modellübertragung vor, bei der die Struktur von Ökosystemmodellen auf die Wirtschaft übertragen werden soll. Das Kapitel befasst sich deshalb damit, welche Rolle Metaphern und Analogien im Alltag und in den Wissenschaften spielen und welche Voraussetzungen für eine Modellübertragung erfüllt sein müssen. Dies erfolgt zunächst im Allgemeinen, bevor wir im nachfolgenden Kap. 7 auf Metaphern, Analogien und Modellübertragungen in der Circular Economy und Bioökonomie eingehen.

6.1 Metaphern und Analogien

Zu der Frage, was Metaphern sind und welche Bedeutung sie haben, wurden viele Theorien entwickelt,¹ die wir hier vereinfachend zwei im Grundsatz verschiedenen Ansätzen zuordnen: Klassische Theorien deuten Metaphern als sprachliche Stilmittel, während neuere Ansätze sie in der Regel auf kognitive Zusammenhänge zurückführen. Im Folgenden stellen wir beide Konzepte vor.

6.1.1 Metaphern als sprachliche Stilmittel

In der sprachwissenschaftlichen Deutung werden Metaphern als eine Form der bildlichen Rede² oder besondere Art sprachlicher Beschreibung³ aufgefasst. Sie

¹Rolf 2005.

²Coenen 2013, S. 1.

³Coenen 2013, S. 207.

geht auf Aristoteles zurück, für den Metaphern „ein Mittel der alltäglichen [...] und [...] poetischen Redeweise waren“⁴. Sprachwissenschaftlich liegt einer Metapher eine Analogie – von griech. „análogos“ = übereinstimmend, entsprechend, im gleichen Verhältnis stehend – zugrunde.⁵ Die Wörter Metapher und Analogie sind also keine Synonyme, sondern bezeichnen jeweils etwas anderes. Bei einer sprachwissenschaftlichen Interpretation drückt eine Analogie eine Beziehung zwischen zwei Analogiepartnern aus, während eine Metapher das sprachliche Mittel zu deren Verdeutlichung ist (Zitat 6.1).⁶

Zitat 6.1: Hans Georg Coenen (1931–2016)



„Nicht jede Analogie begründet eine Metapher, aber jede Metapher setzt eine Analogie voraus.“⁷

Eine Analogie liegt vor, wenn für zwei „Analogiepartner“ mindestens eine Gemeinsamkeit identifiziert wurde. In Zitat 6.2 ist ein auf den Sprachwissenschaftler Hans Georg Coenen zurückgehendes Beispiel wiedergegeben. Coenen stellt darin eine Analogie zwischen zwei fiktiven Figuren her.

Zitat 6.2: Hans Georg Coenen (1931–2016)



„Es ist [...] nicht von vornherein widersinnig, eine Analogie zwischen Herkules und Superman anzunehmen. Die Relation der Analogie besteht zwischen zwei Gegenständen genau dann, wenn ein Beschreibungsinhalt als für beide geltend beansprucht oder anerkannt wird. Herkules und Superman sind einander analog, insofern beide als mächtige Nothelfer gelten. Die beiden Beschreibungen, die den Analogiepartnern Herkules und Superman einen gemeinsamen Beschreibungsinhalt [die des Helfers in der Not] zuweisen, bilden die Wurzel der Analogie.“⁸

Coenens Analogie bezieht sich auf Supermann und Herkules. Beide Figuren sind nicht identisch und haben unterschiedliche kulturelle und historische Hintergründe. Superman ist eine Comicfigur des 20. Jahrhunderts, während Herkules dem römischen bzw. griechischen Kulturkreis und deren Sagenwelt zuzurechnen

⁴ Kurz 2009, S. 8.

⁵ Coenen 2013, S. 9.

⁶ Coenen 2013, S. 41.

⁷ Coenen 2013, S. 97.

⁸ Coenen 2013, S. 2, Coenen 2013, S. 97.

ist. Herkules ist die römische Version des griechischen Herakles. Als Sohn des Gottes Zeus und einer menschlichen Frau ist er ein Halbgott. Bekannt sind vor allem die Geschichten, in denen er zwölf übermenschliche Aufgaben im Auftrag des mykenischen Königs erledigen muss, um sich von einer Schuld zu befreien, die er durch die Tötung seiner Kinder auf sich geladen hat. Supermann hat dagegen keine Schuld auf sich geladen und kann fliegen, was Herakles bzw. Herkules nicht kann. Supermann ist auch kein Halbgott, sondern stammt vom fiktiven Planeten Krypton. Auf der Erde lebt er in der Tarnidentität eines Journalisten. Trotz dieser Unterschiede haben Superman und Herkules Gemeinsamkeiten, die sie zu „Analogiepartnern“ machen. Beide sind keine Menschen, und sie setzen ihre übermenschliche Stärke dazu ein, anderen in Notlagen zu helfen. Diese Gemeinsamkeiten werden auch als „Analogiewurzel“ bezeichnet.⁹

Sprachwissenschaftlich gesehen lassen sich Analogien mithilfe von Metaphern anschaulich machen. Die Inhalte eines Sinnbereichs werden dann in der Sprache eines anderen beschrieben.¹⁰ Wir erläutern diesen Zusammenhang im Folgenden an einem von Hugo Caviola stammenden Beispiel,¹¹ das wir in die sprachwissenschaftliche Struktur der von Coenen verwendeten Unterscheidung zwischen Global- und Detailanalogien übertragen haben. Konkret geht es dabei um die Analogie zwischen den Bereichen „Verkehr“ und „Wasser“ (Abb. 6.1).

Eine Globalanalogie stellt Ähnlichkeiten zwischen Bereichen her. Sie enthält mehrere Detailanalogien, für die sie eine Art übergeordnete Klammer darstellt. Der Vergleich der Bereiche Wasser und Verkehr in Abb. 6.1 wird dementsprechend als „Globalanalogie“ bezeichnet, während es sich bei den Vergleichen zwischen einem Fluss und der Verkehrsbewegung, einem Stau und einem Verkehrsstillstand oder einer Insel und einem Straßenbauwerk um Detailanalogien handelt. In den Detailanalogien werden Begriffe aus dem Bereich Wasser auf dem Verkehrsbereich übertragen. Die Bewegung wird als Fluss, Stillstand als Stau und ein Bauwerk als Insel dargestellt. Die Wörter Fluss, Stau und Insel fungieren dabei als Metaphern. Sie können auf den Bereich Wasser wörtlich angewendet werden, auf den Verkehr aber nur im übertragenen Sinne.¹² Im Fall der Insel besteht die Analogiewurzel darin, dass sowohl die wirkliche Insel als auch die Verkehrsinsel von einem Medium umgeben sind, vor dem sie Schutz bieten. Die Insel ist von Wasser umgeben und das Straßenbauwerk vom Verkehr.¹³

⁹Coenen 2013, S. 2.

¹⁰Reheuser 2006, S. 17.

¹¹Der Text, aus dem das Beispiel entnommen wurde (Caviola et al. 2019), wird von seinen Autoren und Autorinnen als „Sprachkompass Landschaft und Umwelt“ bezeichnet. Dabei handelt es sich um ein interaktives Forschungs- und Lehrprogramm. Es soll zeigen, wie Sprache auf das Denken einwirkt und wie mit Metaphern sachfremde Denkmuster in Fachsprachen unreflektiert übernommen werden. Es sollen „Anleitungen zur Sprachreflexion vermittelt werden“, Das Wort „Sprachkompass“ ist selbst eine Metapher (Weiss 2016).

¹²Coenen 2013, S. 45.

¹³Caviola et al. 2019.

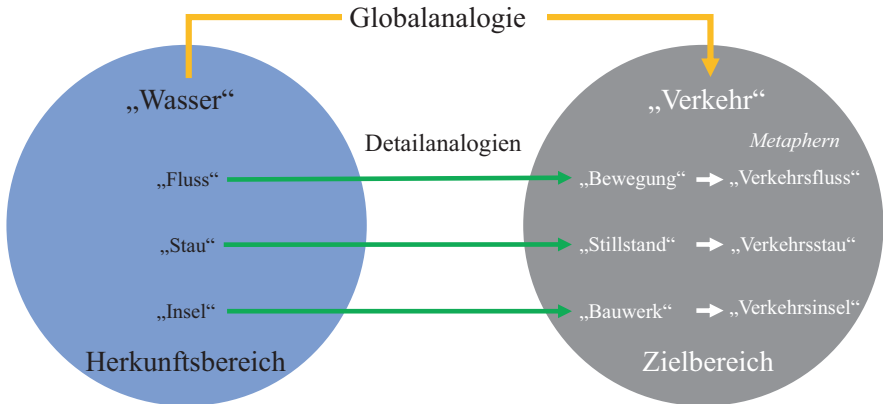


Abb. 6.1 Global- und Detailanalogien. (Eigene Darstellung)

6.1.2 Metaphern als kognitive Strukturen

Die heutige Forschung orientiert sich hauptsächlich an einer kognitiven Metapherndeutung,¹⁴ wie sie von dem Linguisten George Lakoff und dem Psychologen Mark Johnson vorgeschlagen wurde. Als grundlegend für ihre Anfang der 1980er-Jahre entwickelte „kognitive Metaphertheorie“ gilt ihre Veröffentlichung „Metaphors We Live by“¹⁵. Für Lakoff und Johnson sind Metaphern keine sprachlichen Stilmittel, die eine Analogie verdeutlichen, sondern unbewusste Vorstellungen, die sich in Sprache manifestieren.¹⁶ Wenn sie von einer Metapher sprechen, meinen sie nicht den sprachlichen Ausdruck, sondern eine Denkstruktur, die diesen erst ermöglicht.¹⁷ Lakoff und Johnson kehren damit das klassische Verständnis um.¹⁸ Analogien sind für sie nicht die Grundlage einer Metapher, sondern gehen aus ihnen hervor. In der kognitiven Theorie sind Metaphern keine sprachlichen Stilmittel, sondern auf Erfahrungen beruhende Konzepte, die etwas Abstraktes oder Unbekanntes mit Bildern aus einem bekannten Bereich verbinden. Dabei werden Vorstellungen aus dem Herkunftsbereich der Metaphern auf den Zielbereich übertragen. Kurz gesagt, wir denken in Metaphern, um Unbekanntes zu verstehen (Zitat 6.3).¹⁹

¹⁴Gansen 2008, S. 4.

¹⁵Lakoff und Johnson 1980.

¹⁶Coenen 2013, S. 218.

¹⁷Thiel-Dirksen 2018, 41 f.

¹⁸Coenen 2013, S. 219.

¹⁹Thiel-Dirksen 2018, S. 42; Coenen 2013, S. 208, 214; El Ouassil und Karig 2021, S. 153.

Zitat 6.3: George Lakoff (*1941), Mark Johnson (*1949)



„Das Wesen der Metapher besteht darin, daß wir durch sie eine Sache oder einen Vorgang in Begriffen einer anderen Sache bzw. eines anderen Vorgangs verstehen und erfahren können.“²⁰

Eine wichtige Rolle in der kognitiven Metapherntheorie spielen Deutungskonzepte, die als „Schemata“ oder „Frames“ bezeichnet werden. Sie beruhen oft auf körperlichen Erfahrungen, die beim Denken in Metaphern auf soziale oder andere Zusammenhänge übertragen werden.²¹ Zur Beschreibung zwischenmenschlicher Beziehungen werden beispielsweise Vorstellungen aktiviert, die ursprünglich mit Wärmeempfindungen verbunden sind. Jemand schenkt uns ein warmes Lachen oder lächelt kalt, ein Mensch ist warm- oder kaltherzig, ein Blick kann warm oder kalt und Liebe heiß oder abgekühlt sein. Laut Lakoff und Johnson kommen diese Assoziation daher, dass wir als Kinder die Nähe und Zuneigung unserer Eltern mit einer sensorischen Wärmeerfahrung verbinden und diesen Zusammenhang auf andere Gegebenheiten übertragen.²² Unterschiedliche Wahrnehmungen wie in diesem Fall das Temperaturempfinden und zwischenmenschliche Gefühle werden, so die Theorie, neurologisch an verschiedenen Stellen im Gehirn verarbeitet und synaptisch miteinander verbunden.²³

Um die gedankenleitende Wirkung von Metaphern zu verdeutlichen, greifen wir im Folgenden erneut Caviolas Beispiel der Verkehrsinsel auf. Verkehrsinseln sind „Straßenbauwerke“. Nach Wikipedia²⁴ handelt es sich bei ihnen um „in der Fahrbahn liegende abgegrenzte Flächen, die in der Regel nicht befahren werden dürfen“. Wenn wir uns das Straßenbauwerk als „Verkehrsinsel“ denken, übertragen wir, laut kognitiver Theorie, die Vorstellung von einer Insel „aus dem Sinnbereich Wasserlandschaft in den Sinnbereich Verkehrsbauten“²⁵. Der Herkunftsbereich der Metapher, die Wasserlandschaft, dient dabei als Bildspender für den Zielbereich Verkehr. Im Unterschied zu Abb. 6.1, wo der Vergleich zwischen Wasser und Verkehr als Globalanalogie dargestellt ist, werden, wie die kognitive Theorie sagt, aber nicht nur Begriffe übertragen, sondern vor allem Denkmuster. Wenn wir ein Straßenbauwerk als Insel bezeichnen, wirkt in unserem Denken, so Caviola et al., eine „konzeptuelle Metapher“, die den Verkehr als „Wasserfluss“ deutet. Das „Wasser-Frame“ setzt dabei einen Deutungsrahmen, der auf Er-

²⁰Lakoff und Johnson 2021, S. 13.

²¹Coenen 2013, S. 212; Lakoff und Johnson 1980, S. 25 ff.; Niebert 2010, S. 17.

²²Lakoff und Johnson 2008, S. 45.

²³El Ouassil und Karig 2021, S. 154.

²⁴Wikipedia 2021.

²⁵Caviola et al. 2019.

fahrungen mit Wasser zurückgeht.²⁶ Kenntnisse, die wir über das Verhalten von Wasser haben, werden auf den Verkehr übertragen. Letzterer wird deshalb wie Wasser „umgeleitet“ und die Verkehrsinsel vom „Verkehrfluss umspült“.²⁷ In der klassischen sprachwissenschaftlichen Theorie beruht die Metapher der Verkehrsinsel auf Gemeinsamkeiten, die zwischen einer wirklichen Insel und dem Straßenbauwerk identifiziert wurden und bewusst durch den Ausdruck Verkehrsinsel herausgestellt werden. Aus der Perspektive der kognitiven Metaphertheorie sind hier jedoch eher unbewusste Vorstellungen wirksam.²⁸

6.1.3 Metaphern und ihre Wirkung

Laut kognitiver Theorie übertragen Metaphern bekannte Erklärungsmuster auf unbekannte Zusammenhänge. Auf diese Weise machen sie schwer verständliche Bereiche anschaulich, erleichtern das intuitive Verständnis und führen zu neuen Einsichten. Metaphern lenken die Wahrnehmung aber auch, und zwar auf Aspekte, die der bildspendende Bereich mit dem unbekanntem teilt. Unterschiede blenden sie dagegen aus (Zitat 6.4). Sie können somit nicht nur zu neuen Ansichten führen, sondern stattdessen auch das Gegenteil bewirken und den Blick verstellen.

Zitat 6.4: George Lakoff (*1941), Mark Johnson (*1949)



„Die Systematik, aufgrund derer wir den einen Aspekt eines Konzepts in Bildern eines anderen Konzepts erfassen können [...], verbirgt zwangsläufig die anderen Aspekte dieses Konzepts.“²⁹

Jede Metapher hat eine Filterwirkung und erzeugt in unserer Wahrnehmung einen „blinden Fleck“, der Unähnlichkeiten („Disanalogien“) verdeckt. „Mit der Wahl eines Bildes oder einer Metapher [...] schließen wir ein anderes Bild, das auch möglich wäre, – zumindest vorläufig – aus“.³⁰ Bei der o. g. Verkehrsinsel beispielsweise werden die Merkmale, die bei dem Straßenbauwerk an eine Insel erinnern, durch die Metapher hervorgehoben, während Eigenschaften, die es von ihr unterscheiden, wie in Abb. 6.2 dargestellt als „blinder Fleck“ im Hintergrund verschwinden.³¹

Zu den Disanalogien der Metapher Verkehrsinsel gehört beispielsweise, dass das, was sich um das Straßenbauwerk bewegt, etwas anderes ist als Wasser. Ver-

²⁶Niebert 2010, S. 17; Caviola et al. 2019.

²⁷Caviola et al. 2019.

²⁸Caviola et al. 2019; Kurz 2009, S. 24.

²⁹Lakoff und Johnson 2021, S. 18.

³⁰Caviola 2013b.

³¹Caviola et al. 2019; Coenen 2013, S. 79.



Abb. 6.2 Der „blinde Fleck einer Metapher blendet bestimmte Aspekte der Wirklichkeit aus.³² (Eigene Darstellung mit Bildelementen aus Pixabay)

kehr lässt sich nicht allein mithilfe physikalischer Strömungsgesetze beschreiben. In den „Tropfen“ des Verkehrs, den Fahrzeugen, sitzen Menschen, die sich nicht „vom Fluss treiben lassen“, sondern Ziele haben und Entscheidungen treffen. Wie viele von ihnen zur selben Zeit dieselbe Straße passieren, hängt nicht nur von Strömungsgesetzen ab, sondern auch von ihrem persönlichen Verhalten. Autofahrerinnen und -fahrer können beispielsweise im Falle eines Streiks im öffentlichen Nahverkehr die Entscheidung fällen, zuhause zu bleiben, was Wassertropfen nicht können, wenn ein Fluss zu viel Wasser führt. Das Wasserframe lenkt also die Aufmerksamkeit auf die physikalisch beschreibbaren „Fließeigenschaften“ des Verkehrs und blendet psychologische und soziale Aspekte aus. In gewisser Weise ähneln Verkehrsbewegungen dem Verhalten von strömendem Wasser, in anderer Beziehung tun sie das jedoch nicht. Analogien und Metaphern erzeugen deshalb nur eine partielle Identität.³³ Verkehr ist nicht gleich Wasser, sondern ähnelt diesem nur in Bezug auf einzelne Aspekte. Ein weiteres, diesmal auf Lakoff und Johnson zurückgehendes Beispiel, das zeigen soll, dass Metaphern keine Identität erzeugen, ist die Analogie „Zeit ist Geld“. Sie ist in Exkurs 2 wiedergegeben.

³²Darstellung angelehnt an Argumentation bei Caviola et al. 2019.

³³Lakoff und Johnson 2021, S. 21.

Exkurs 2: Zeit ist nicht Geld

In ihrem Buch „Leben in Metaphern“ („Metaphors We Live By“) verwenden Lakoff und Johnson den Ausspruch „Zeit ist Geld“, um zu verdeutlichen, dass Metaphern keine Identität herstellen.³⁴ Die Redewendung wird historisch Benjamin Franklin zugeschrieben, der damit zum Ausdruck bringen wollte, dass Reichtum durch kluges Ausnutzen der Zeit vermehrt werden kann. Inzwischen enthält unsere Alltagssprache viele Redewendungen, die uns dazu bringen, „über Zeit so zu denken, als sei sie Geld“.³⁵ Zeit kann „gespart“, „verschenkt“ oder „investiert“ werden und etwas, was wir tun, „lohnt“ sich oder es „kostet“ Zeit. Wir verstehen und erfahren Zeit als etwas, das ausgegeben, verschwendet oder gewonnen werden kann. Die Metapher suggeriert, dass alle Formen von Zeit mit einem Geldwert bemessen werden können. Zeit ist aber nicht mit Geld identisch.³⁶ Sie kann nicht zurückverlangt werden, wenn sie verschwendet wurde, und wir können sie auch nicht wie Geld bei einer Bank leihen. Die Metapher blendet aus, dass Zeit nicht nur ökonomisch genutzt werden, sondern als Lebenszeit oder Mußezeit erlebt werden kann. Auch der physikalische Zeitbegriff lässt sich durch die Metapher nicht fassen.

6.1.4 Metaphern und Naturbilder

Metaphern können auch unterschiedliche Vorstellungen von der Natur transportieren. Die in Abschn. 4.8 zusammengestellten Naturperspektiven sind dementsprechend auch mit unterschiedlichen metaphorischen Konzepten und Vokabularen verbunden. Sie lenken den Fokus auf bestimmte Aspekte und blenden andere aus.

In einem animistischen Naturverständnis³⁷ oder einem Naturbild, das die Natur als organische Einheit begreift³⁸, spielen beispielsweise poetisch klingende Metaphern eine Rolle, die die Harmonie, Unendlichkeit oder spirituellen Aspekte von Natur betonen: Die Natur wird als „heilig“, „lebendig“ oder „mütterlich“ beschrieben und Tiere als „Geister“ oder „Verwandte“ vorgestellt. Metaphern, die aus wissenschaftlichen Fachbegriffen bestehen (Abschn. 6.1.5), weisen dagegen auf ein mechanistisches³⁹, chemisch-physikalisches⁴⁰ oder systemisches⁴¹ Naturbild hin. Wenn die Natur als „Regelkreis“ oder „System“ beschrieben wird, ist deshalb auch

³⁴ Lakoff und Johnson 2021, S. 15 ff.

³⁵ Caviola 2013b.

³⁶ Lakoff und Johnson 2021, S. 21; Caviola 2013b.

³⁷ Perspektive 2.

³⁸ Perspektive 3.

³⁹ Perspektive 15.

⁴⁰ Perspektive 16.

⁴¹ Perspektive 22.

von einem dahinterstehenden kybernetischen Naturverständnis auszugehen⁴², das an die Vorstellung einer berechenbaren und kontrollierbaren Natur gekoppelt ist. Die Natur wird dann oft als bewirtschaftbares Managementobjekt⁴³ wahrgenommen.

Manche Metaphern können allerdings mehrdeutig sein und je nach Kontext andere Naturverständnisse transportieren. Zu ihnen gehört beispielsweise das Kreislaufmotiv.⁴⁴ Wenn es mit kybernetischen, technischen oder ökonomischen Begriffen verknüpft ist, verweist es auf ein systemisches Naturverständnis, und wenn es eine Harmonie begründet, auf ein organisch-ganzheitliches Naturbild.

Auch für die in Abschn. 5.7 beschriebene Natur-Kultur-Dichotomie, in der wir die Natur als etwas Äußeres uns Gegenüberstehendes wahrnehmen, kann ggf. ein Erklärungsvorschlag aus der kognitiven Metaphertheorie abgeleitet werden. Der Natur-Kultur-Dualismus wäre dann das Resultat einer körperlichen Erfahrung, die darin besteht, dass wir unseren Körper als Subjekt mit einer begrenzenden Oberfläche erleben und die Welt aus einer „Innen-Außen-Perspektive“ wahrnehmen. Diese Sichtweise übertragen wir dann auch auf alles andere. Folgen wir dieser Argumentation, nehmen wir Natur als Gegenüber wahr, weil wir uns als Individuen erleben, die von „der sie umgebenden Welt abgegrenzt sind“⁴⁵.

6.1.5 Metaphern in den Wissenschaften

In den Wissenschaften ist es wichtig, objektiv, präzise und unmissverständlich zu formulieren. Metaphern, die ja etwas anderes meinen, als es die wörtliche Bedeutung hergibt, sollten deshalb in ihrer Sprache eigentlich keinen Platz haben. Dementgegen steht jedoch, dass, wenn Lakoff und Johnson recht haben, Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler wie alle anderen Menschen auch weitgehend metaphorisch denken. Es überrascht also nicht, dass Metaphern nicht nur in der Alltagssprache, sondern auch im wissenschaftlichen Umfeld in großer Zahl zu finden sind. Beispiele sind die in der Biologie verwendeten Ausdrücke „ökologische Nische“, „Botenmolekül“, „Bauanweisung für Moleküle“, „kippende Ökosysteme“ sowie Enzyme und Substrate, die sich wie „Schloss und Schlüssel“ verhalten.⁴⁶ Es handelt sich um Metaphern, weil mit „Nische“ gewöhnlich eine Wandvertiefung bezeichnet wird, eine „Bauanweisung“ sich an Handwerker und Handwerkerinnen richtet, „Kippen“ ein mechanischer Vorgang ist und die Begriffe „Schloss und Schlüssel“ sich ursprünglich auf eine Schließvorrichtung beziehen.

Die in den Wissenschaften verwendeten Metaphern sind oft nur schwer als solche zu erkennen, weil es sich meistens um „konventionelle“ oder „tote“

⁴² Perspektive 22.

⁴³ Perspektive 18.

⁴⁴ Siehe hierzu Band 2: „Kreisläufe“.

⁴⁵ Lakoff und Johnson 2021, S. 72.

⁴⁶ Metaphern kursiv, Caviola et al. 2021.

Metaphern handelt. Letztere hatten einmal eine metaphorische Funktion, haben diese aber durch häufigen Gebrauch verloren und sind zu feststehenden Ausdrücken geworden. Beispiele sind die physikalischen Fachbegriffe „Kettenreaktion“, „Gravitationsfeld“, „Kraft“, „Arbeit“, „Widerstand“, und „Strom“. Sie haben ihren Ursprung in der Alltagssprache und ihre metaphorische Herkunft ist uns in der Regel nicht bewusst. Bei den im ersten Absatz dieses Abschnitts genannten Beispielen handelt es sich dagegen um konventionelle Metaphern. Sie sind als Bezeichnungen etabliert, können aber noch als Metaphern erkannt werden. Neue Metaphern, deren Verständnis noch nicht eingeübt ist, werden als „originelle“ Metaphern bezeichnet.⁴⁷ Sie haben in den Wissenschaften vor allem zwei Funktionen: Sie sollen bei der Erkenntnissuche und deren Vermittlung helfen (Zitat 6.5).⁴⁸

Zitat 6.5: Marion Christine Reheußer (2006)



„Dort, wo sich neue, noch schwer einzuordnende Erfahrungen und Realitäten auf tun, wo Unsicherheiten herrschen und Zusammenhänge gesucht werden, wo Gedanken von hohem Abstraktionsgrad einsichtig dargestellt werden sollen, wird die Metapher zum unentbehrlichen Werkzeug.“⁴⁹

Im Folgenden möchten wir anhand eines Beispiels, das wir einer Publikation der Sozialwissenschaftlerin Anne Eisenberg⁵⁰ entnommen haben, zeigen, dass Metaphern in den Wissenschaften nicht nur inspirierend wirken und zu neuen Erkenntnissen führen können, sondern ggf. auch zu Fehlschlüssen verleiten. Eisenbergs Beispiel kommt aus der Geschichte der Physik und bezieht sich auf Theorien, die im 17. Jahrhundert erklären sollten, was Licht ist. Populär war zu dieser Zeit vor allem die „Korpuskulartheorie“ Isaac Newtons. Für Newton, dessen Theorie gut in das mechanische Weltbild der Zeit passte, war Licht ein Strom aus unveränderlichen, bewegten „Teilchen“. Manche optischen Phänomene konnten allerdings mit der Theorie nicht erklärt werden. Wie ein Muster aus hellen und dunklen Bereichen entstehen kann, wenn Licht kleine Öffnungen passiert oder auf die Kanten von Gegenständen trifft, ließ sich aus ihr nicht ableiten. Newtons Zeitgenossen Christiaan Huygens⁵¹ gelang es, dieses Phänomen mithilfe einer Analogie zu erklären. Er verglich die Ausbreitung von Licht mit der Bewegung des Wassers, die sich nach dem Auftreffen eines Steines auf der Wasseroberfläche als Welle beobachten lässt. Durch das metaphorische Konzept „Licht ist eine Welle“ konnte Huygens, die o. g. optischen Phänomene erklären.

⁴⁷ Caviola et al. 2019; Coenen 2013, S. 85.

⁴⁸ Eisenberg 1992; Caviola et al. 2021.

⁴⁹ Reheußer 2006, S. 17.

⁵⁰ Eisenberg 1992.

⁵¹ Spektrum.de 1998.

Mit der in der Wellenmetapher enthaltenen Licht-Wasser-Analogie konnte Huygens eine bis dahin unbekannte Eigenschaft des Lichtes, seinen „Wellencharakter“, nachweisen, die Wellenmetapher führte ihn aber auch zu falschen Einsichten. Da es für die Wasserwelle ein Medium gibt, nämlich Wasser, schloss Huygens, dass es ein solches Medium auch für eine Lichtwelle geben muss. Er nannte dieses Medium, das, wie er annahm, aus elastischen, zu Schwingungen angeregten Teilchen bestand, „Äther“. Dem heutigen Wissenstand nach gibt es diesen Äther nicht. Unserer Ansicht nach macht der Fall Huygens deshalb zweierlei deutlich: Er zeigt, dass sich mit Metaphern und Analogien neue Zusammenhänge erkennen lassen, er zeigt aber auch, dass sie nur einen begrenzten Anwendungsbereich haben. Mit der Postulierung des Äthers hatte Huygens seine Analogie überdehnt und den Anwendungsbereich der Metapher verlassen.

Huygens Arbeiten sind für uns aber noch aus einem anderen Grund von Interesse, da sich die mathematischen Beziehungen, die Überlagerungen von Wasserwellen beschreiben, auch zur Berechnung optischer Phänomene eignen. Huygens Arbeit ging damit über metaphorisches Denken und das Herstellen von Analogien hinaus. Sie bestand in einer Transformation, durch die ein wissenschaftliches Modell, das aus dem Herkunftsbereich der Wellenmetapher stammt, auf optische Phänomene übertragen wird.

6.2 Von der Metapher zur Modellübertragung

Modelle sind, allgemein ausgedrückt, vereinfachende Darstellungen von Objekten oder Zusammenhängen. Sie können in bildhafte und theoretische Modelle sowie Simulationen unterschieden werden. Ein bildhaftes Modell ist beispielsweise ein Spielzeugauto. Es ist ein Abbild des Originals, weil es eine dem richtigen Kraftfahrzeug ähnliche Form hat. Theoretische Modelle sind dagegen nicht bildhaft, sondern bestehen aus abstrakten geistigen Vorstellungen. Häufig handelt es sich bei ihnen um mathematische Formulierungen, die reale Gegebenheiten beschreiben sollen. Ein Beispiel für ein theoretisches Modell sind die Gravitationsgesetze Newtons, die die Bewegung eines Gegenstandes in der „Sprache [einer] Theorie“⁵² wiedergeben. Simulationen wenden theoretische Modelle an, um reale Vorgänge nachzuahmen. Über diese Modellkategorien hinaus gibt es auch Mischformen.⁵³ Eine chemische Strukturformel beispielsweise bildet auf der einen Seite ein Molekül ab, auf der anderen Seite ist sie aber auch ein Modell, in das Theorien über chemische Bindungen eingeflossen sind. Wenn wir es mit Modellen zu tun haben ist es wichtig, dass wir uns des Öfteren daran erinnern, dass es sich bei ihnen um vereinfachende Abstraktionen handelt, die zwar einzelne Aspekte der Wirklichkeit abbilden, aber nicht mit ihr identisch sind (Zitat 6.6). Ein Stadtplan

⁵²Zoglauer 1994, S. 16.

⁵³Zoglauer 1994; Forrester 1972, S. 66.

beispielsweise ist nur das Modell einer Stadt und nicht mit der Stadt selbst zu wechseln.

Zitat 6.6: Georg Picht (1913–1982)



„Heute nennen wir ein [...] Abbild ‚Modell‘ und sind dem Wahn verfallen, weil wir die von uns selbst gebastelten Modelle beherrschen, seien wir fähig die Wirklichkeit zu beherrschen.“⁵⁵

Wie kommt man von einer Metapher oder Analogie zu einer Modellübertragung? Damit Modelle von einem Wissensgebiet auf ein anderes übertragen werden können, müssen bestimmte Voraussetzungen erfüllt sein. Diese sind in Abb. 6.3, die an eine Grafik des Philosophen Thomas Zoglauer⁵⁶ angelehnt ist, dargestellt. Gezeigt ist das formale Prinzip einer Modellübertragung, die hier exemplarisch zwischen technischen und biologischen Systemen erfolgt. Solche Übertragungen werden häufig in der Kybernetik vorgenommen. Sie sind dort grundsätzlich in beide Richtungen möglich.

In Abb. 6.3 wird ein Modell von einem Herkunfts- auf einen Zielbereich übertragen. Damit eine solche Übertragung möglich ist, müssen sich die beiden Bereiche hinreichend ähnlich sein. Es genügt aber nicht, diese Ähnlichkeit zu benennen, sondern es wird auch eine Theorie benötigt, mit der sich beide Bereiche beschreiben lassen. Für beide muss eine gemeinsame theoretische Grundlage gefunden werden.

Bei einer Modellübertragung werden die Gesetzmäßigkeiten und mathematischen Beziehungen, die den Herkunfts-bereich charakterisieren, dazu verwendet, den Zielbereich zu beschreiben. Bei der Übertragung bleibt die Struktur des Modells grundsätzlich unverändert. Für die Elemente und Begriffe des Herkunfts-bereich gilt das jedoch nicht. Sie werden nicht übertragen, sondern durch die des Zielbereichs ersetzt bzw. mit diesen identifiziert. Die Begriffe des einen Modells werden dabei gewissermaßen in die des anderen Modells „übersetzt“.⁵⁷ In Abb. 6.3 wird A zu X, B zu Y und C zu Z.

Beispiele für Modellübertragungen durch die Circular Economy finden sich, wie wir in Abschn. 7.2.2 noch ausführen werden, u. a. in der Industriellen Ökologie. Hier werden u. a. mathematische Strukturen, die Nahrungsbeziehungen in einem Ökosystem beschreiben, dazu verwendet, den Stoffaustausch zwischen Wirtschaftsakteuren abzubilden. Letztere übernehmen dann im übertragenen Modell die Funktion einer biologischen Art. Abfallaufbereitungsunternehmen werden beispielsweise mit Organismen identifiziert, die sich von abgestorbenen

⁵⁵ Picht 1993b, S. 142.

⁵⁶ Zoglauer 1994, S. 16.

⁵⁷ Zoglauer 1994, S. 17.

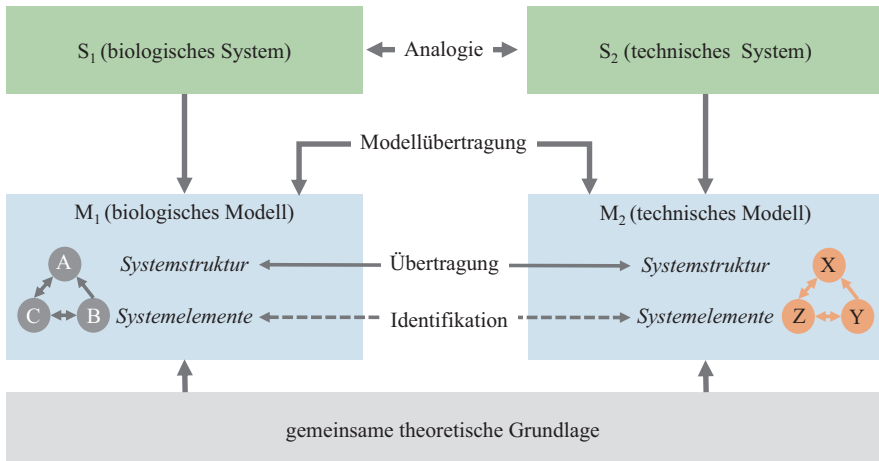


Abb. 6.3 Formale Darstellung einer Modellübertragung zwischen biologischen und technischen Systemen.⁵⁴ (Eigene Darstellung, in Anlehnung an Zoglauer 1994, S. 16)

Lebewesen ernähren. Beide Modelle werden in ihrer theoretischen Basis auf die Thermodynamik und Kybernetik zurückgeführt.

6.3 Formale Gleichsetzung begründet keine Identität

Wie wir bereits in Abschn. 6.1.3 beschrieben haben, entfalten Metaphern und Analogien eine suggestive Wirkung, indem sie die Aufmerksamkeit auf Gemeinsamkeiten des bildspendenden und empfangenden Bereichs lenken. Da die Unterschiede so jedoch verdeckt werden, beinhaltet das Denken und Sprechen in Metaphern auch die Gefahr, dass die analog zueinander gesetzten Bereiche zunehmend gleichgesetzt werden. Aus der Aussage, dass A aus einer bestimmten Perspektive wie B ist, wird dann schnell eine Gleichsetzung von A und B. Dieses Risiko bringen auch die zuletzt beschriebenen Modellübertragungen mit sich. Wie der bereits genannte Zoglauer in Zitat 6.7 schreibt, werden Objekte oder Systeme ggf. nicht nur formal, also im Modell, gleichgesetzt, sondern allmählich auch ihrem Wesen nach als identisch betrachtet. Laut Zoglauer etablieren sich solche ontologischen Gleichsetzungen vor allem bei Modellübertragungen zwischen Technik und Biologie, weil, wie er an anderer Stelle schreibt, hier „neben Begriffen, Modellen und Methoden [...] unbewusst [auch] naturphilosophische oder metaphysische

⁵⁴ Ergänzende Darstellung einer Abbildung bei Zoglauer 1994, S. 16.

Vorstellungen übertragen werden, die unsere Naturauffassung prägen, aber in der wissenschaftlichen Praxis nur selten reflektiert werden“.⁵⁸

Zitat 6.7: Thomas Zoglauer (*1960)



„Bekanntlich haben Philosophen wie Descartes, Hobbes oder La Mettrie das Herz des Menschen mit einer Pumpe verglichen, die Knochen und Muskeln mit mechanischen Hebeln und im Gesamtorganismus des Menschen sahen sie eine vollkommene Maschine, durchaus mit einem präzise arbeitenden Uhrwerk vergleichbar. Damit wird mehr als die Feststellung einer bloß oberflächlichen Analogie intendiert; die Maschine dient als Modell zur Erklärung des Lebens. Dabei wird dem Modell ein Wahrheitsanspruch unterstellt, der mit der Adäquatheit von Modell und Original begründet wird. Mensch und Maschine sind sich ähnlich, weil der Mensch seinem Wesen nach maschinenhaft ist. Von der Postulierung einer Ähnlichkeit ist es nur noch ein kleiner Schritt zur ontologischen Gleichsetzung von Mensch und Maschine. Was zuerst Metapher ist, wird zum Modell und zuletzt zu einer Wesensgleichheit.“⁵⁹

Analogien zwischen Technik und Biologie gibt es nicht nur in Form von Sprache, sondern auch als bildhafte Darstellungen. Eine besonders eindrucksvolle biologisch-technische Bildmetapher ist das in Abb. 6.4 gezeigte Bild „Der Mensch als Industriepalast“. Das fast lebensgroße Plakat des Berliner Arztes und Schriftstellers Fritz Kahn erschien 1926 als Beilage zu seiner humanbiologischen Buchreihe „Das Leben des Menschen“, war aber auch separat als Lehrtafel und Wanddekoration erhältlich. Kahn, der Metaphern nicht nur bildhaft, sondern auch in seinen Texten einsetzte,⁶⁰ entwickelte seine visuellen Mensch-Maschine-Metaphern gemeinsam mit professionellen Illustratoren.⁶¹

In seinen Illustrationen überträgt Kahn ein bildhaftes Maschinenmodell von der Technik in die Biologie. Seine Bilder visualisieren die Funktionen von Organen als „industrielle Vorgänge oder alltägliche Bürosituationen“⁶². Wie eine überregionale Berliner Tageszeitung 1932 schrieb, haben seine Bilder, neben ihrer erklärenden Funktion, auch eine suggestive Wirkung. In der Vossischen Zeitung hieß es, dass sie „sich der Phantasie mit der Hartnäckigkeit von Halluzinationen auf[drängen]“ und „das Maschinenhafte des Organischen“ betonen.⁶³ Obwohl Kahn mit seinen Bildern hauptsächlich didaktische Ziele verfolgte, zeigt das Zitat aus der Vossischen Zeitung, dass seine Bilder beim Betrachter auch eine Eigendynamik ent-

⁵⁸ Zoglauer 1994, S. 12.

⁵⁹ Zoglauer 1994, S. 14.

⁶⁰ Er sprach beispielsweise vom Menschen als „komplizierteste Maschine“; Berliner Illustrierte Zeitung (Reproduktion in Debschitz und Debschitz 2022).

⁶¹ Debschitz und Debschitz 2022; Debschitz und Doudová 2017.

⁶² Werkstoff Verlag 2018.

⁶³ Eilers 2015, S. 9 zitiert hier eine Rezension in der Vossischen Zeitung vom 14.8.1932.

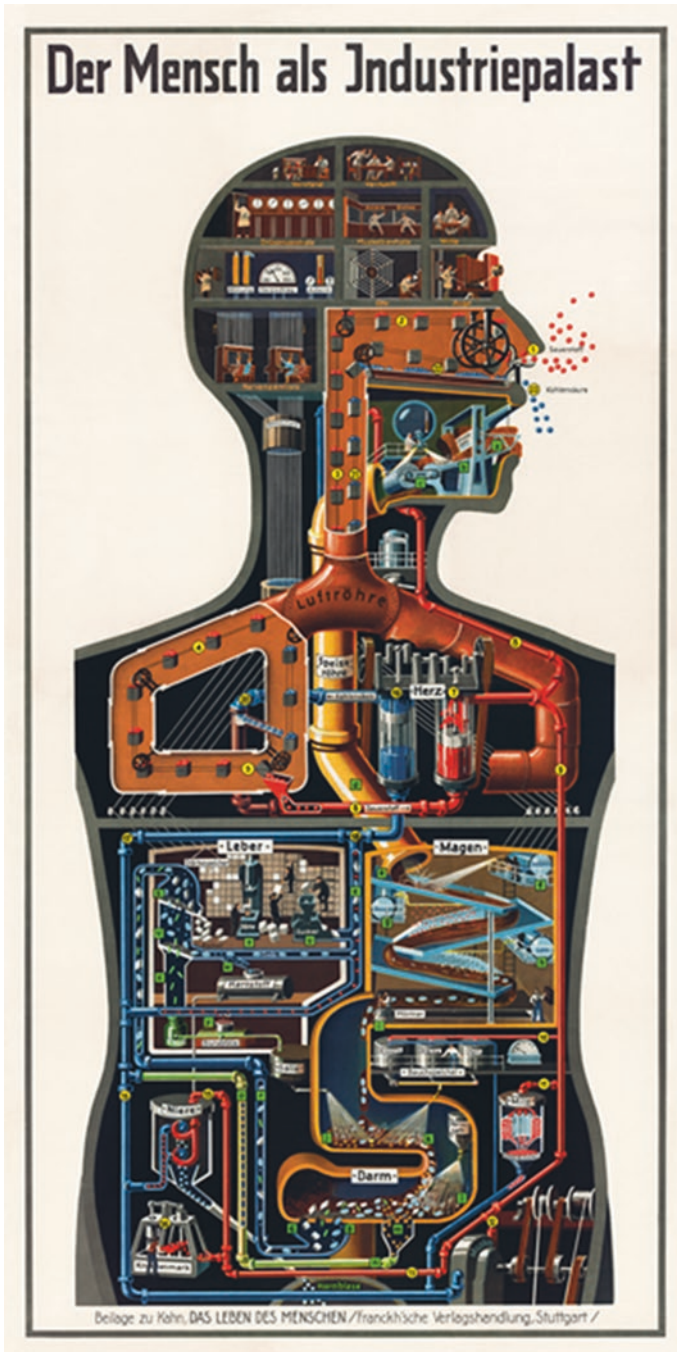


Abb. 6.4 Lehrtafel: „Der Mensch als Industriepalast“ (Fritz Kahn 1926). (© Kosmos, Stuttgart/Debschitz, www.fritz-kahn.com)

falten können. Es drängt sich unmittelbar die Frage auf, wie viel Menschen mit Maschinen gemeinsam haben. „Funktionieren“ sie so ähnlich, oder sind sie vielleicht sogar etwas Vergleichbares? Aus Kahns Schriften geht wohl eindeutig hervor, dass er „Mensch und Maschine niemals verwechselt hätte“ und Technik für ihn nur ein „schwaches Abbild der Natur“ war.⁶⁴ Die künstlerische Verfremdung war für Kahn nur ein Mittel, um auf eine faszinierende Realität zu verweisen. Seine Bilder waren vor allem didaktisch motiviert. Kahn nutzte Technikanalogien, um biologische Zusammenhänge zu verdeutlichen und um bei seiner Leserschaft Interesse an der Funktionsweise des eigenen Körpers zu wecken.⁶⁵

6.4 Umgang mit Metaphern, Analogien und Modellübertragungen⁶⁶

Wie soll man nun mit der Ambivalenz von Metaphern, Analogien und Modellübertragungen umgehen? Aufgrund ihrer erkenntnis- und gedankenleitenden Wirkung ist vor allem in den Wissenschaften sicherlich eine besondere Sensibilität für den Umgang mit ihnen gefragt. Wie lassen sich hier, da es ohne Metaphern im Denken und in der Sprache nicht geht, Missverständnisse und Fehldeutungen vermeiden? Laut Caviola et al.⁶⁷, deren Standpunkt wir hier übernehmen, ist zunächst einmal wichtig, dass wir Metaphern überhaupt als solche erkennen. Sensibel im Umgang mit ihnen können wir nur sein, wenn wir bemerken, dass wir es mit Metaphern, Analogien und Modellübertragungen zu tun haben. Erst dann können wir ihren Geltungsbereich untersuchen und blinde Flecken bestimmen. Für das Letztere müssen wir die Aufmerksamkeit bewusst auf Punkte richten, in denen eine Disanalogie zwischen bildspendendem und empfangendem Bereich besteht. Letzteres werden wir in Abschn. 7.3 mit Blick auf die Circular Economy und Bioökonomie vornehmen.

Weiterhin ist es wichtig, die spezifische Perspektive einer Metapher wahrzunehmen. Auf diese Art und Weise können Haltungen und Interessen identifiziert werden, die mit der Verwendung unterschiedlicher Begriffe verbunden sind. Beispiele hierzu sind die für verschiedene Naturbilder stehenden Begriffe in Abschn. 6.1.4 oder die Funktionsweise der Metapher Cradle to Cradle, die wir in Abschn. 7.2.1 erläutern. Auch Beobachtungen, welche Assoziationen und Wertungen sich mit Metaphern bei uns selbst und bei anderen einstellen, sind hilfreich. Gerade die Wahrnehmung anderer schützt vor einer Verengung der eigenen Perspektive. In den Wissenschaften heißt das, über die eigenen Fachgrenzen hinaus interdisziplinäre Zusammenarbeiten zu suchen und die Perspektiven von Außenstehenden auf das eigene Fachgebiet wahr- und ernst zu nehmen.

⁶⁴ Persönliche Mitteilung Uta von Debschitz 2023.

⁶⁵ Debschitz und Debschitz 2022.

⁶⁶ Zoglauer 1994; Caviola et al. 2021, 2019.

⁶⁷ Caviola et al. 2019.

Open Access Dieses Kapitel wird unter der Creative Commons Namensnennung 4.0 International Lizenz (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.de>) veröffentlicht, welche die Nutzung, Vervielfältigung, Bearbeitung, Verbreitung und Wiedergabe in jeglichem Medium und Format erlaubt, sofern Sie den/die ursprünglichen Autor(en) und die Quelle ordnungsgemäß nennen, einen Link zur Creative Commons Lizenz beifügen und angeben, ob Änderungen vorgenommen wurden.

Die in diesem Kapitel enthaltenen Bilder und sonstiges Drittmaterial unterliegen ebenfalls der genannten Creative Commons Lizenz, sofern sich aus der Abbildungslegende nichts anderes ergibt. Sofern das betreffende Material nicht unter der genannten Creative Commons Lizenz steht und die betreffende Handlung nicht nach gesetzlichen Vorschriften erlaubt ist, ist für die oben aufgeführten Weiterverwendungen des Materials die Einwilligung des jeweiligen Rechteinhabers einzuholen.



Circular Economy und Bioökonomie: Weltbild und Weltanschauung

7

Bei der Circular Economy und Bioökonomie handelt es sich um Wirtschaftsformen, in denen technische und ökonomische Konzepte eine wichtige Rolle spielen. Ihr Weltbild enthält dementsprechend sowohl eine technisch-naturwissenschaftliche als auch eine ökonomische Perspektive. Beide Sichtweisen sind durch die Systemtheorie miteinander verbunden. Über Metaphern wird die Circular Economy und Bioökonomie teilweise aber auch mit ganzheitlichen, teils romantisierenden Naturbildern verknüpft. In der Kommunikation beider Wirtschaftsformen lassen sich dementsprechend Motive finden, die Weltanschauungen transportieren. Im vorliegenden Kapitel stellen wir für die Bioökonomie und Circular Economy relevante Weltbildfragmente zusammen, fragen nach der Rolle von Metaphern, Analogien und Modellübertragungen im Denken beider Wirtschaftsformen sowie nach dem „blinden Fleck“ der verwendeten Analogien. Abschließend betrachten wir an zwei Beispielen, welche weltanschaulichen Motive in der Kommunikation beider Wirtschaftsformen zum Teil transportiert werden.

7.1 Weltbildfragmente

In der Circular Economy und Bioökonomie werden die Begriffe Natur und Kultur systemisch ausgelegt. In dem zugrunde gelegten Modell ist das Erdsystem, die Biosphäre, energetisch offen und stofflich geschlossen, während das aktuelle Wirtschaftssystem stofflich und energetisch offen ist. Beide Systeme sind aufeinander bezogen und werden sowohl als Gegensätze wie auch als zusammengehörig dargestellt.

Um ihre Vorstellungen zu vermitteln, bedient sich ein Teil derjenigen, die sich mit einer oder beiden Wirtschaftsformen auseinandersetzen, einer ausgeprägt metaphorischen Sprache. Die verwendeten Metaphern stellen eine Analogie zwischen dem Wirtschaftssystem und der Biosphäre her. Dabei wird vorausgesetzt, dass sich beide Bereiche sowohl als physikalische als auch als ökonomische Systeme

beschreiben lassen. Größtenteils wird dabei unausgesprochen davon ausgegangen, dass ein direkter Erkenntniszugang zu Naturprinzipien besteht, zu denen vor allem der Kreislauf gerechnet wird.

Sowohl die Circular Economy als auch die Bioökonomie haben eine ökonomische Perspektive auf die Natur. Beide deuten die Prozesse in der Biosphäre als Wirtschaftsvorgang und glauben in der Natur eine perfekte Kreislaufwirtschaft zu erkennen. In Teilen der Circular Economy soll diese „Kreislaufwirtschaft der Natur“ nachgeahmt, in der Bioökonomie soll sie in die menschliche Wirtschaft integriert werden. In der Vision der Bioökonomie konvergieren Biosphäre und Technosphäre zu einem System, das es zu optimieren und zu organisieren gilt. Im Folgenden gehen wir auf die genannten Aspekte ein, die wir hier als „Weltbildfragmente“ bezeichnen.

7.1.1 Fragment 1: In der Bioökonomie und Circular Economy ist die Natur ein System

In der Circular Economy und Bioökonomie wird die Natur als System gedeutet. Fragment 1 bezieht sich somit auf Perspektive 22 aus Abschn. 4.8 (Natur als System). Hinweise auf diese Systemperspektive finden sich in vielen Dokumenten, die hier nicht alle genannt werden können. Braungart und McDonough sprechen in Cradle to Cradle beispielsweise vom „System der Natur“¹ oder nennen die Natur ein „komplexes System“². Stahel verwendet in seiner Performance Economy eine ähnliche Wortwahl. Die Natur ist für ihn ein „chaotisches, selbstregulierendes System“³. Insgesamt wird durchgängig auf den Ökosystembegriff Bezug genommen. Alternative Bezeichnungen sind u. a. die Begriffe „natürliches System“⁴, „Biosphäre“⁵, „Umwelt als System“⁶ oder „Betriebssystem der Erde“⁷.

7.1.2 Fragment 2: Die Circular Economy und Bioökonomie sind Systeme

Auch die Circular Economy und die Bioökonomie selbst werden systemisch interpretiert. Dies zeigt auch die Definition der Circular Economy durch die Ellen

¹ Braungart und McDonough 2014, S. 123.

² Braungart und McDonough 2014, S. 81.

³ „Chaotic self-regulating system“, Stahel 2010, S. 270.

⁴ Braungart und McDonough 2014, S. 124, „natural system“ u. a. Lyle 1994, Pos. 414; Hawken et al. 2000, S. 4.

⁵ U. a. Braungart und McDonough 2014, S. 72, 109, 124.

⁶ „Environment as a system“ Hawken et al. 2000, Introduction.

⁷ „Earth operating system“ Lyle 1994, S. 100.

MacArthur Stiftung. Sie ist in Zitat 2.11 in Abschn. 2.2.3 wiedergegeben und ist eine der bekanntesten Definitionen der Circular Economy. Letztere wird darin ein „industrielles System“⁸ genannt und der Übergang zu einer Circular Economy an anderer Stelle als Systemwandel⁹ oder „Systemantwort“¹⁰ bezeichnet. In den verschiedenen Strategiepapieren zur Bioökonomie wird auch von „systemischen Lösungen“¹¹, „systemischen Zusammenhängen“¹² und „systemischem Denken“⁸⁵⁹ gesprochen.

7.1.3 Fragment 3: Natur und Kultur – Dualismus und Monismus in der Bioökonomie und Circular Economy

In Bezug auf eine Natur-Kultur-Trennung ist die Sprache in der Circular Economy und Bioökonomie ambivalent. Bei Cradle to Cradle beispielsweise gibt es sowohl monistische als auch dualistisch klingende Formulierungen. Im Folgenden betrachten wir zunächst die dualistischen Motive. Sie lassen sich in das Muster einer systemischen Natur-Kultur-Dichotomie einordnen und beschreiben Bio- und Technosphäre (bzw. das Wirtschaftssystem) als gegenüberstehende Bereiche. Relevant für diese Sichtweise sind aus Abschn. 4.8 deshalb Perspektive 8 (Natur als Gegenüber), Perspektive 7 (Menschen treten aus der Natur heraus) und ggf. Perspektive 11 (Natur als zu schützendes Objekt).

In Cradle to Cradle wird die Natur auch als „Biosphäre“¹³, überwiegend aber im Plural als „Ökosysteme“¹⁴ bezeichnet. Als deren Gegenüber werden das Wirtschaftssystem¹⁵, Produktions-¹⁶ oder Fabrikssysteme¹⁷ sowie industrielle¹⁸, soziale¹⁹, und menschliche²⁰ Systeme genannt. Braungart und McDonough differenzieren in Zitat 7.1 explizit zwischen einer Biosphäre und einer Technosphäre.

⁸ „Industrial system“, EMF 2014, S. 15.

⁹ Europäische Kommission 2015b, S. 21, „systemic change“ EMF 2014, S. 11.

¹⁰ „Systemic answer“ EMF 2014, S. 19.

¹¹ BMBF 2010, S. 13.

¹² Bundesregierung 2020b, S. 19.

¹³ Braungart und McDonough 2014, S. 72, 124.

¹⁴ Braungart und McDonough 2014, S. 24, 48, 62, 66, 83, 96, 103, 109, 117, 119, 120, 143, 144, 148.

¹⁵ Braungart und McDonough 2014, S. 33, Die Formulierung findet sich beispielsweise auch bei Bundesregierung 2014, S. 4 f.; Braungart und McDonough 2014, S. 33; EMF 2014, S. 13.

¹⁶ Braungart und McDonough 2014, S. 35, Die Formulierung findet sich beispielsweise auch bei Bundesregierung 2020b, S. 28 ff.; Europäische Kommission 2012, S. 10; Braungart und McDonough 2014, S. 35.

¹⁷ Braungart und McDonough 2014, S. 28.

¹⁸ Braungart und McDonough 2014, S. 38, 76.

¹⁹ Braungart und McDonough 2014, S. 76.

²⁰ Braungart und McDonough 2014, S. 145.

Sie unterscheiden beide aufgrund der in ihnen wirksamen Stoffwechselprozesse. Damit verwenden sie ein systemtheoretisches Kriterium, um beide Sphären voneinander abzugrenzen (Abschn. 5.2.5).

Zitat 7.1: Michael Braungart (*1958), William McDonough (*1951)



„Wie bereits vorgestellt, gibt es zwei unterschiedliche Metabolismen auf unserem Planeten. Der erste ist der biologische Metabolismus oder die Biosphäre – die Kreisläufe der Natur. Der zweite ist der technische Metabolismus oder die Technosphäre – die Kreisläufe der Industrie [...].“²¹
 „Von unserem Blickwinkel aus betrachtet, handelt es sich bei diesen beiden Materialströmen einfach um biologische und technische Nährstoffe. Biologische Nährstoffe sind wertvoll für die Biosphäre, während technische Nährstoffe wertvoll für das sind, was wir Technosphäre nennen, die Systeme industrieller Prozesse.“²²
 „Es scheint, dass diese beiden Systeme nicht in ein und derselben Welt gedeihen können.“²³

Die Unterscheidung zwischen Bio- und Technosphäre bildet sich, wie Abb. 7.1 zeigt, auch in grafischen Darstellungen des Cradle-to-Cradle-Konzepts ab. Bei der Darstellung handelt es sich um eine eng an das Original angelehnte Kopie einer Grafik des EPEA-Instituts²⁴. Letzteres wurde von Braungart gegründet, um Cradle-to-Cradle-Prinzipien in der Industrie umzusetzen.²⁵

Die Unterscheidung von Biosphäre und Technosphäre erfolgt bei Cradle to Cradle also nicht aufgrund der Kriterien, die wir in Abschn. 5.4.2 verwendet haben, um zwischen natürlichen und technischen Prozessen zu differenzieren. Wir hatten dort Technisches und Natürliches aufgrund ihrer Entstehungsweisen unterschieden. Für Cradle to Cradle sind die Stoffeigenschaften entscheidend: Was, ohne schädlich zu sein, biologisch abbaubar ist, gehört in die Biosphäre, und alles andere in die Technosphäre. Weitere Visualisierungen von Cradle to Cradle trennen nicht zwischen einer Bio- und Technosphäre, sondern wie in Abb. 7.2 zwischen einem biologischen und einen technischen Kreislauf.

Abb. 7.2 ist im Grunde eine vereinfachte Darstellung des in Abb. 2.5 (Abschn. 2.2.3) gezeigten Schmetterlingsdiagramms der Ellen MacArthur Foundation, das grundsätzlich dieselben biologischen und technischen Kreislaufsysteme zeigt. Wie sich sowohl am Vergleich von Abb. 7.1 und 7.2 als auch an Zitat 7.1²⁶ ablesen

²¹ Braungart und McDonough 2014, S. 124.

²² Braungart und McDonough 2014, S. 109.

²³ Braungart und McDonough 2014, S. 14.

²⁴ Environmental Protection Encouragement Agency Internationale Umweltforschung (EPEA).

²⁵ EPEA Internationale Umweltforschung GmbH 2023a.

²⁶ „Der erste ist der biologische Metabolismus oder die Biosphäre [...] Der zweite ist der technische Metabolismus oder die Technosphäre [...]“

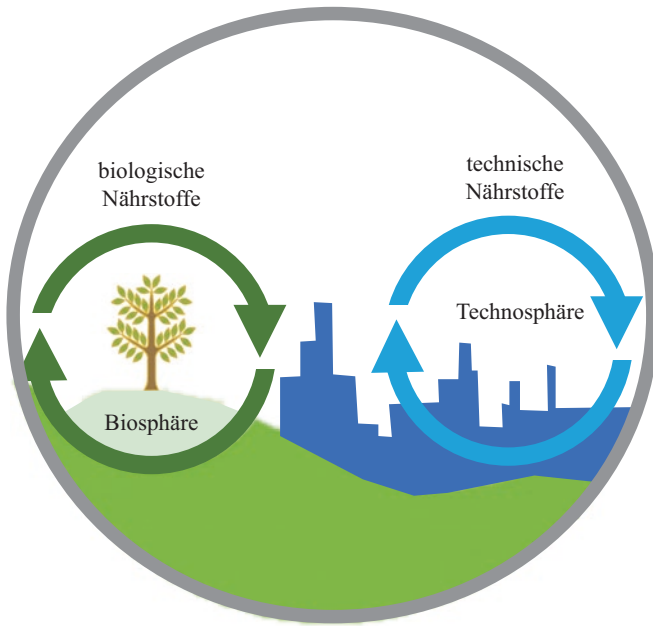


Abb. 7.1 Darstellung des Cradle-to-Cradle-Konzepts. (Eigene Darstellung in Anlehnung an Scheelhaase und Zinke 2016, S. 22; Healthy Printing 2023)

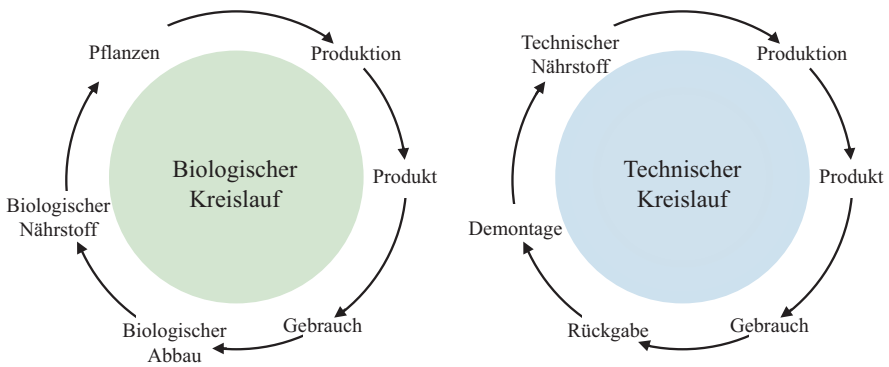


Abb. 7.2 Dualismus aus technischem und biologischem Kreislauf. (Eigene Darstellung in Anlehnung an EPEA Internationale Umweltforschung GmbH 2023b)

lässt, setzen Braungart und McDonough Metabolismus und Sphäre gleich. Die Gegenüberstellung aus biologischem und technischem Kreislauf in Abb. 7.2 bezeichnet also dasselbe wie die von Biosphäre und Technosphäre in Abb. 7.1. Unserer Ansicht nach ist diese Gleichsetzung irreführend, weil die Herstellung von

Produkten aus nachwachsenden Rohstoffen sowie deren Gebrauch und Entsorgung so als Naturprozess dargestellt wird. Tatsächlich ist der in Abb. 7.2 dargestellte biologische Kreislauf nicht mit der Biosphäre identisch, da es sich nicht um eine natürliche, sondern um eine technische Prozessfolge handelt. Im Diagramm von Ellen MacArthur, das in diesem Punkt von Abb. 7.2 abweicht, wird das berücksichtigt. Dort ist die Biosphäre separat eingezeichnet, allerdings auch nur als Element eines technischen Kreislaufsystems, das biologische Metabolismen nutzt.

Wie wir bereits angesprochen haben, verwendet Cradle to Cradle aber nicht nur dualistische Motive. Manche Formulierungen, wie die in Zitat 7.2, deuten auch auf ein monistisches Weltbild hin.

Zitat 7.2: Michael Braungart (*1958), William McDonough (*1951)



„Jahrtausendlang haben sich die Menschen bemüht, die vermeintlichen Grenzen zwischen menschlichen und natürlichen Kräften aufrechtzuerhalten [...]“²⁷

„Viele Industrielle, Designer und Ingenieure betrachten ihre Designs nicht als Teil eines über das Wirtschaftssystem hinausgehenden größeren Systems.“²⁸ „Öko-effektive Planer [...] haben [...] auch das Ganze im Auge.“²⁹

„Gebäude, Systeme, Stadtviertel und selbst ganze Städte können mit den sie umgebenden Ökosystemen so verflochten werden, dass sie sich gegenseitig unterstützen.“³⁰

„Zu welchem – kulturellen, wirtschaftlichen, ökologischen – Großsystem werden diese produzierte Ding und dieser Produktionsprozess gehören?“³¹

Wie die Auszüge aus Zitat 7.1 zeigen, gehen Braungart und McDonough davon aus, dass mit der Bio- und Technosphäre aktuell zwei Systeme existieren, die in Widerspruch zueinanderstehen, weil sie scheinbar „nicht in ein und derselben Welt gedeihen können“. Sie halten diesen Zustand jedoch für falsch und überwindbar. Ihr in Zitat 7.2 formuliertes Ziel besteht in einer „Verflechtung“ technischer und ökologischer Systeme. Durch diese Verflechtung gibt es, wenn Cradle to Cradle Realität geworden ist, eigentlich nur noch ein natürliches Stoffaustauschsystem, in das sich menschlich initiierte Stoffbewegungen und -umwandlungen eingefügt haben. Braungart und McDonough adressieren somit in ihrer Vision auch Perspek-

²⁷ Braungart und McDonough 2014, S. 99.

²⁸ Braungart und McDonough 2014, S. 33.

²⁹ Braungart und McDonough 2014, S. 96.

³⁰ Braungart und McDonough 2014, S. 103.

³¹ Braungart und McDonough 2014, S. 96.

tive 3 (Natur als organische Einheit) und Perspektive 6 (Menschen sind Teil der Natur).

Ähnliche Ambivalenzen wie bei Cradle to Cradle sind auch in der Bioökonomie der Lesart 3 und der zirkulären Bioökonomie zu finden. Auch hier wird tendenziell von einem dualistischen Ist-Zustand ausgegangen und die Natur als etwas beschrieben, das den Menschen gegenübersteht.³² Allerdings wird die „Gegenüberstellung und getrennte Betrachtung von ‚Natur‘, ‚Technik‘ und ‚Gesellschaft‘ [...] aus Sicht der Bioökonomie [für] wenig sinnvoll“ gehalten.³³ „Ökologie und Ökonomie [sollen] miteinander verbunden“³⁴ werden.

7.1.4 Fragment 4: Das System Erde ist für die Circular Economy und Bioökonomie stofflich geschlossen und energetisch offen

Grundlage der System-Modelle der Circular Economy und der Bioökonomie, der Lesart 1 und 3, ist ein energetisch offenes und stofflich geschlossenes Erdsystem. Die Vorstellung findet sich als systemische Voraussetzung bereits bei Boulding, der die Situation der Erde mit dem geschlossenen System eines Raumschiffs verglich, das nur über begrenzte stoffliche Ressourcen verfügt (Zitat 1.4, Abschn. 1.3). Aus ihr leitet sich ab, dass Ressourcen endlich und die Aufnahmekapazität der Biosphäre begrenzt sind. Boulding spricht mit Blick auf die menschlichen Aktivitäten von einer „geschlossenen Sphäre“³⁵. Seine Systemkonzeption wird beispielsweise auch von Braungart und McDonough in Cradle to Cradle geteilt (Zitat 7.3).

Zitat 7.3: Michael Braungart (*1958), William McDonough (*1951)



„Der alles umspannende ‚Design‘-Rahmen, innerhalb dessen wir leben, hat zwei Grundelemente: Masse (die Erde) und Energie (die Sonne). Praktisch nichts gelangt in dieses Planetensystem hinein oder aus diesem heraus außer Hitze und gelegentliche Meteoriten. Ansonsten ist das System geschlossen, und seine Grundelemente sind wertvoll und endlich. Wir haben allein das, was die Natur uns gibt. Was immer der Mensch herstellt, es geht nicht weg.“³⁶

³²Zum Beispiel „Der Mensch hat schon immer in die Natur eingegriffen und seine Umwelt verändert“, Bundesregierung 2020b, S. 30.

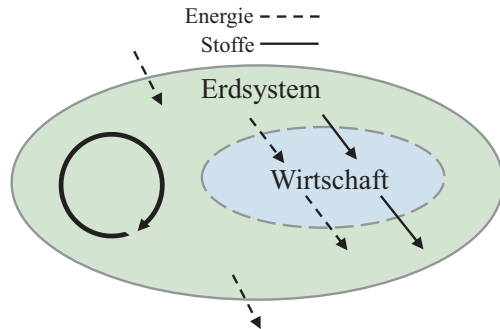
³³BMBF 2021a, S. 3, 2014a, S. 2.

³⁴Bundesregierung 2020b, S. 10.

³⁵„Man has been accustoming himself to the notion of the spherical earth and a closed sphere of human activity.“ Boulding 1966.

³⁶Braungart und McDonough 2014, S. 123.

Abb. 7.3 Systemkonzeption des aktuellen Wirtschaftssystems aus Sicht der Circular Economy und Bioökonomie. (Eigene Darstellung)



7.1.5 Fragment 5: Für die Bioökonomie und Circular Economy ist das aktuelle Wirtschaftssystem energetisch und stofflich offen zum Erdsystem

Für die Circular Economy ist das Wirtschaftssystem ein Subsystem des Erdsystems und zu diesem sowohl stofflich als auch energetisch offen (Zitat 7.4). Menschlich organisierte Systeme entnehmen dem übergeordneten System Ressourcen und geben Abfälle und Emissionen an es ab (Abb. 7.3). Diese Systemkonzeption findet sich auch in der Bioökonomie der Lesart 1 und 3. Beide gehen von der begrenzten Verfügbarkeit fossiler Ressourcen und der Schädlichkeit der mit ihrer Nutzung verbundenen Emissionen aus.³⁷

Zitat 7.4: Kenneth Boulding (1910–1993)



„All human societies have likewise been open systems. They receive inputs from the earth, the atmosphere, and the waters, and they give outputs into these reservoirs; they also produce inputs internally in the shape of babies and outputs in the shape of corpses. Given a capacity to draw upon inputs and to get rid of outputs, an open system of this kind can persist indefinitely.“³⁸

7.1.6 Fragment 6: Die Natur ist für die Circular Economy und Bioökonomie ein ökonomisches System

Viele Konzepte, die der Circular Economy zugerechnet werden, deuten die Natur als ökonomisches System. Relevant für ihr Naturbild ist deshalb auch

³⁷ Bundesregierung 2020b, S. 10.

³⁸ Boulding 1966.

Perspektive 19 (Natur als ökonomischer Zusammenhang). Ein Beispiel, das die ökonomische Deutung zeigt, ist in Zitat 7.5 wiedergegeben. Es stammt von Gunter Pauli, dem Begründer der Blue Economy (Abschn. 2.2.3). Paulis Text ist sicherlich ein extremes Beispiel für eine ökonomische Verengung der Naturperspektive. Die Natur ist für ihn ein Wirtschaftssystem und „beständiges Beispiel für Wirtschaftlichkeit“.

Zitat 7.5: Gunter Pauli (*1956)



„Wenn wir jedoch begreifen, auf welche geniale, wirtschaftliche und trotzdem einfache Weise die Natur wirtschaftet und wenn wir uns diese zum Vorbild nehmen, gelingt es uns möglicherweise die Funktionalität von Ökosystemen nachzubilden und so wirtschaftliche Erfolge zu erzielen, wie sie in unserer in hohem Maße globalisierten Wirtschaft heute nicht möglich sind.“³⁹

„In Ökosystemen herrschen keine Monopole [..., sie] weisen viel mehr die vom Begründer der modernen Ökonomie Adam Smith beschriebenen Marktbedingungen auf: Tausende Akteure, die ihre Handlungen abstimmen, als ob eine unsichtbare Hand sie steuere und ihnen die günstigste Verteilung und die beste Nutzung der Ressourcen einbebe.“⁴⁰ [...]

„Die Natur ist ein beständiges Beispiel für Wirtschaftlichkeit und echte Nachhaltigkeit.“⁴¹

Für Pauli funktionieren Ökosysteme wie eine Marktwirtschaft. Sie sind selbst eine Art Markt und werden durch eine „unsichtbare Hand“ gesteuert. Indem er diesen Ausdruck verwendet, bezieht sich Pauli auf die bekannte, auf Adam Smith zurückgehende Redewendung von der „unsichtbaren Hand des Marktes“⁴². Laut Smith, den Pauli ausdrücklich nennt, ist darunter eine zum Wohl aller eintretende Selbstregulierung des Wirtschaftslebens gemeint. Sie stellt sich in der Theorie von

³⁹ Pauli 2010, S. 2.

⁴⁰ Pauli 2010, S. 10 f.

⁴¹ Pauli 2010, S. 14.

⁴² „But the annual revenue of every society is always precisely equal to the exchangeable value of the whole annual produce of its industry, or rather is precisely the same thing with that exchangeable value. As every individual, therefore, endeavours as much as he can, both to employ his capital in the support of domestic industry, and so to direct that industry that its produce may be of the greatest value; every individual necessarily labours to render the annual revenue of the society as great as he can. He generally, indeed, neither intends to promote the public interest, nor knows how much he is promoting it. By preferring the support of domestic to that of foreign industry, he intends only his own security; and by directing that industry in such a manner as its produce may be of the greatest value, he intends only his own gain; and he is in this, as in many other cases, led by an invisible hand to promote an end which was no part of his intention.“ Smith 1853, S. 184.

Smith automatisch ein, wenn alle Individuen ihre persönlichen Ziele verfolgen. Pauli überträgt Smiths ökonomisches Prinzip selbstregulierender Märkte auf Ökosysteme. Auch sie regulieren sich seiner Ansicht nach selbst, wenn alle Lebewesen ihren Bedürfnissen nachgehen.

Mit seinen Ausführungen schließt Pauli indirekt an die in Abschn. 5.6 besprochenen Systemdeutungen Reinheimers und Lotkas aus den 1910er- und 1920er-Jahren an. Zur Erinnerung: Beide Wissenschaftler deuteten ökologische Zusammenhänge als bioökonomisches Wirtschaftssystem. Sie stellten Analogien zwischen ökologischen und ökonomischen Systemen her und verwendeten ökonomische Vorstellungen und Begriffe, um Stofftransformationen und -flüsse in der Natur zu erklären. Wie wir dort bereits erwähnt haben, beschreibt Lotka ökologische Prozesse sogar explizit als eine Art natürlicher Circular Economy. Den ökologischen Fluss von Phosphorverbindungen und deren Umwandlung nannte er einen „Kreislauf in der Wirtschaft der Natur“ („cycle in the economy of nature“, Zitat 7.6).

Zitat 7.6: Alfred James Lotka (1880–1945)



„Subsequently some of the deposits so formed have been raised, in a crust upheaval, above the sea level, so as to form sedimentary strata from which we now derive some of our supplies of phosphate rock. The other division of the stream in the flow of phosphorus is perhaps one of the most remarkable examples of a cycle in the economy of nature. The fish of the sea are eaten by birds, who flock in great hordes and have their nesting places upon rocky islands and shores. There an accumulation of immense amounts of guano has taken place in the course of centuries and ages. Of this guano some has been returned directly to the land by the agency of man.“⁴³

Viele Akteurinnen und Akteure in der Circular Economy haben eine ähnliche Perspektive wie Lotka. Robert Frosch beispielsweise, auf den die Idee der Industriel-Ökologie im Wesentlichen zurückgeht, schreibt in einem in Zitat 7.7 wiedergegebenen Text ebenfalls, dass die Natur eine „mustergültige Kreislaufwirtschaft“ betreibt^{44, 45}.

⁴³ Lotka 1925, S. 250.

⁴⁴ Isenmann 2003, S. 288 zitiert Strebel 2015, S. 2.

⁴⁵ Isenmann 2003, S. 313.

Zitat 7.7: Robert A. Frosch (1928–2020)



„In nature an ecological system operates through a web of connections in which organisms live and consume each other and each other's waste. The system has evolved so that the characteristic of communities of living organisms seems to be that nothing that contains available energy or useful material will be lost. [...] In the industrial context we may think of this as being use of products and waste products.“⁴⁶

Bei der Bioökonomie weist bereits der Name darauf hin, dass sie die Natur aus einer ökonomischen Perspektive betrachtet. Für Lesart 3 und die ihr zuzurechnende zirkuläre Bioökonomie ist sie ebenfalls wie für Frosch und Lotka eine Art Kreislaufwirtschaft. Dies lässt sich nicht nur in Texten wie Zitat 2.28 in Abschn. 2.4 sondern auch an bildlichen Darstellungen wie in Abb. 7.4 zeigen. Der linke Teil stammt aus der deutschen Bioökonomiestrategie von 2010, wo er die Bioökonomie visualisieren soll. Rechts wurde von uns zum Vergleich das Recyclingsymbol eingefügt. Es ist auch im linken Teil, wo es für die Bioökonomie steht, eindeutig erkennbar. Um auf deren Natürlichkeit hinzuweisen, ist es aus Blattfragmenten zusammengesetzt. Die Botschaft des Bildes lautet, dass die Prozesse in der Biosphäre als ökonomisch organisierter, globaler Recyclingprozess



Bioökonomie wird als Kreislaufwirtschaft der Natur gedeutet

Abb. 7.4 Darstellung der Bioökonomie in der deutschen Strategie von 2010 (links) und das Recyclingsymbol (rechts). (Bildquelle BMBF 2010, S. 23)

⁴⁶Frosch 1992, S. 800.

zu verstehen sind. Dieser Prozess wird von den Urheberinnen und Urhebern der 2010er-Strategie mit der Bioökonomie gleichgesetzt.

Weiterhin relevant für die ökonomische Deutung der Natur durch die Bioökonomie ist auch der in nahezu allen Strategiedokumenten verwendete Ausdruck der „Ökosystemleistungen“. Damit wird der Natur auch die Funktion einer Dienstleisterin (Perspektive 21) zugewiesen, die „Ökosystemleistungen“ („ecosystem services“) anbietet. Letztere sind in der aktuellen deutschen Strategie als „Leistungen der Natur, von denen der Mensch profitiert“ definiert. „Biodiversität, Klimaregulation, gesunde Böden und sauberes Wasser“ sind nach diesem Verständnis Leistungen, die die Natur für Menschen erbringt.⁴⁷ Das Konzept der Ökosystemleistungen wurde vor allem durch eine Studie von Constanza⁴⁸ und das Millennium Ecosystem Assessment (MEA)⁴⁹ der UN bekannt (Zitat 7.8). Es hat eine anthropozentrische Perspektive (Perspektive 18 Natur als Managementobjekt).

Zitat 7.8: Millennium Ecosystem Assessment Board (2005)



„Ecosystem services are the benefits people obtain from ecosystems. These include provisioning services such as food and water; regulating services such as regulation of floods, drought, land degradation, and disease; supporting services such as soil formation and nutrient cycling; and cultural services such as recreational, spiritual, religious and other nonmaterial benefits.“⁵⁰

7.1.7 Fragment 7: Bioökonomie und der an der Natur orientierte Teil der Circular Economy setzen eine unmittelbare Naturerkenntnis voraus

Sowohl für Teile der Circular Economy als auch für die Bioökonomie spielt die Orientierung an der Natur eine wichtige Rolle. Beide benötigen Kenntnisse von Naturprozessen, die entweder nachgeahmt oder in das Wirtschaftssystem integriert werden sollen. Für die Circular Economy und Bioökonomie ist also auch Perspektive 13 (Natur als Lehrerin) relevant. Dabei wird die Natur zwangsläufig als etwas Gegenüberstehendes wahrgenommen (Perspektive 8). In der Industriel-Ökologie wird teilweise ein „unmittelbares“ Naturverständnis vorausgesetzt. Robert Frosch spricht beispielsweise in Zitat 2.5 (Abschn. 2.2.3) von einer „zwingenden“ Analogie zwischen ökologischen und industriellen Systemen und „extrem

⁴⁷ Bundesregierung 2020b, S. 60.

⁴⁸ Constanza et al. 1997.

⁴⁹ Millennium Ecosystem Assessment 2005.

⁵⁰ Millennium Ecosystem Assessment 2005, S. 27.

ähnlichen“ Strukturen. Auch Redewendungen, dass die Analogien „offensichtlich und ansprechend“ sind, sind gebräuchlich (Zitat 7.9).⁵¹

Zitat 7.9: Robert U. Ayres (*1932)



„The analogy with ecosystems is obvious and appealing.“⁵²
 „[...] there is a compelling analogy between biological organisms and industrial activities“⁵³

Die genannten Formulierungen haben alle gemeinsam, dass sie meistens anstelle einer Begründung verwendet werden. Die Analogien, auf die sie sich beziehen, lassen sich aber nicht unmittelbar empirisch erkennen, sondern sind Deutungen. Sie spiegeln menschliche Ideen, die auf die Natur übertragen werden. Dass ein unmittelbarer empirischer Zugang zum „Wesen der Natur“⁵⁴ nicht gegeben ist und dass die spezifische Perspektive zu berücksichtigen ist, aus der die Natur betrachtet wird, spielt bei der Argumentation in der Regel keine Rolle. Dass es in der Natur eine „mustergültige Kreislaufwirtschaft“ gibt, lässt sich aber nicht direkt beobachten, sondern setzt Vorstellungen von technischen und ökonomischen Prozessen voraus. Die Idee, wie eine Kreislaufwirtschaft aussehen müsste, stellt erst den notwendigen Hintergrund zur Verfügung, vor dem Beobachtungen, die wir in der Natur machen, als zirkuläre Wirtschaft interpretiert werden.⁵⁵

7.1.8 Fragment 8: Teile der Circular Economy streben eine stoffliche Systemschließung an

An der Natur orientierte Herleitungen der Circular Economy entwerfen als Vision eine Idealvorstellung, in der die Wirtschaft von einem energetisch und stofflich offenen System in das in Abb. 7.5 dargestellte stofflich geschlossene System transformiert wird (Zitat 7.10). Es tauscht nur Energie mit der Biosphäre aus. Stoffe würden hier vollständig im Wirtschaftssystem verbleiben, wo ihre Umwandlungen und Bewegungen als Kreisprozesse organisiert sind. Diese Vorstellung ist jedoch nicht realistisch (Abschn. 8.1), sodass sie dementsprechend, auch innerhalb der Circular Economy, von vielen abgelehnt wird. Sie findet sich beispielsweise aber in Cradle to Cradle und „bioadaptiven“, an der Natur orientierten Konzepten der Circular Economy (Abschn. 7.3.1).

⁵¹ Vergleiche hierzu Isenmann 2003.

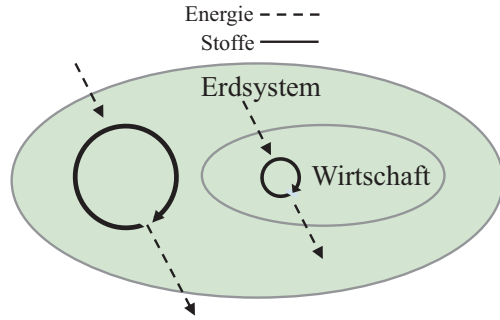
⁵² Ayres 2002, S. 49.

⁵³ Ayres 1994, S. 23.

⁵⁴ Isenmann 2008, S. 339.

⁵⁵ Isenmann 2003, S. 286 ff., 2008, S. 338.

Abb. 7.5 Idealierte Systemkonzeption der Circular Economy. (Eigene Darstellung)



Zitat 7.10: Mika Sillanpää, Chaker Ncibi (2019)



„Circular economy [...] was assimilated to a lake where goods and materials are continuously reprocessed in a closed environment, which saves valuable resources (water, energy, nutrients, etc.) [...]“⁵⁶

7.1.9 Fragment 9: Die Natur wird in der Bioökonomie ein Teilsystem der Wirtschaft

In der Bioökonomie der Lesarten 2 und 3 ist die Biosphäre ein Teil der Wirtschaft. In Bezug auf Lesart 2 zeigt sich das u. a. an der in Strategiepapieren verwendeten Ausdrucksweise, durch die Naturteile als ökonomische oder technische Funktions-träger beschrieben werden. Lebewesen sind dort „Produktionsorganismen“⁵⁷, „Leistungsträger einer [...] industriellen Produktion“⁵⁸ oder „Minifabriken“⁵⁹. Weiterhin werden sie als „industrielle Produzenten“⁶⁰, die auf „Höchstleistung ge-trimmt“ werden⁶¹, bezeichnet. Biodiversität gilt in der Bioökonomie als „Schatz-kiste“ bisher unbekannter „Funktionalitäten“⁶². Den vollumfänglichen Anspruch der Bioökonomie auf die „Artenvielfalt [...] der Erde“ dokumentiert auch Zitat 7.11.

⁵⁶ Sillanpää und Ncibi 2019, S. 19 beziehen sich auf Stahel 2016.

⁵⁷ Bundesregierung 2020b, S. 27.

⁵⁸ BMBF 2021b, S. 6.

⁵⁹ BMBF 2021b, S. 6.

⁶⁰ BMBF 2021b, S. 24.

⁶¹ BMBF 2021b, S. 7.

⁶² BMBF 2021b, S. 7.

Zitat 7.11: Bioökonomie in Deutschland, Bundesregierung (2014)



„Ob Huhn oder Rind, Weizen oder Mais, Alge oder Bakterium – die Artenvielfalt auf der Erde lässt sich durch einen Blick ins Erbgut erforschen und industriell nutzen“⁶³

Im Verständnis von Lesart 3 bzw. in dem der ihr zugehörigen zirkulären Bioökonomie werden Kreislaufprozesse der Biosphäre zu einem Teil der Wirtschaft. Letztere wird hierdurch von einer linearen in eine zirkuläre Organisationsform transformiert. Bioökonomie ist aus dieser Perspektive „von Natur aus zirkulär“⁶⁴, allerdings nur, weil ökologische Prozesse zuvor als zirkulär organisierter Wirtschaftsprozess interpretiert wurden (Abschn. 5.6 und 7.1.6). Diese „Kreislaufwirtschaft der Natur“ wird durch die Bioökonomie ein Teil der menschlichen Wirtschaft.⁶⁵

In dieser Rolle werden der Natur in Bioökonomiestrategien auch die ökonomischen Funktionen einer Ressource (Perspektive 20) und Dienstleisterin (Perspektive 21) zugewiesen. In der aktuellen Strategie der Bundesregierung ist die ökonomische „Erzeugung, Erschließung und Nutzung biologischer Ressourcen“ sogar „ein wesentliches Merkmal der Bioökonomie“⁶⁶, das, so ein Dokument von 2014, „biobasiertes und nachhaltiges Wirtschaftswachstum“⁶⁷ ermöglichen soll. Diese Ressource soll erhalten werden.⁶⁸ Die Funktion einer Dienstleisterin wird durch die in Abschn. 7.1.6 bereits angesprochenen „Ökosystemleistungen“ adressiert.

7.1.10 Fragment 10: Natur ist in der Bioökonomie ein Managementobjekt

Wenn die Natur ein Teil der Wirtschaft ist, kann man sie auch nicht einfach sich selbst überlassen. Damit ihre Ökosystemleistungen für die Wirtschaft erhalten bleiben und bestmöglich genutzt werden können, muss die Natur aus bioökonomischer Sicht optimiert werden. In den 1970er-Jahren, lange also bevor Bioökonomiestrategien entwickelt wurden, wurde diese Perspektive bereits von dem Systemwissenschaftler Joel de Rosnay formuliert (Zitat 7.12).

⁶³ Bundesregierung 2014, S. 83.

⁶⁴ „Circular by nature“, Zitat 2.28, Abschn. 2.4.1

⁶⁵ Bundesregierung 2020b, S. 14; Vogt 2019; Wagner 2015; Gottwald und Krätzer 2014, S. 12.

⁶⁶ Bundesregierung 2020b, S. 10.

⁶⁷ Bundesregierung 2014, Vorwort.

⁶⁸ Bundesregierung 2020b, S. 40 ff.

Zitat 7.12: Joel de Rosnay (1906–1994)



„Das Öko-Engineering wird den Menschen mit neuen Methoden, wie etwa der Energieanalyse, die Mittel liefern, die es ihnen erstmals ermöglichen werden, bewußt die Energiekreisläufe im Ökosystem zu manipulieren – zum Wohl des Menschen und der Natur. Ähnlich wie Chirurgen in das Innere des Organismus eingreifen, werden wir dann in der Lage sein, die großen Regelkreise mit Rekompensation und Verstärkung, auf denen die ‚Ökonomie‘ in der Natur beruht, wiederherzustellen. Wir werden in der Lage sein, neue Bakterienstämme zu entwickeln, die fähig sind, das Recycling genutzter Materialien zu verbessern und Abfälle zu beseitigen sowie Stickstoff zu Ammoniak in industriellen Mengen zur Ernährung der Erdbevölkerung zu binden. Es wird möglich sein, lokale Klimaänderungen durch Kultivierung neuer Zonen herbeizuführen; damit könnte man dann bei natürlichen Abläufen dazu hinsteuern, nach den schwerwiegenden Eingriffen, die wir vorgenommen haben, wieder ihr Gleichgewicht herzustellen. Die Entwicklung des Öko-Engineering wird dazu führen daß das unsichere Herumtasten, das unsere heutigen Handlungen charakterisiert, aufhört. Es muß sich ein partnerschaftliches Verhältnis zwischen Mensch und Natur entwickeln, das die Basis der neuen Wirtschaftsform und der ‚postindustriellen‘ Gesellschaft, die wir schaffen müssen bilden wird.“⁶⁹

Das Management der Natur bezeichnet De Rosnay als „Öko-Engineering“, womit er meint, dass Naturprozesse zum Wohl von Menschen und Natur gestaltet werden sollen. Eine solche Steuerung von Ökosystemen wird auch in Bioökonomiestrategien thematisiert, beispielsweise in der aktuellen europäischen Strategie, wo ein nachhaltiges Management von Ökosystemen gefordert wird.⁷⁰ Der US-amerikanische „Blueprint“ hält es zwar heute noch nicht in ausreichendem Maße für möglich, Ökosysteme zu managen, geht aber davon aus, dass bioökonomische Forschungen diese Lücke schließen werden.⁷¹

7.1.11 Fragment 11: In der Bioökonomie konvergieren Bio- und Technosphäre

Die modernen Lesarten der Bioökonomie haben sich aus den biologischen Wissenschaften entwickelt und waren zu Beginn an der Entwicklung einer biotechnologisch geprägten Wirtschaft ausgerichtet. Dementsprechend enthält ihr Naturbild auch eine biotechnische Perspektive: Die Natur soll mit technischen

⁶⁹ Rosnay 1979, S. 147.

⁷⁰ „Sustainable management of ecosystems, primary production and biodiversity“. Europäische Kommission 2018, S. 90.

⁷¹ National Research Council 2009, S. 27.

Mitteln an ökonomische Bedürfnisse angepasst werden (Perspektive 17). Dieses Naturbild ist, wie das Beispiel der in Zitat 7.13 zitierten Fachinformationsbroschüre der Bundesregierung zeigt, auch in aktuellen Publikationen zur Bioökonomie zu finden. In Zitat 7.13 ist die Biotechnologie ein „bioökonomisches Werkzeug“, mit dem Zellen zu „Biofabriken umfunktioniert“ werden. An anderer Stelle ist auch von neuen „Produktionsorganismen“ die Rede.⁷²

Zitat 7.13: Die Werkzeuge der Bioökonomie, Bundesministerium für Bildung und Forschung, BMBF (2021)



„Mithilfe molekularbiologischer Verfahren ist es möglich, Zellen oder ihre Bestandteile zu Biofabriken umzufunktionieren, die aus biogenen Rohstoffen hochwertige Produkte wie Feinchemikalien oder Wirkstoffe umweltschonend in größeren Mengen liefern. Die Werkzeugkiste der Natur in technischen Anwendungen zu nutzen, um interessante neuartige und maßgeschneiderte Produkte herzustellen, ist ein zentrales Ziel der Biotechnologie. Es geht zugleich darum, dies in einer ressourcen- und umweltschonenden Art und Weise zu tun.“⁷³

Durch Biotechnologie sollen Lebewesen gezielt an Umwelt-, Klima- und Produktionsbedingungen angepasst⁷⁴ oder für die industrielle Produktion optimiert werden⁷⁵. Das „Arbeiten mit der Natur“, wie der Titel einer Broschüre der Europäischen Kommission zur Bioökonomie lautet,⁷⁶ ist somit nicht als Einfügen in die Natur, sondern als ihre „Ökonomisierung und Technifizierung“⁷⁷ zu verstehen. Durch die Bioökonomie wird Natur technisch und ökonomisch zu einem neuen System umgestaltet.

Klar zum Ausdruck kommt diese Vision im Vorwort einer Publikation des European Forest Institute.⁷⁸ Es wurde von einem Autorenkollektiv verfasst, zu dem mit dem ehemaligen EU-Kommissar Janez Potočnik auch einer der Personen gehört, die Anfang der 2000er-Jahre die Entwicklung der wissensbasierten Bioökonomie in Europa initiiert hatten (Abschn. 2.3.1.2). Potočnik und die anderen Autorinnen und Autoren erwarten, dass durch die zirkuläre Bioökonomie (Abschn. 2.4) aus den bisher getrennten Systemen der Biosphäre und Gesellschaft ein neues

⁷² Bundesregierung 2020b, S. 16.

⁷³ BMBF 2021b, S. 6.

⁷⁴ Bundesregierung 2020b, S. 27.

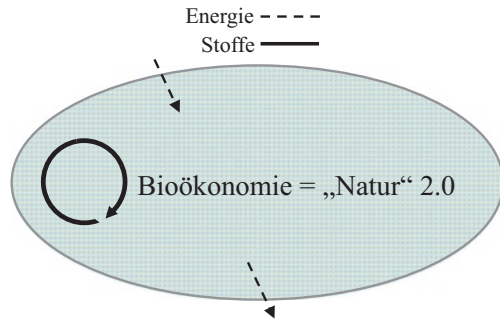
⁷⁵ BMBF 2021b, S. 7.

⁷⁶ „A bioeconomy strategy for Europe: working with nature for a more sustainable way of living“, Europäische Kommission 2013.

⁷⁷ Kiresiewa et al. 2019, S. 130.

⁷⁸ Das Institut wurde von 30 europäischen Staaten gegründet und berät u. a. die Politik in waldrelevanten Themen, EFI 2023.

Abb. 7.6 In der Vision der Bioökonomie konvergieren Wirtschaftssystem und Biosphäre zu einem neuen System. (Eigene Darstellung)



System entsteht. Konkret sprechen sie von einem „eng gekoppelten sozioökologischen System von planetarer Reichweite“⁷⁹. Diese Vision findet sich nicht nur bei Potočník et al. Uns ist sie auch aus anderen Konzepten bekannt, die inhaltlich der Bioökonomie nahestehen und einem produktionstechnischen Umfeld zuzurechnen sind. Auch hier ist von einer Zusammenführung oder „Konvergenz von Bio- und Technosphäre“⁸⁰ die Rede. Das Ergebnis dieser Konvergenz ist eine technisch und ökonomisch organisierte „neue Natur“. (Abb. 7.6).

Wie das durch die Bioökonomie entstehende neue System aussehen kann, wird durch künstlerische Darstellungen in einem 2016 vom Bioökonomierat herausgegebenen Dokument angedeutet, die dort die Textpassagen illustrieren, in denen die Handlungsfelder der Bioökonomie beschrieben werden.⁸¹ Zwei dieser Darstellungen werden hier in Abb. 7.7 zitiert.

Das linke Bild zeigt eine bioökonomisch organisierte Stadt, in der städtische und ehemals natürliche Elemente zu einer gemeinsamen, technisch dominierten Struktur zusammengewachsen sind. Im rechten Bild sind baumähnliche Geräte zu sehen. Sie stellen mithilfe des Sonnenlichts Wasserstoff her, der zum Betanken von Kraftfahrzeugen verwendet wird. Die künstlichen Bäume haben hier eine ähnliche Funktion wie ihre Vorbilder, weil sie als Primärproduzenten energiereiche Stoffe mit Sonnenlicht herstellen. In beiden Bildern wurde die ursprüngliche Natur entweder durch technische Systeme ersetzt oder fragmentarisch in ein technisch-ökonomisches Gefüge eingebettet. Von einer ursprünglichen Natur im Sinne Rousseaus ist in beiden Bildern nichts mehr zu sehen.

⁷⁹“For the first time in human history, we face the emergence of a single, tightly coupled human socio-ecological system of planetary scope.” Aho et al. 2017, S. 5.

⁸⁰Wolperdinger und Bauernhansl 2021; Spaeth, S. 26 ff.

⁸¹Bioökonomierat 2016.



Abb. 7.7 Vision einer Bioökonomie. Künstlerische Darstellung von Benjamin Stolzenberg aus der Broschüre des Bioökonomierats „Weiterentwicklung der ‚Nationalen Forschungsstrategie Bioökonomie 2030‘“. Links Darstellung einer Bio-City, rechts Darstellung einer direkten Umwandlung und Speicherung von Sonnenenergie durch künstliche „Bäume“. (Bildzitat Bioökonomierat 2016, 12,15)

7.2 Metaphern, Analogien und Modellübertragungen in der Circular Economy und Bioökonomie

7.2.1 Die Metapher Cradle to Cradle

Während ein großer Teil der auf die Circular Economy bezogenen Schriften wie die bisher erschienenen EU-Strategien⁸² oder die Positionspapiere der acatech⁸³ ihre Konzepte nicht mit Analogien zwischen der Wirtschaft und Natur begründen, argumentiert ein anderer, ebenfalls großer Teil mit der Orientierung am Vorbild Natur. Bei den in Abschn. 2.2.3 vorgestellten Denkschulen der Circular Economy lässt sich das oft bereits am Namen erkennen. Er fungiert als Metapher und erlaubt bereits Rückschlüsse auf die zugrunde gelegte Naturperspektive. Die Bezeichnung „Natural Capitalism“ transportiert beispielsweise ein ökonomisches Naturbild (Perspektive 19), während der Ausdruck „Regenerative Design“ die Aufmerksamkeit auf ein Naturverständnis lenkt, das die Natur als Ingenieurin wahrnimmt (Perspektive 12). Im Folgenden betrachten wir exemplarisch das metaphorische Konzept von Cradle to Cradle. Wir haben es erneut als Beispiel ausgewählt, weil es einerseits eine der bekanntesten Denkschulen der Circular Economy ist, andererseits aber auch, weil in ihm viele Metaphern und Analogien verwendet werden.

⁸² Europäische Union 2020; Europäische Kommission 2015b.

⁸³ Kadner et al. 2021; Weber und Stuchtey 2019.

Wie beim Natural Capitalism oder Regenerative Design ist auch bei Cradle to Cradle bereits der Titel eine Metapher. Cradle to Cradle bedeutet übersetzt „Von der Wiege zu Wiege“, was, wie Braungart und McDonough in Zitat 7.14 selbst schreiben, eine Anspielung auf die bekannte Redewendung „Von der Wiege zur Bahre“ („Cradle to Grave“) sein soll. Der Ausdruck „Von der Wiege zu Wiege“ fungiert dabei als Synonym für eine Wirtschaft, die sich an den Kreisläufen der Natur orientiert, während der Ausdruck „Von der Wiege zur Bahre“ das Prinzip der aktuellen, linear organisierten Wirtschaft bezeichnet.

Zitat 7.14: Michael Braungart (*1958), William McDonough (*1951)



„Was wäre geschehen, fragen wir uns manchmal, wenn die industrielle Revolution in Gesellschaften stattgefunden hätte, in denen die Gemeinschaft höher geschätzt wurde als das Individuum und in denen die Menschen nicht an einen Lebenszyklus von der Wiege bis zur Bahre geglaubt hätten, sondern an Reinkarnation. [...] Dieser lineare Lebenszyklus – von der Wiege bis zur Bahre – hat verschiedene negative Konsequenzen sowohl für den Menschen als auch für die Industrie.“⁸⁴

Die Ausdrücke „Von der Wiege zu Wiege“ und „Von der Wiege zur Bahre“ werden also dazu verwendet, unterschiedliche Wirtschaftskonzepte zu bezeichnen. Beide Redewendungen sind somit Metaphern, weil sie ursprünglich nicht als ökonomische Begriffe, sondern als Bezeichnungen für die menschliche Lebensspanne verwendet werden. „Von der Wiege zu Bahre“ drückt aus, dass ein Menschenleben zu einem bestimmten Zeitpunkt in der Wiege beginnt und später auf der Bahre endet. Die Redewendung symbolisiert damit Endlichkeit und Tod. In „Von der Wiege zu Wiege“ ist das Wort Bahre durch das Wort Wiege ersetzt worden. Der Ausdruck nimmt damit das Ende, d. h. den Tod, aus dem Spiel und ersetzt es bzw. ihn durch das Motiv der Geburt. Cradle to Cradle steht somit für Geburt und Wiedergeburt und transportiert die Vorstellung eines sich ewig erneuernden Lebens. Mit dem Cradle-to-Cradle-Begriff vermitteln Braungart und McDonough also eine existenzielle Wertung: Die zirkuläre Wirtschaftsweise verspricht ewiges Leben und fortdauernden Bestand, während die lineare Wirtschaft zu Tod und Kollaps führt.

Dadurch, dass Braungart und McDonough den Ausdruck Cradle to Cradle auf Natur und Wirtschaft anwenden, stellen sie drei Globalanalogien⁸⁵ her. Sie sind in Abb. 7.8 dargestellt und bestehen aus Vergleichen zwischen dem Wirtschaftssystem und dem menschlichen Leben, dem menschlichen Leben und der Natur

⁸⁴ Braungart und McDonough 2014, S. 122.

⁸⁵ Abschn. 6.1.1

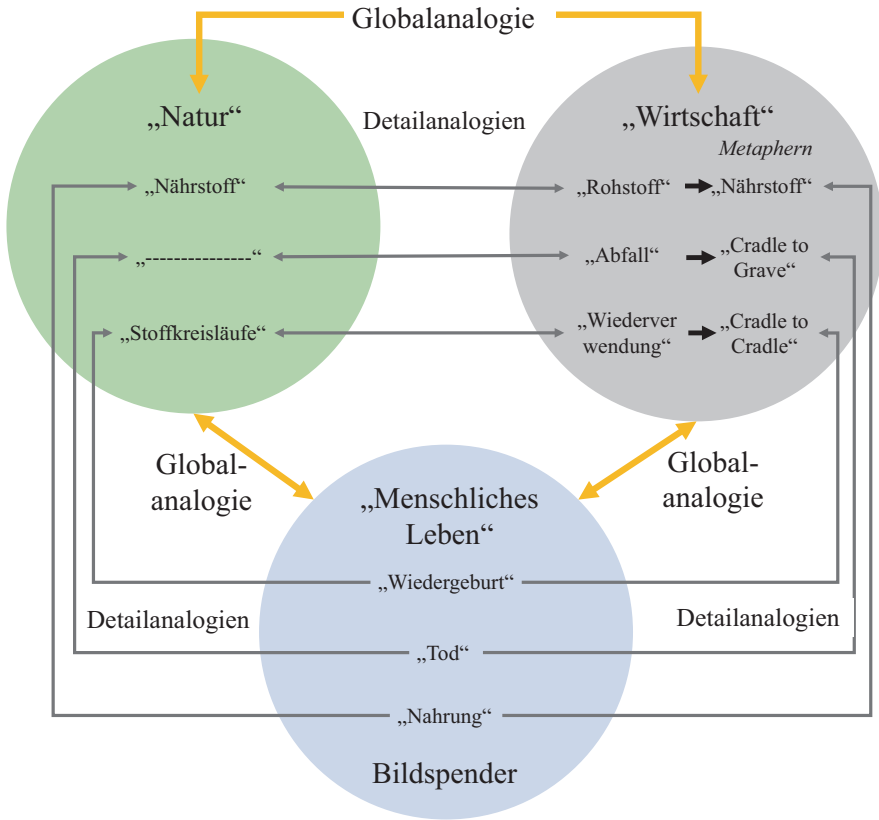


Abb. 7.8 Global- und Detailanalogien bei Cradle to Cradle. (Eigene Darstellung)

sowie der Natur und der Wirtschaft. Die Globalanalogien enthalten jeweils mehrere Teilanalogien. In der Globalanalogie zwischen Natur und Wirtschaft sind das der Vergleich von Rohstoffen mit Nährstoffen und der zwischen einer wirtschaftlichen Wiederverwendung und ökologischen Stoffkreisläufen. Eine Disanalogie besteht in diesem Bild in Bezug auf die im Wirtschaftssystem anfallenden Abfälle. Für sie gibt es innerhalb der Analogie keinen Partner, da es, wie Zitat 7.15 zeigt, für Braungart und McDonough etwas mit Abfällen Vergleichbares in der Natur nicht gibt. Erst eine Wirtschaft ohne Abfälle würde die Analogie vervollständigen.

Zitat 7.15: Michael Braungart (*1958), William McDonough (*1951)



„Die Natur funktioniert nach einem System von Nährstoffen und Metabolismen, in dem kein Abfall vorkommt. [...] Überall auf der Welt atmen Tiere und Menschen Kohlendioxid aus, das die Pflanzen aufnehmen und für ihr Wachstum nutzen. [...] Die wichtigsten Nährstoffe der Erde – Kohlenstoff, Wasserstoff, Sauerstoff, Stickstoff – durchlaufen einen Kreislauf und werden immer wieder verwendet. Abfall ist so wieder Nahrung. Dieses zyklische biologische System, von der Wiege zur Wiege, lässt seit Jahrmillionen einen Planeten mit einer prächtigen Vielfalt gedeihen.“⁸⁶

7.2.2 Modellübertragungen in der Industriellen Ökologie

Das Konzept der Industriellen Ökologie beruht auf der Annahme einer „direkten Analogie“⁸⁷ zwischen industriellen und ökologischen Systemen. Beide ähneln sich in ihrer Struktur. Ökosysteme werden deshalb als Modellvorlage für industrielle Systeme herangezogen, was bedeutet, dass die Strukturen der Wirtschaft nach dem Vorbild des von Ökosystemmodellen gestaltet werden sollen (Zitat 7.16 und 7.17).

Zitat 7.16: Reid Lifset und Thomas E. Graedel (2002)



„[...] industrial ecology looks to non-human ‘natural’ ecosystems as models for industrial activity.“⁸⁸

Zitat 7.17: Allan Johansson (2002)



„It is also claimed [in Industrial Ecology] that the natural systems can function as models for the man-made system in terms of efficient use of resources, energy and wastes.“⁸⁹

Die Vergleichbarkeit der beiden Systeme wird damit begründet, dass sowohl in ökologischen als auch in industriellen Systemen Energie und Stoffe bewegt und ausgetauscht werden.⁹⁰ Dabei wird u. a. darauf verwiesen, dass in der frühen

⁸⁶ Braungart und McDonough 2014, S. 109.

⁸⁷ Zitat 2.5 in Abschn. 2.2.3

⁸⁸ Lifset und Graedel 2002, S. 3.

⁸⁹ Johansson 2002, S. 74.

⁹⁰ Garner, Andy und Keoleian 1995, S. 11.

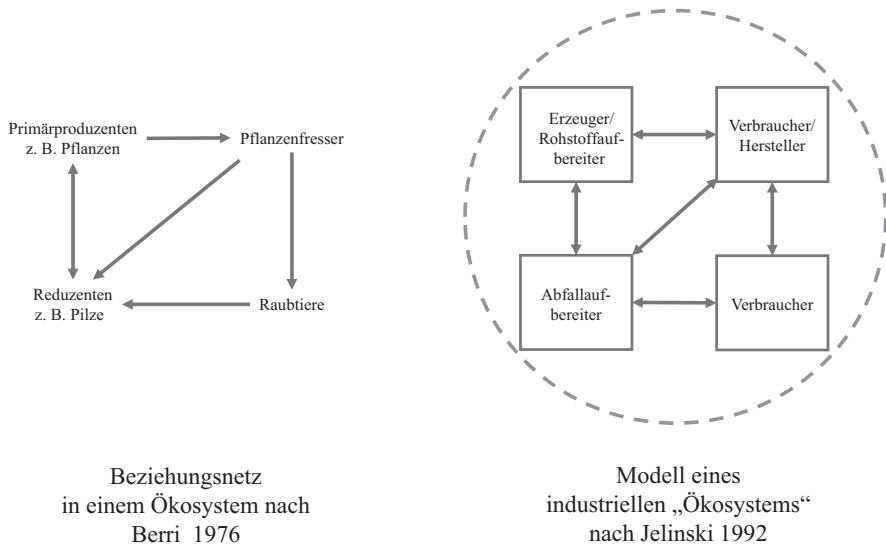


Abb. 7.9 Vergleichende Darstellung der Beziehungen in einem ökologischen⁹³ (links) und einem industriellen, von der Industriellen Ökologie konzipierten System (rechts). (Eigene Darstellung in Anlehnung an Toepfer 2011f, S. 737 und Jelinski et al. 1992, S. 794)

Phase der Biosphäre, ebenso wie in der aktuellen Wirtschaft, zunächst hauptsächlich offene, lineare Prozesse wirksam waren und dass es Zeit brauchte, bis sich die Biosphäre zu einem geschlossenen, zirkulären System entwickelt hat.⁹¹ Aus der Perspektive der Industriellen Ökologie ist die aktuelle lineare Organisation des Wirtschaftssystems deshalb lediglich auf seinen frühen Entwicklungsstand zurückzuführen und nur ein Übergangszustand zu einer Circular Economy. Ziel der industriellen Ökologie ist es, diesen Übergang zu forcieren.

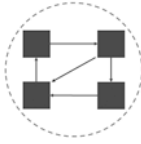
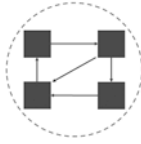
Wie man sich eine Modellübertragung in der Industriellen Ökologie vorstellen kann, ist in Abb. 7.9 wiedergegeben. Im linken Teil der Abbildung sind Abhängigkeiten zwischen Primärproduzenten, Pflanzenfressern, Raubtieren und Reduzenten in einem ökologischen Nahrungsnetz dargestellt. Im rechten Teil ist, zum Vergleich, ein von der Industriellen Ökologie konzipiertes, dort oft rezipiertes⁹² indus-

⁹¹ Jelinski et al. 1992, S. 793 f.; Gößling-Reisemann und Gleich 2008, S. 12; Ayres 1989; Lifset und Graedel 2002, S. 4 ff.; Allenby 1992, S. 48 f.

⁹² Unter anderen Gößling-Reisemann und Gleich 2008, S. 13.

⁹³ Toepfer 2011f., S. 737 zeigt eine Darstellung von Berrie 1976, S. 335. Zu beachten ist, dass Berrie im Gegensatz zu Jelinski Beziehungen und keine Stoffflüsse darstellt. „Ein Organismus einer Gruppe, zu der ein Pfeil zeigt, ist durch Organismen der Gruppe, von der der Pfeil ausgeht, in seiner Existenz bedingt.“ (Toepfer 2011 f., S. 737). Hierdurch erklärt sich, warum in der Darstellung von Jelinski Doppelpfeile und in der von Berrie Einzelpfeile verwendet wurden. Die Darstellung von Berrie wurde geometrisch an die Darstellung von Jelinski angepasst.

Tab. 7.1 Modellübertragung in der Industriellen Ökologie

Analogie		
Ökosystem	↔	Industrielles System
Stoff und Energieflüsse in der Biosphäre	↔	Stoff und Energieflüsse in der Technosphäre
Übertragung		
Struktur Ökosystem	→	Struktur industrielles System
		
Identifikation		
Primärproduzenten (z. B. Pflanzen)	→	Erzeuger/Rohstoffaufbereiter
Pflanzenfresser	→	Rohstoffverbraucher (Hersteller)
Raubtiere	→	(End-)Verbraucher
Reduzenten (z. B. Pilze)	→	Abfallaufbereiter
Theoretische Basis		
Selbstorganisierte, offene Systeme, die sich mithilfe der Systemwissenschaften und Thermodynamik beschreiben lassen		

rielles System abgebildet. Es zeigt die stofflichen und energetischen Beziehungen zwischen Erzeugern, Herstellern, Verbrauchern und Abfallaufbereitern.

Im Folgenden betrachten wir die durch Abb. 7.9 visualisierte Modellübertragung mit Blick auf die in Abschn. 6.2 diskutierten, auf Zoglauer zurückgehenden allgemeinen Kriterien. Als Voraussetzungen bzw. Bedingungen für eine Modellübertragung wurden dort genannt:

1. Es muss eine Analogie zwischen dem Bereich, aus dem das Modell stammt, und dem, in den das Modell übertragen werden soll, vorliegen.
2. Es wird nur die Struktur des Modells übertragen, nicht aber dessen Elemente,
3. Elemente des einen Bereichs werden mit Elementen des anderen identifiziert.
4. Beide Bereiche müssen sich mit derselben Theorie beschreiben lassen.

In Bezug auf die Modellübertragung in Abb. 7.9 ergibt sich demnach das folgende, in Tab. 7.1 zusammengefasste Bild.

1. *Es wird eine Ähnlichkeit zwischen einem industriellen System und der Biosphäre identifiziert und eine Analogie hergestellt.*

Ähnlich sind sich industrielle und ökologische Prozesse darin, dass in beiden Fällen ein Stoff- und Energieaustausch zwischen unterschiedlichen Akteuren stattfindet. Aufgrund dieser Ähnlichkeit wird in der Industriellen Ökologie eine Analogie zwischen den Stoff- und Energieflüssen in der Biosphäre und denen in industriellen Systemen hergestellt.⁹⁴

2. *Die Struktur von Ökosystemmodellen wird zur Beschreibung industrieller Systeme verwendet.*

Die Struktur des industriellen Systems ist in Abb. 7.9 den Nahrungsbeziehungen des Ökosystems im linken Teil der Abbildung nachempfunden. Die stofflichen und energetischen Beziehungen zwischen Primärproduzenten, Pflanzenfressern, Raubtieren und Reduzenten werden als Interaktionen industrieller Akteure abgebildet.

3. *Systemelementen des industriellen Systems werden Funktionen zugeordnet, die Elemente in Ökosystemen haben.*

Die Akteure des industriellen Systems übernehmen in der Modellübertragung Funktionen, die mit denen identifiziert werden, die im Ökosystemmodell Organismengruppen zugeschrieben werden. Die Erzeuger bzw. Rohstoffaufbereiter entsprechen den Primärproduzenten des Ökosystems, die Hersteller, die aus aufbereiteten Rohstoffen Produkte anfertigen, den Pflanzenfressern, die Endverbraucher den Fleischfressern (Raubtiere) und die Abfallaufbereiter den Reduzenten.

4. *Es muss eine theoretische Basis vorliegen, mit der sich sowohl ökologische als auch industrielle Prozesse beschreiben lassen.*

Sowohl ökologische als auch industrielle Systeme werden in der Industriellen Ökologie bzw. Circular Economy als selbstorganisierende, offene Systeme verstanden (Zitat 7.18), die mit denselben thermodynamischen Grundlagen und mithilfe der Systemwissenschaften beschrieben werden können.⁹⁵ „Wirtschaft und Natur sind“, nach diesem Verständnis „Spezialfälle“ einer tiefer liegenden „Systemhaftigkeit der Wirklichkeit“⁹⁶.

Zitat 7.18: Walter Rudolf Stahel (*1946)



„Nature, the market economy, democracy and innovation are successful examples of highly diversified, decentralised and dynamic systems.“⁹⁷

⁹⁴ Garner, Andy und Keoleian 1995, S. 2.

⁹⁵ Spiegelman 2003; Ehrenfeld 2003.

⁹⁶ Potthast 2017, S. 214.

⁹⁷ Stahel 2010, S. 271.

7.2.3 Das Problem der Rückübertragung

In diesem Kapitel möchten wir auf eine grundsätzliche Problematik aufmerksam machen, die bei Modellübertragungen zwischen ökonomischen und ökologischen Systemen zu beachten ist. Sie besteht darin, dass der Perspektive, aus der wir eine Kreislaufwirtschaft in der Natur zu erkennen glauben, bereits die ökonomische Naturdeutung aus Abschn. 5.6 zugrunde liegt. Sie wird dann als vermeintliches Naturprinzip wieder auf das ökonomische System übertragen. Wie der Wirtschaftsingenieur Ralf Isenmann zu Recht schreibt, lässt sich eine Kreislaufwirtschaft in der Natur nicht direkt „beobachten“, sondern es muss bereits eine Idee von ihr geben, um sie in der Natur zu erkennen.⁹⁸ Ein „selektives Vorverständnis“ bzw. eine ökonomische „Natur im Kopf“ führt zu einer „spezifischen Sichtweise“⁹⁹ oder anders gesagt, dem Erkennen einer Kreislaufwirtschaft in der Natur geht die ökonomische Vorstellung von ihr voraus. Eine ähnliche Aussage, dass das Denken in spezifischen Konzepten die Wahrnehmung in eine bestimmte Richtung lenkt und dass wir überall gewohnte Zusammenhänge entdecken, trifft in Zitat 7.19 auch die Ökonomin Silja Graupe.

Zitat 7.19: Silja Graupe (*1975)



„Ökonomische Konzepte lassen sich wie „Werkzeuge des Denkens“ begreifen; sie geben unserer Wahrnehmung Richtung und Gestalt. Sie entscheiden darüber, was wir als wichtig und unwichtig erachten, oftmals bevor wir uns vor spezifische ökonomische Aufgaben gestellt sehen. [...] Wer lernt, allein im Marktmodell zu denken, der wird in allen sozialen Beziehungen einen Markt erblicken.“¹⁰⁰

Der Vorbildcharakter der Natur beruht in der Circular Economy respektive Industriellen Ökologie somit auf einer doppelten Deutungsanalogie. Der Übertragung ökologischer Modelle auf industrielle Prozesse liegt bereits eine Modellübertragung aus der Ökonomie in die Ökologie zugrunde. Es besteht ein wechselseitiger Modelltransfer bzw. eine Rückübertragung. Zunächst wird wie in Abschn. 5.6 die Natur als ökonomischer Zusammenhang und bioökonomische Kreislaufwirtschaft aufgefasst. Nachfolgend wird dann das industrielle System als Ökosystem modelliert, meistens jedoch, ohne dass die vorherige ökonomische Naturdeutung dabei berücksichtigt wird.¹⁰¹ Wir vermuten, dass sie den meisten auch nicht bewusst ist. Die Modelle der Industriellen Ökologie sind somit, wie in Abb. 7.10 dargestellt, Rückübertragungen von Modellen, die erst von der Öko-

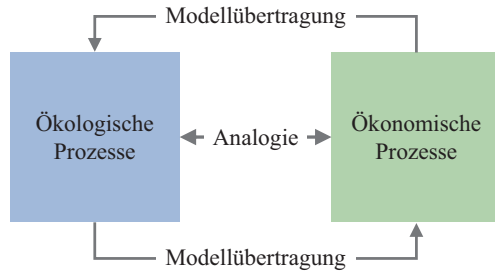
⁹⁸ Isenmann 2003, S. 24 f., 286 ff., 311 ff.

⁹⁹ Isenmann 2003, S. 26 bezieht sich hier auf den auf den Philosophen Reinhard Löw.

¹⁰⁰ Graupe 2016, 22 f.

¹⁰¹ Isenmann 2008, 334 f.

Abb. 7.10 Die Orientierung am Vorbild einer natürlichen Kreislaufwirtschaft ist eine Rückübertragung ökonomischer Ideen. (Eigene Darstellung)



nomie in die Ökologie übertragen und anschließend von dort wieder in die Ökonomie transportiert wurden.¹⁰²

7.3 Der „blinde Fleck“: Natur ist nicht gleich Wirtschaft

7.3.1 Ontologische Gleichsetzung

Metaphern, die ein bestimmtes Naturbild vermitteln und auf Analogien zwischen Natur und Wirtschaft verweisen, sind in den meisten der in Abschn. 2.2.3 aufgeführten Denkschulen der Circular Economy zu finden. In der Industriellen Ökologie sind sie sogar, wie Reid Lifeset und Thomas Graedel mit Blick auf ihr eigenes Fachgebiet schreiben, „ein konstituierendes Element“¹⁰³. Die stetige Verwendung dieser Sprachbilder bringt die Gefahr mit sich, dass relevante Unterschiede zwischen den analog gesetzten Bereichen nicht mehr ausreichend wahrgenommen werden. Systeme oder Systemelemente werden dann mitunter nicht nur formal, sondern allmählich auch ontologisch gleichgesetzt, d. h. sie werden in dem, was sie ausmacht, als identisch betrachtet. Das kann nicht nur Laien, die die Metaphern hören oder lesen, so gehen, sondern, wie Zitat 7.20 zeigt, auch Fachleuten passieren. Der dort wiedergegebene Text stammt von Reinhold Leinfelder, der als Paläontologe und Geobiologe sowie Mitglied der Anthropozän-Arbeitsgruppe der International Commission on Stratigraphy (ICS) ein ausgewiesener Experte für das Thema Anthropozän ist.¹⁰⁴ In dem Artikel, aus dem das Zitat stammt,

¹⁰²Auch in der Industriellen Ökologie finden sich beide Perspektiven. Ihre Akteurinnen und Akteure wenden Ökosystemmodelle an, um zu verstehen, wie industrielle Systeme funktionieren. Umgekehrt dienen ihnen aber auch Ökosystemmodelle als Vorbild für industrielle Systeme. Bauer 2008, S. 266.

¹⁰³„This broad description of the content of industrial ecology can be made more concrete by examining core elements or foci in the field: the biological analogy [...]“ (Lifset und Graedel 2002, S. 4)

¹⁰⁴Leinfelder 2021, S. 72.

befasst er sich damit, wie Prozesse in der Technosphäre des Anthropozäns sinnvollerweise zu gestalten sind, damit sie nachhaltiger werden. Leinfelder setzt sich deshalb für eine „bioadaptive Kreislaufwirtschaft“ ein und fordert seine Leserschaft dazu auf, endlich in Kreisläufen zu denken.¹⁰⁵

Zitat 7.20: Reinhold Leinfelder (*1957)



„Die Lösung dieses Dilemmas ergibt sich aus dem Vorbild der Biosphäre. Auch die verwendeten Technomaterialien müssten dauerhaft im System verbleiben. [...] Eine bioadaptive Kreislaufwirtschaft würde sich analog zur Biosphäre komplett durch erneuerbare Energien speisen. Müll fiel in einem solchen System nicht an. In einer fernen Zukunftsvision würde eine ‚lebendige‘ Technosphäre entstehen, die ihre produzierten Objekte mithilfe erneuerbarer Energien immer wieder destruiert und rekonponiert und sich zudem noch selbst kontrolliert, optimiert und weiterentwickelt. Biosphäre und Technosphäre wären damit vereinbar [...]. Eine globale Kreislaufwirtschaft, die sich an der Biosphäre orientiert, würde sich in ihrer Reinform, also dem dauerhaften Recyceln aller Materialien sowie der Verwendung erneuerbarer Energien, hervorragend zur Stabilisierung des Erdsystems eignen.“¹⁰⁶

Unter einer bioadaptiven Kreislaufwirtschaft versteht Leinfelder eine Wirtschaft, die sich am Vorbild der Biosphäre orientiert. Wie bereits der Untertitel seiner Publikation anzeigt, liefert die Biosphäre für ihn das „Modell für die Technosphäre im Anthropozän“¹⁰⁷. Die neu zu konzipierende Technosphäre wird, laut Leinfelder, „komplett durch erneuerbare Energien“ gespeist, und Abfälle fallen in ihr nicht mehr an. Seine Vision besteht in einem „dauerhaften Recyceln aller Materialien“ und einer „lebendigen“ Technosphäre, wobei das Wort lebendig durch Anführungszeichen als Metapher gekennzeichnet ist. Seine Vision einer bioadaptiven Wirtschaft handelt von vollständig geschlossenen und andauernden Kreisläufen, in denen Produkte „immer wieder“ zersetzt und neu zusammengesetzt werden. Leinfelders neue Technosphäre ist selbstorganisiert, baut die von ihr geschaffenen Produkte wieder ab und entwickelt sich von selbst weiter. Sie gleicht damit der Biosphäre nicht nur formal, sondern auch ontologisch. Mit dieser Gleichsetzung ist Leinfelder nicht allein. Vorstellungen von ewigen Kreisläufen gibt es auch bei anderen, beispielsweise bei Cradle to Cradle, wo ebenfalls „Nährstoffe für neue Produkte ständig in Kreisläufen zirkulieren“¹⁰⁸. Diese ontologische Gleichsetzung

¹⁰⁵ Der Titel seines Artikels lautet „Denkt endlich in Kreisläufen!“ Leinfelder 2021.

¹⁰⁶ Leinfelder 2021, S. 70 f.

¹⁰⁷ Leinfelder 2021, S. 66.

¹⁰⁸ Braungart und McDonough 2014, S. 135.

wird zu Recht, wie der Text von Braden R. Allenby und William E. Cooper in Zitat 7.21 deutlich macht, auch in der Circular Economy selbst kritisiert.

Zitat 7.21: Braden R. Allenby (*1950), William E. Cooper



*„By studying industrial ecology, we are attempting to achieve this goal by understanding human economic and sustenance activity through the use of an analogy with the science of biological ecology. The similarities are almost intuitive, powerful, and suggestive. As with any analogy, however, considerable care must be taken not to let attractive similarities blind one to significant differences, especially where an understanding of those differences can be equally valuable. There is a long, and somewhat spotty, history of attempts in the literature to directly equate economic and biological systems. We intend nothing so specific [...]“.*¹⁰⁹

Allenby und Cooper verweisen darauf, dass es sich bei Biosphäre und Technosphäre bzw. Natur und Wirtschaft um unterschiedliche Systeme handelt, die nicht direkt gleichgesetzt werden dürfen. Sie betonen, dass es bedeutende Unterschiede zwischen den beiden Bereichen gibt und dass intuitiv erkannte und suggestiv wirkende Ähnlichkeiten nicht den Blick auf diese Unterschiede verstellen dürfen. Es ist deshalb wichtig, den „blinden Fleck“ (Abschn. 6.1.3) der Metaphern, die eine Analogie zwischen der Biosphäre und der Wirtschaft herstellen, zu benennen. Hierzu betrachten wir im Folgenden zwei uns besonders wichtig erscheinende Aspekte. Dabei handelt es sich um

1. die Deutung ökologischer Nahrungsbeziehung als ökonomischer Energieaustausch und
2. die Organisation wirtschaftlicher und ökologischer Prozesse.

7.3.2 Nahrungsaufnahme ist kein ökonomischer Prozess

Ökologische und ökonomische Systeme werden in der Regel miteinander in Beziehung gesetzt, weil in beiden, gekoppelt an die Interaktionen ihrer Akteure bzw. Systemelemente, Stoffe und Energie ausgetauscht und umgewandelt werden. Wie wir in Abschn. 7.2.3 und 7.1.6 dargelegt haben, geht der Vorbildfunktion der Natur dabei eine ökonomische Perspektive voraus, die Nahrungsbeziehungen als ökonomische Prozesse und energetische Größen als Tauschwerte deutet. Unseres Erachtens¹¹⁰ darf diese Analogie nicht überstrapaziert werden, da wirtschaftliche Prozesse und Nahrungsbeziehungen etwas völlig anderes sind. Wesentliche Unter-

¹⁰⁹Allenby und Cooper 1994, S. 344 f.

¹¹⁰Vergleiche auch Ayres 2004, S. 430 f.



Abb. 7.11 Wirtschaftsprozesse und Nahrungsbeziehungen in der Natur unterscheiden sich. (Eigene Darstellung mit Bildern aus Pixabay)

schiede, die in der Interaktion der jeweiligen Akteure zum Ausdruck kommen, sind in Abb. 7.11 dargestellt. Darin wird mit dem Kauf bzw. Verkauf von Lebensmitteln (oben) und der Nahrungsbeziehung zwischen einem Pferd und einem Mistkäfer (unten) ein ökonomischer mit einem ökologischen Vorgang verglichen.

Der abgebildete ökonomische Vorgang ist ein auf einer Vereinbarung beruhender Handel. Ein Verkäufer möchte eine Ware verkaufen und macht einem potenziellen Käufer, der seinerseits seinen Bedarf decken möchte, ein Angebot. Dieses Angebot kann der Kunde annehmen oder ablehnen. Zu einem Handel kommt es, wenn der Kunde den Preis, zu dem der Verkäufer die Ware anbietet, akzeptiert und die Ware kauft. In diesem Fall fließen Stoffe und die in ihnen enthaltene Energie in Form der erworbenen Lebensmittel vom Verkäufer zum Käufer. Der Verkäufer erhält als Gegenleistung mit Geld etwas anderes als der Kunde. Geld existiert nicht wie die gehandelten Waren im physikalischen Sinne, sondern ist ein abstrakter ökonomischer Tauschwert, der die Funktion eines allgemein akzeptierten und übertragbaren Schuldscheins hat. Diesen kann der Verkäufer zur Deckung seiner Bedürfnisse einsetzen. Etwas mit diesem Tauschwert Vergleichbares ist in dem unten abgebildeten ökologischen Prozess nicht zu erkennen. Die in Nahrungsbeziehungen ausgetauschte Energie ist es, wie wir nachfolgend erläutern, jedenfalls nicht.

Mistkäfer decken ihren Stoff- und Energiebedarf durch den frischen Kot von Pflanzenfressern, in diesem Fall von dem eines Pferdes. Er enthält, neben



Abb. 7.12 Eine Geschäftsbeziehung? Wohl eher nicht. (Bild von Susanne Jutzeler, auf Pixabay)

Pflanzenfasern, eine Flüssigkeit mit Mikroorganismen, von denen sich die Käfer ernähren.¹¹¹ Im Gras gespeicherte Energie gelangt so über das Pferd zum Käfer. Wenn wir eine Wirtschaft-Natur-Analogie anwenden und das ökonomische Modell aus dem oberen Bild auf den Prozess im unteren Bild übertragen, würde dem Käfer die Funktion des Käufers und dem Pferd die des Verkäufers zugewiesen. Der Vergleich setzt jedoch Ähnlichkeiten voraus, die so nicht gegeben sind.

Anders als der Verkäufer bietet das Pferd kein „Produkt“ an. Während ersterer die Lebensmittel entweder selbst produziert oder anderweitig erwirbt, um sie einem Käufer anzubieten, frisst das Pferd, um sich selbst zu erhalten. Auch seinen Kot muss es aus demselben Grund loswerden, wobei es ihm egal ist, ob er von einem Käfer gefressen wird oder nicht. Pferde nehmen kein Gras zu sich oder leben, weil sie Mist produzieren wollen, den sie anschließend Käfern als Nahrung anbieten. Es fließt auch nichts, was einem Tauschwert auch nur entfernt ähnelt, vom Käfer in Richtung Pferd. Der Käfer „bezahlt“ nicht für die „Ware“. Es gibt also weder Geld noch einen Markt.¹¹² Weitere Unterschiede bestehen darin, dass ökonomische Prozesse idealerweise auf Vereinbarungen beruhen, während Nahrungsbeziehungen in der Regel unfreiwillig entstehen und meistens nur in eine Richtung verlaufen.¹¹³ Die Maus in Abb. 7.12 bietet sich der Katze nicht als „Ware“ an, sondern wird im Gegenteil alles dafür tun, dass es zu keinem „Geschäftsabschluss“ kommt.

¹¹¹ Tierchenwelt.de 2023.

¹¹² Vgl. Ayres 2004, S. 432; Sprenger 2019, S. 369 f.

¹¹³ Vgl. Ayres 2004, S. 425.

7.3.3 Selbstorganisation versus Arbeit

Prozesse in der Wirtschaft und Kreisläufe in der Circular Economy sind anders organisiert als ökologische Zusammenhänge und globale Stoffkreisläufe. Letztere sind „selbstorganisiert“ und beruhen u. a. auf dem Verhalten von Lebewesen und physikalisch-chemischen Stoffeigenschaften. Es regnet nicht, damit Wälder wachsen, sondern Wälder wachsen da, wo viele Niederschläge fallen. Und warum regnet es? Es regnet, weil die Stoffeigenschaften von Wasser und die Temperaturverhältnisse auf der Erde so sind, wie sie sind. Wasser verdampft in die Atmosphäre, verteilt sich, fällt in bestimmten Regionen als Niederschlag zur Erde und fließt dort, abhängig von den geografischen Gegebenheiten, in Gewässer. Diese Prozesse ereignen sich von allein und müssen nicht wie die Kreisläufe der Circular Economy organisiert werden.

Ein wesentliches Merkmal von Prozessen in der Circular Economy ist, dass sie nicht durch natürlich vorhandene Stoffeigenschaften angetrieben werden. Im Gegenteil, damit eine Circular Economy funktioniert, muss sogar vermieden werden, dass sich Stoffe aufgrund ihrer Eigenschaften und der vorliegenden Bedingungen verteilen. Kunststoff, der u. a. aufgrund seiner Stoffeigenschaften als Mikroplastik im Eis der Antarktis zu finden ist, recycelt sich nicht von selbst. Er kann auch nicht durch eine Circular Economy zurückgewonnen werden, sondern muss, bevor er zu Mikroplastik wird, aufwendig gesammelt, getrennt und von der Biosphäre ferngehalten werden. Wie wir in Band 2 dieser Reihe noch zeigen werden, sind Kreisläufe in der Circular Economy etwas anderes als ökologische Stoffkreisläufe. Sie werden durch ein anderes Kreislaufmodell beschrieben. Die Prozesse der Circular Economy müssen, im Gegensatz zu den „von selbst“ ablaufenden ökologischen Abläufen, von menschlichen Akteuren „kontinuierlich am Laufen gehalten“¹¹⁴ werden. Hierzu sind Technik und Arbeit erforderlich.

7.4 Circular Economy, Bioökonomie und Weltanschauung?

Bei der Circular Economy und Bioökonomie handelt es sich um Wirtschaftsmodelle, in denen technische Verfahren systemisch mit der Ökonomie und Gesellschaft verknüpft werden. Es kann deshalb nicht überraschen, wenn beiden Modellen im Wesentlichen ein Naturbild mit einer natur-, systemwissenschaftlichen und ökonomischen Perspektive zugrunde liegt (Abschn. 7.1). Im Folgenden möchten wir zeigen, dass in der Kommunikation der beiden Konzepte aber auch Motive zu finden sind, die dem Bereich Weltanschauung zugeordnet werden müssen. Um zu verdeutlichen, was wir damit meinen, kommen wir noch einmal auf das schon einmal in Abschn. 3.2.2 angesprochene „Narrativ“ der Bioökonomie zurück. Es ist

¹¹⁴Weber 2020, S. 22.

Tab. 7.2 Durch den Bioökonomierat formuliertes bioökonomisches Narrativ (Auszug)¹¹⁸

Abschnitt	Bioökonomie: ein Narrativ	
1	Aussage	
	1	Sie ernährt den Menschen.
	2	Sie kleidet ihn.
	3	Sie wärmt ihn.
	4	Sie bewegt ihn.
	5	Sie gibt ihm ein Dach über dem Kopf.
	6	Sie pflegt und heilt ihn.
	7	Sie verbindet ihn mit der Natur.
	Und sie entwickelt Lösungen für eine bessere, nachhaltigere Zukunft.	
2	Die Natur hat dem Menschen schon immer alles gegeben, was er zum Leben brauchte. Und biobasiert war das Wirtschaften mit natürlich nachwachsenden Rohstoffen wie Holz jahrtausendlang – wenn auch meist zu Lasten der Natur.	
3	Bioökonomisch zu denken heißt, die Kreisläufe der Natur zu kennen und für die Energiewirtschaft, die Nahrungsmittel-, Papier- und Textilindustrie oder auch Chemie und Pharmazie nicht nur auszunutzen, sondern auch im Sinne von Umwelt- und Ressourcenschutz zu erhalten. Das erfordert Bioökonomie-Forschung für Innovation	

dort in Zitat 3.6 wiedergegeben und stammt aus einem Strategiepapier des Bioökonomierats von 2016¹¹⁵. Dort bildet es eine Art Präambel, die den danach folgenden Empfehlungen zur Weiterentwicklung der Bioökonomiestrategie vorangestellt ist.

Das Narrativ ist in acht Abschnitte gegliedert, in denen eine Reihe von Themen rund um die Bioökonomie angesprochen werden. Es handelt vom Verhältnis Mensch-Natur, beschreibt, was bioökonomisches Denken ist, nennt Beispiele aus der Bioökonomie, ordnet letztere ein und beschreibt grundsätzlich, wie die Transformation zu einer Bioökonomie erreicht werden kann. Der erste Abschnitt, der das Narrativ einleitet, besteht aus acht Sätzen. Durch ihre Aussageform unterscheiden sie sich von der Prosa in den sieben folgenden Abschnitten. Die Aussagen sind zusammen mit den beiden auf sie folgenden Abschnitten, die Hinweise auf die Deutung der Aussagen enthalten, in Tab. 7.2 wiedergegeben. Um besser auf sie Bezug nehmen zu können, wurden Aussagen und Abschnitte durchnummeriert.

Alle acht Aussagen beziehen sich auf „den Menschen“, sieben davon direkt und die achte, die von seiner Zukunft handelt, indirekt. Der Mensch ist in diesen Sätzen ein Objekt, dem ein handelndes Subjekt, das mit dem Personalpronomen „Sie“ angesprochen wird, etwas Gutes tut. In Bezug auf die Frage, auf wen oder was

¹¹⁵ Bioökonomierat 2016, S. 4.

¹¹⁸ Bioökonomierat 2016, S. 4.

dieses „Sie“ sich bezieht, entfaltet der Text eine ausgesprochen suggestive Wirkung. Bei einmaligen Lesen haben die ersten sechs Aussagen, zu mindestens bei uns, den Eindruck entstehen lassen, dass mit „Sie“ die Natur gemeint ist. Sie „ernährt“, „kleidet“, „wärmt“, „bewegt“, gibt ein „Dach über den Kopf“ „pflegt und heilt“. Diese Fürsorge kann zwar auch als Kulturleistung verstanden werden, sie wird in der Religion aber auch Gott oder in einem Naturbild, das dem der Stoa gleicht, der Natur zugesprochen. Der Eindruck, dass mit dem fürsorgendem „Sie“ die Natur gemeint sein muss, scheint sich auch im ersten Satz des darauffolgenden Abschnitts zu bestätigen, wo die Natur als Macht beschrieben wird, die „dem Menschen schon immer alles gegeben [hat], was er zum Leben brauchte“. Dieser Eindruck ist jedoch, wie in den Aussagen sieben und acht deutlich wird, falsch. Das „Sie“ kann sich nicht auf die Natur beziehen, da es in Aussage sieben den Menschen mit der Natur verbindet. Mit dem Personalpronomen ist deshalb nicht die Natur, sondern die Bioökonomie gemeint, um die es in dem Narrativ ja auch geht.

Durch den Textaufbau entsteht in Bezug auf die Einordnung der Bioökonomie und die Rolle der Natur eine sonderbare Situation. Die Bioökonomie ist einerseits eine menschliche Wirtschaftsform, verfügt andererseits aber auch über dieselben Eigenschaften wie die Natur. Wie das Narrativ suggeriert, kann sie ihre Vermittlerrolle wahrnehmen, weil sie mit der Natur „wesensgleich“ ist. Der Rat trifft damit eine Aussage, die unseres Erachtens in den Zuständigkeitsbereich der Metaphysik gehört,¹¹⁶ wo sie, je nach Konnotation, der nach dem „Sein“ fragenden Ontologie oder der Theologie zuzurechnen wäre. Wenn wir Theologen wären, würde uns die durch das Narrativ hergestellte Wesensgleichheit zwischen Bioökonomie und Natur wahrscheinlich an die christliche Trinitätslehre erinnern, wo der Glaube an eine Wesensgleichheit ebenfalls eine entscheidende Rolle spielt.¹¹⁷

Die vom Rat, vielleicht unabsichtlich, formulierte Wesensgleichheit von Natur und Bioökonomie lässt sich aber nicht nur mit der Trinitätslehre in Verbindung bringen, es lassen sich auch Parallelen zum Naturbild der Stoa, insbesondere zur Vorstellung von einem in der Natur verborgenen Logos (Abschn. 4.3.1), herstellen. Zur Erinnerung: Der Begriff bezieht sich auf ein göttliches Vernunft- bzw. Weisheitsprinzip, das in der Natur wirkt und alles zu einem großen Ganzen verbindet. Diese Weisheit der Natur wird im dritten Absatz des Narrativs durch das Kreislaufprinzip verkörpert. Wie der Logos es im Denken der Stoa ermöglicht, in Einklang mit der Natur zu leben, erlaubt es das Kreislaufprinzip mit der Bioökonomie, naturnah zu wirtschaften. Im Narrativ der Bioökonomie wird damit ähnlich argumentiert wie in der der Circular Economy zuzurechnenden zweiten Geschichte der PwC-Broschüre (Zitat 3.4, Abschn. 3.2.1.1). Der Kreislauf wird dort als „wesentliches“ Prinzip der Natur beschrieben, das wie im Narrativ der Bioökonomie Mensch und Natur verbindet.

¹¹⁶Anzenbacher 2010, S. 53.

¹¹⁷Zu nennen sind hier die Konzile von Nicäa und Chalcedon, die im 4. und 5. Jahrhundert Wesensgleichheit (Homousie) zwischen dem Christus, d. h. dem Sohn und Gottvater, formulierten, Dürnberger 2020, S. 289 ff.

Die beiden Beispiele zeigen, dass in der Kommunikation der Circular Economy und Bioökonomie nicht nur technisch, ökonomisch oder naturwissenschaftlich argumentiert wird, sondern dass zum Teil auch religiös oder weltanschaulich klingende Motive verwendet werden, die suggerieren, die Wirtschaft ließe sich in ein der Natur ähnliches, selbstorganisiertes System verwandeln. Unseres Erachtens rückt diese Argumentation die Circular Economy und Bioökonomie in ein falsches Licht. Bei beiden handelt es sich nicht um Natur, sondern um etwas, das von Menschen organisiert werden muss. Die Vorstellung, beide Wirtschaftsformen wären wie die Natur, hindert uns möglicherweise daran, mit realistischen Zielen an einer nachhaltigen Wirtschafts- und Gesellschaftsordnung zu arbeiten.

Open Access Dieses Kapitel wird unter der Creative Commons Namensnennung 4.0 International Lizenz (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.de>) veröffentlicht, welche die Nutzung, Vervielfältigung, Bearbeitung, Verbreitung und Wiedergabe in jeglichem Medium und Format erlaubt, sofern Sie den/die ursprünglichen Autor(en) und die Quelle ordnungsgemäß nennen, einen Link zur Creative Commons Lizenz beifügen und angeben, ob Änderungen vorgenommen wurden.

Die in diesem Kapitel enthaltenen Bilder und sonstiges Drittmaterial unterliegen ebenfalls der genannten Creative Commons Lizenz, sofern sich aus der Abbildungslegende nichts anderes ergibt. Sofern das betreffende Material nicht unter der genannten Creative Commons Lizenz steht und die betreffende Handlung nicht nach gesetzlichen Vorschriften erlaubt ist, ist für die oben aufgeführten Weiterverwendungen des Materials die Einwilligung des jeweiligen Rechteinhabers einzuholen.



Wie viel Kreislauf ist möglich?

8

Manche Denkschulen der Circular Economy formulieren in ihren Konzepten eine Vision, in der sich Stoffe kontinuierlich in Kreisläufen bewegen, sodass weder neue Rohstoffe benötigt werden noch Abfälle anfallen. Diese Vision eignet sich jedoch nicht als Leitbild, weil sie etwas Unmögliches beschreibt. Ernster zu nehmen ist da schon die Frage, ob die Kreislaufführung von Stoffen und Materialien ein nachhaltiges Wirtschaftswachstum ermöglichen kann. In der Praxis wird die Circular Economy jedenfalls als Weg dargestellt, der zu wirtschaftlichem Wohlstand und Wachstum führt.¹ Letzteres trifft auch auf die Bioökonomie der Lesarten 2 und 3 zu. Auch wenn ihre Potenziale zunehmend kritisch bewertet werden, gehen aktuelle Strategien weiterhin davon aus, dass sich mit der Bioökonomie Wirtschaftswachstum generieren lässt.² Im vorliegenden Kapitel befassen wir uns deshalb damit, wie zirkulär die Wirtschaft heute bereits organisiert ist und welche Rolle wirtschaftliches Wachstum dabei spielt. Als Erstes gehen wir jedoch der oben bereits mit Nein beantworteten Frage nach, ob eine endlose Wiederverwertung grundsätzlich möglich ist.

8.1 Endlose Kreisläufe?

Manche Formulierungen aus dem Umfeld der Circular Economy, wie das „dauerhafte Recycling“ in Zitat 7.20 (Abschn. 7.3.1), vermitteln den Eindruck, dass sich Verwertungskreisläufe vollständig schließen lassen, zukünftig keine Abfälle mehr anfallen und auch keine Rohstoffe mehr gefördert werden müssen. Braungart und

¹ Kirchherr et al. 2017, S. 227 sowie z. B. Europäische Union 2020, S. 4; Sillanpää und Neibi 2019, S. 26; EMF 2014, S. 3, 10, 13.

² U. a. Bundesregierung 2020b, S. 4; The White House 2012, S. 11 f.

McDonough sprechen in Cradle to Cradle beispielsweise davon, dass Materialien „in geschlossenen technischen Kreisläufen bleiben, in denen sie fortwährend als wertvolle Nährstoffe für die Industrie kreisen“³, sodass schließlich keine Rohstoffe mehr gefördert werden müssen.⁴ Die Wörter „fortwährend“ und „geschlossen“ suggerieren in Kombination mit fehlenden Abfällen und nicht mehr benötigten Rohstoffen eine vollständige stoffliche Systemschließung und „ewige“ Kreislaufführung. Diese Vision ist allerdings nicht nur praktisch, sondern auch theoretisch unmöglich.

Dass es nicht möglich ist, das ökonomische System durch zirkuläre Prozesse stofflich komplett zu schließen, darauf hat bereits der Namensgeber der klassischen Bioökonomie, Nicolas Georgescu-Roegen (Abschn. 2.3.1.1), insistiert. Er begründete seinen Standpunkt mit einer auf wirtschaftliche Aktivitäten zurückgehenden Entropiezunahme. In Anlehnung an den 2. Hauptsatz der Thermodynamik (Abschn. 5.1.2) formulierte Georgescu-Roegen einen hauptsächlich für Wirtschaftsprozesse gedachten „4. Hauptsatz“. Analog zum 2. Hauptsatz, der besagt, dass die Entropie in einem abgeschlossenen System nur zunehmen kann, weil als Arbeit nutzbare Energie in nicht nutzbare Wärme umgewandelt wird, besagt Georgescu-Roegens 4. Hauptsatz, dass in einem stofflich geschlossenen System durch den Wirtschaftsprozess ökonomisch verfügbare Stoffe in ökonomisch nicht mehr verfügbare umgewandelt werden.⁵ Auch eine Wiederaufarbeitung löst das Problem für Georgescu-Roegen nicht grundsätzlich, da jedes Durchlaufen eines Wiederverwertungskreislaufs zu Materialverlusten, Dissipation und einer Entropiezunahme führt. Weitere Aspekte sind das Auftreten von Nebenprodukten und die bei den aufgearbeiteten Materialien auftretenden Qualitätsverluste. Dies schreibt auch der auf dem Gebiet des Sustainable Engineering und Ressourcenmanagements forschende Jonathan M. Cullen⁶ in Zitat 8.1. Laut Cullen müssen ständig neue Materialien und Energie zugeführt werden, um Verluste auszugleichen.

³ Braungart und McDonough 2014, S. 124.

⁴ Braungart und McDonough 2014, S. 135.

⁵ Unter anderen Georgescu-Roegen 1987.

⁶ UC 2023.

Zitat 8.1: Jonathan M. Cullen



“It is tempting to indulge the idea of an entirely circular economy (CE) as a practically achievable reality. A CE future is one in which waste no longer exists, one where material loops are closed, and where products are recycled indefinitely – an economy that perpetually gyrates without any Input of depletable resources. For real materials and processes, this is, in any practical sense, impossible. Every loop around the circle creates dissipation and entropy, attributed to losses in quantity (physical material losses, by-products) and quality (mixing, downgrading). New materials and energy must be injected into any circular material loop, to overcome these dissipative losses. If circularity is an ideal state, then to maintain credibility we should avoid giving any impression of full attainability”.⁷

Georgescu-Roegens Theorie wurde vielfach widersprochen. Seine Gegner hatten dabei teilweise gute Argumente: Thermodynamisch gesehen ist Georgescu-Roegens 4. Hauptsatz falsch, da energetisch offene Systeme Energie aufnehmen und abgeben und auf diese Weise grundsätzlich Entropie exportieren können (Abschn. 5.1.2.2). Da der Entropiezunahme in der Biosphäre durch ständige Energiezufuhr durch die Sonne entgegengewirkt wird (Abb. 5.9, Abschn. 5.3.3), müsste, wenn genügend Energie zur Verfügung steht, thermodynamisch deshalb eigentlich auch ein vollständiges Recycling möglich sein. Dieser Argumentation folgen zumindest Braungart und McDonough in Cradle to Cradle. Wie sie schreiben, hängt die „gesamte Industrie der Natur [...] von der Energie der Sonne ab, die als eine Form laufenden, sich ständig erneuernden Einkommens betrachtet werden kann.“⁸ Und weiter, dass von diesem Sonnenlicht das „Vieltausendfache der Menge an Energie, die die Menschheit für ihre Aktivitäten benötigt“, täglich auf die Erdoberfläche trifft.⁹ Auch der der Industriellen Ökologie zuzurechnende Robert Ayres¹⁰ und der Ökonom Carlo Bianciardi et al.¹¹ befassen sich mit der Möglichkeit einer 100%igen Wiederverwertbarkeit. Laut Ayres in Zitat 8.2 ist diese möglich, wenn genügend Energie zur Verfügung steht.

⁷ Cullen 2017, S. 483.

⁸ Braungart und McDonough 2014.

⁹ Braungart und McDonough 2014, S. 44.

¹⁰ Ayres 1999.

¹¹ Bianciardi et al. 1993.

Zitat 8.2: Robert U. Ayres (*1932)



“Despite counter examples in nature, it has been argued that total recycling is impossible for an industrial society as a consequence of the second law of thermodynamics. In this paper it is shown that there is no such limitation.”¹² [...].

“The most important implication for the real world is that a ‘spaceship economy’ (with total recycling of critical materials) is perfectly consistent with the second law of thermodynamics, provided only that a sufficient exergy flux is available from outside the system (e.g. from the sun). This contradicts G-R’s thesis of a ‘fourth law’ of thermodynamics”.¹³*

**Georgescu-Roegen’s.*

Ayres geht ebenso wie Braungart und McDonough davon aus, dass Sonnenenergie „nahezu unbegrenzt“¹⁴ vorhanden ist. Sein Argument lautet, dass Pflanzen nur einen sehr geringen Teil davon absorbieren und als Biomasse speichern, sodass genügend Energie für eine Circular Economy zur Verfügung steht. Ayres spricht sich gegen die These Georgescu-Roegens aus, dass aufgrund des Anwachsens der Entropie ein immerwährendes Recycling auch dann nicht möglich ist, wenn Energie in unbegrenzter Menge verfügbar wäre.

Ayres behauptet jedoch nicht, dass in der Circular Economy keine Stoffe verloren gehen. Was diesen Punkt betrifft, ist er in seiner Position ganz bei Georgescu-Roegen oder Cullen. Wie sie geht er davon aus, dass Stoffe, die während der Gebrauchphase oder bei der Wiederverwendung verloren gehen, sich auf der Erde verteilen und ggf. in Reservoirien wie der Erdkruste oder den Ozeanen sammeln. Anders als Georgescu-Roegen glaubt Ayres aber nicht, dass diese Stoffe unwiederbringlich verloren sind, sondern zurückgewonnen werden können. So schreibt er es jedenfalls in der hier zitierten Publikation. Systemisch sind die Reservoirien für ihn eine Art Sammelbehälter, die er entsprechend auch als „waste basket“ oder „store house“ bezeichnet.¹⁵ Ayres behauptet, dass es aufgrund der postulierten Verfügbarkeit von Energie kein grundsätzliches Hindernis gibt, den „Sammelbehälter Erde“, wie einen „Erzhaufen“ zu behandeln und Stoffe aus ihm zu gewinnen.¹⁶ Hierfür müsse das Abfalldepot nur groß genug sein. Das von Ayres skizzierte Konzept ist in Abb. 8.1 in deutscher Übersetzung wiedergegeben.

¹²Ayres 1999, S. 473.

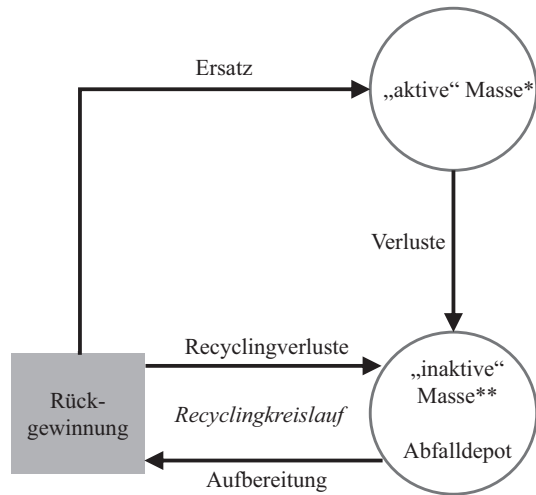
¹³Ayres 1999, S. 480.

¹⁴„Nearly unlimited“ Ayres 1999, S. 479.

¹⁵Ayres 1999, S. 475.

¹⁶“It is simply that, given the postulated availability of energy (exergy), there is no barrier to treating the ‘wastebasket’ as an ore pile and recovering materials from it.” Ayres 1999, S. 475.

Abb. 8.1 „Ewiges“
Recyclingsystem nach
Ayres.¹⁷ (Eigene Darstellung
in Anlehnung an Ayres 1999,
S. 476)



* im Wirtschaftsprozess befindliche Stoffe

** aus dem Wirtschaftsprozess ausgeschleuste Stoffe

Dargestellt ist das von Ayres konzipierte Wechselspiel von Stoffen, die entweder dem Wirtschaftsprozess, Reservoiren oder einer Aufbereitung zugeordnet werden. Alle Stoffe, die sich im Wirtschaftsprozess befinden, werden in der Abbildung als „aktive Masse“ bezeichnet. Von ihr geht ständig etwas verloren, beispielsweise in Form von Emissionen, die sich auf bestimmte Reservoirs verteilen. Bei diesen kann es sich um Tankbehälter oder Lager, aber auch Teile der Bio-, Geo-, Hydro- und Atmosphäre handeln. Ayres nennt diese Stoffe „inaktive Masse“, weil sie der Wirtschaft entzogen sind. Sie werden in seinem Konzept mithilfe der, zumindest laut Ayres, unbegrenzt zur Verfügung stehenden Energie wiederaufbereitet. Die zurückgewonnenen Stoffe treten so wieder in den Wirtschaftsprozess ein. Verluste bei der Aufbereitung gelangen wieder in das Abfalldepot, wo sie vermischt mit anderen Stoffen für eine erneute Aufarbeitung zur Verfügung stehen. Kann dieses Konzept funktionieren? Es widerspricht der Thermodynamik energetisch offener Systeme (Abschn. 5.1.2.2) jedenfalls nicht grundsätzlich, lässt aber trotzdem theoretische und praktische Randbedingungen wie die folgenden außer Acht:

¹⁷Ayres 1999, S. 476.

1. Schädigende Wirkungen

Die aus dem Wirtschaftsprozess freigesetzten Stoffe können durch ihre Verteilung in den Reservoiren Schaden verursachen. Auf diesen Punkt weist auch Ayres hin.¹⁸

2. Regenerative Energie steht nicht unbegrenzt zur Verfügung

Ayres Annahme, die nicht von der Biosphäre verbrauchte Sonnenenergie könne unfänglich genutzt werden, berücksichtigt nicht, dass für die Nutzung des Sonnenlichts eine Technologie verwendet werden muss, die Flächen benötigt. Diese Flächen sind limitiert und setzen der Nutzung der Solarenergie Grenzen. Das Potenzial der Sonnenenergie mag groß sein, ist aber nicht unbegrenzt nutzbar.

3. Die Energie, die benötigt wird, um Stoffe zu gewinnen, steigt exponentiell mit geringer werdender Stoffkonzentration

Wenn ein Stoff einmal aus dem Wirtschaftsprozess freigesetzt wurde, kostet seine Rückgewinnung erheblich mehr Energie, als wenn er sich noch in diesem befindet. Er liegt dann in stark verdünnter Form vor, sodass zum einen sehr viel Material aufgearbeitet werden muss, um eine bestimmte Stoffmenge zurückzugewinnen. Zum anderen ist eine Verdünnung mit einer Entropiezunahme verbunden. Um einen verdünnten Stoff zurückzugewinnen, muss deshalb mindestens so viel Energie aufgewendet werden, wie zur Kompensation der Entropiezunahme benötigt wird. Wie groß diese Menge ist, lässt sich für Gase mit der folgenden Gleichung berechnen:¹⁹

$$\Delta E = -RT \left\{ \ln x_i + \frac{1 - x_i}{x_i} \ln (1 - x_i) \right\}$$

Dabei ist ΔE die Energie, die pro Mol aufgebracht werden muss, um die auf Verdünnung zurückgehende Entropiezunahme auszugleichen, x_i die Konzentration des Stoffes als Molenbruch, R die Ideale Gaskonstante und T die Temperatur in Kelvin. Der Verlauf der Funktion ist in Abb. 8.2 dargestellt.

In der Abbildung ist die für eine vollständige Aufkonzentrierung eines Stoffes mindestens aufzuwendende Energie in Abhängigkeit von seiner Verdünnung dargestellt. Es wird deutlich, dass umso mehr Energie für die Rückgewinnung aufgebracht werden muss, je größer die Verdünnung ist. Für die Anreicherung von CO_2 aus Luft beispielsweise ist deshalb eine Energiemenge erforderlich, die in etwa dreimal so groß ist wie die Menge, die zur Anreicherung aus dem Rauchgas eines Kraftwerks benötigt wird. Da die Abhängigkeit des Energiebedarfs von der Verdünnung exponentiell ist, wäre für die Rückgewinnung diffus verteilter Stoffe exorbitant viel Energie erforderlich. Eine Rückgewinnung

¹⁸Ayres 1999, S. 479.

¹⁹Huesemann 2003, S. 24; Faber 1995, S. 107 ff., 112 ff.

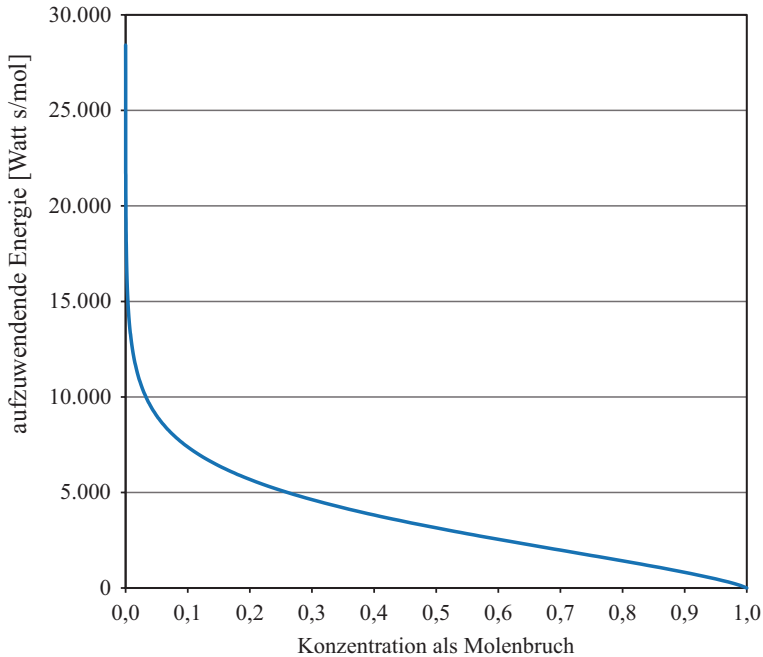


Abb. 8.2 Energie, die pro Mol eines Stoffes benötigt wird, um die mit der Verdünnung eines gasförmigen Stoffes einhergehende Entropiezunahme zu kompensieren. Dargestellt ist die Abhängigkeit von der Verdünnung, die als Molenbruch angegeben ist, bei $T=273\text{ K}$. (Eigene Darstellung, angelehnt an Huesemann 2003, S. 25)

aller Verluste mag somit thermodynamisch möglich sein, ist praktisch aber unmöglich, weil der Energieaufwand extrem hoch wäre.

4. Energie ist nicht alles

Selbst aber, wenn unbegrenzt Energie zur Verfügung stehen würde, lassen sich nicht alle Stoffe aus allen Reservoiren zurückgewinnen. Dies ist bei Gasen wie CO_2 in der Atmosphäre vielleicht über sehr lange Zeiträume nicht völlig ausgeschlossen, bei Mikroplastik in Bodensedimenten aber unmöglich. Hierfür müsste es nicht nur eine Technologie geben, mit der die Kunststoffe aus Böden extrahiert werden können, und gigantische Mengen an Energie, um die Technologie anzuwenden. Es müssten auch große Teile der Erdoberfläche bzw. letztlich der ganze Planet technisch „behandelt“ werden, was nicht nur praktisch, sondern auch theoretisch unmöglich ist. Ayres verweist ggf. am Rande auf diesen Aspekt. Er spricht davon, dass nicht alle Reservoire aktiv

genutzt werden können und dass der in das System ggf. einzubringende Energie- bzw. Exergiefluss „ungewöhnlich hoch“ sein kann.²⁰

Zusammenfassend lässt sich somit sagen, dass eine vollständige Rückgewinnung aller Stoffe und Materialien in offenen Systemen thermodynamisch grundsätzlich möglich ist, trotzdem aber unmöglich bleibt, weil die thermodynamische Perspektive die Wirklichkeit nicht in Gänze beschreibt. Dies zeigen beispielsweise die o. g. Punkte 1, 2 und 4. Georgescu-Roegen's 4. Hauptsatz ist somit zwar nicht gleichrangig mit dem 2. Hauptsatz der Thermodynamik als eine Art physikalisches Gesetz einzuordnen,²¹ er beschreibt aber dennoch einen wichtigen Aspekt der Realität: Im Wirtschaftsprozess werden verfügbare Ressourcen in wirtschaftlich nicht mehr nutzbare Stoffe umgewandelt, die nicht vollständig zurückgewonnen werden können. Die „fortwährenden“ Kreisläufe aus Cradle to Cradle sind deshalb eine Illusion.

8.2 Kopplung ökologischer und ökonomischer Systeme

Nicht nur die Möglichkeiten der Wiederverwendung von Stoffen sind begrenzt, auch die in der Bioökonomie der Lesart 3 vorgesehene Nutzung von Biomassen ist Beschränkungen unterworfen. Auf den grundsätzlich vorhandenen Konflikt zwischen ökologischen Funktionen, Nahrungsmittelproduktion, sozialen Faktoren und der Gewinnung von Rohstoffen haben wir bereits in Abschn. 2.3.2 hingewiesen. Wir wollen an dieser Stelle noch einen weiteren Aspekt ansprechen, der mit einer in der Bioökonomie angestrebten Systemkopplung bzw. Systemkonvergenz (Abschn. 7.1.11) zu tun hat. Aus Sicht der Bioökonomie handelt es sich bei der Biosphäre um ein System, dessen Prozesse grundsätzlich ökonomisch ausgelegt und entsprechend genutzt werden können. Ihr Ziel ist es, die menschliche Wirtschaft an die „Ökonomie der Natur“ zu koppeln. Diese Kopplung wäre selbst dann problematisch, wenn wir hier von der Fragwürdigkeit der Natur-Ökonomie-Analogie, auf die wir in Abschn. 7.3 eingegangen sind, absehen würden. Damit sie funktioniert, müssen die „Systemzeiten“ von Wirtschaft und Biosphäre kompatibel sein.

Der Begriff der „Systemzeit“ beschreibt den Rhythmus von Systemprozessen bzw. den zeitlichen Abstand, in dem periodische Wechsel im System erfolgen.²² Streng definiert ist der Begriff nicht. Die Systemzeit kann beispielsweise angeben, „wie lange es dauert, bis sich ein System reproduziert [oder...] bis das

²⁰“But there are two key feature of any materials recycling system that will not change. First, it is not possible for all of the critical resource to be utilized actively and also continuously recycled in a steady state system. There must be one (or more) inactive reservoirs or ‘wastebaskets’ for high entropy wastes. Second, in a steady state the active: inactive concentration ratios can be arbitrarily high, depending on the available exergy flux from outside the system“, Ayres 1999, S. 480.

²¹ Mayumi 2009, S. 1243.

²² Kümmerer 1995, S. 103.

System auf Störungen sichtbar oder messbar reagiert“²³. Sie kann sich sowohl auf eine Generationszeit oder die Stoffwechselaktivität eines Organismus beziehen. Mikroorganismen mit raschen Generationenfolgen haben eine kürzere Systemzeit als Säugetiere mit längeren Generationszeiten. Die Systemzeit eines als Ökosystem beschriebenen Sees ist beispielsweise mit den Jahreszeitenwechsel synchronisiert und beträgt ein Jahr.

Auch in technischen Prozessen oder bei der Herstellung von Gütern spielen unterschiedliche Zeitskalen eine Rolle. Es gibt Produkte wie Brötchen, die im Minuten- oder Stundentakt hergestellt werden, während Brücken oder Straßen mehrere Jahre bis zu mehr als einem Jahrzehnt für ihren Bau benötigen. Brötchen werden auch sofort verbraucht, während Brücken und Straßen auf eine Nutzungsphase von mehreren Jahrzehnten ausgelegt sind. Die für Produktionsprozesse relevanten Systemzeiten hängen von Bau- und Planungszeiten, Jahres- oder Quartalsabschlüssen, Ausbildungsdauern und Nutzungszeiten ab.²⁴

Zustand und Stabilität eines Systems werden insgesamt durch das Wechselspiel der verschiedenen Eigenzeiten, wie die Systemzeiten von Subsystemen auch genannt werden, bestimmt.²⁵ Kopplungen zwischen technisch-ökonomischen und ökologischen Systemen sind oft problematisch, weil ihre Eigen- respektive Systemzeiten häufig nicht zueinander passen. Dies lässt sich beispielsweise aus den Grafiken für die „große Beschleunigung“ in Abschn. 1.2 ablesen. Das immer schnellere Wachstum der Warenproduktion geht hier mit einer massiven Veränderung geökologischer Parameter einher. Größere Änderungen in der CO₂-Konzentration erfolgten in der Vergangenheit meist über Jahrtausende und nicht wie heute in Jahrzehnten. Klimazonen verändern sich so schneller, als Pflanzen sich ausbreiten können. Die Zeit, die Ökosystemen für eine Anpassung zur Verfügung steht, wird so immer mehr verkürzt. In einer Bioökonomie müssten deshalb die Stoff- und Energieströme so gestaltet werden, dass sie zu den ökologischen Prozessen, in die sie zwangsläufig eingebettet sein müssen, passen.²⁶ Einer nachwachsende Rohstoffe nutzenden Bioökonomie sind somit grundsätzliche ökologische Grenzen gesetzt.

8.3 Wie zirkulär ist die Wirtschaft?

Seit Kenneth Boulding seine Raumschiff-Erde-Metapher verfasste, um auf die Notwendigkeit zirkulärer Wirtschaftsstrukturen aufmerksam zu machen, sind mehr als 50 Jahre vergangen. Bouldings Vision einer zirkulären Wirtschaftsweise befindet sich seitdem, wenn auch mit wechselnder Intensität, auf der Agenda von

²³ Kümmerer 1993, S. 88.

²⁴ Kümmerer 1993, S. 90.

²⁵ Kümmerer 1995, S. 105.

²⁶ Kümmerer 1993, S. 98.

Wissenschaft, Politik und Wirtschaft. Zeit genug, sollte man meinen, um zirkuläre Wirtschaftsstrukturen aufzubauen.

Daten zum Status der Circular Economy finden sich u. a. in den von der Organisation Circle Economy seit einigen Jahren herausgegebenen Jahresberichten, den „Circularity Gap Reports“. Betrachtet man die aktuelle Situation, fällt die bisherige Bilanz ernüchternd aus. Laut 2023er-Bericht nahm der Anteil wiederverwendeter Materialien an den insgesamt in der Weltwirtschaft verbrauchten Stoffen in den letzten fünf Jahren von 9,1 auf 7,2 % ab.²⁷ Haas et al., ein Autorenteam der Universität für Bodenkultur (BOKU) Wien, das die im Zeitraum von 1900 bis 2015 durch die Weltwirtschaft insgesamt umgesetzten Stoffmengen untersuchte, kommen zu ähnlichen Ergebnissen.²⁸ Sie sind in Abb. 8.3 zusammengefasst und werden nachfolgend beschrieben.

In dem von Haas et al. verwendeten Modell wird die Weltwirtschaft als Subsystem eines übergeordneten Erdsystems dargestellt. Diese grundsätzliche Konzeption haben wir in Abb. 8.3 übernommen. Eingezeichnet sind Stoffflüsse und deren Veränderungen in den letzten 115 Jahren. Die Zahlen zeigen, wie sehr der Materialverbrauch in dieser Zeit gewachsen ist: Die Masse der jährlich umgesetzten Stoffe stieg um mehr als das Zwölfwache, von 7,6 auf 95 Gt. Im Jahr 1900 bestand der größte Teil der verwendeten Ressourcen noch aus Biomassen. Obwohl sich ihre Gesamtmenge im untersuchten Zeitraum fast verfünffachte, sank ihr relativer Anteil von 70 auf 26 %.

Bei der Betrachtung der Grafik fällt auf, dass jährlich mehr Stoffe in die Wirtschaft gelangen (Input), als aus ihr ausgeschieden werden (Output). Das ist darauf zurückzuführen, dass sie unterschiedlich lange im Wirtschaftssystem gebunden bleiben. Die Zeiträume, bis sie es wieder verlassen, sind nicht gleich. Während ein Teil energetisch genutzt wird oder sich in kurzlebigen Verbrauchsgütern befindet, verbleibt ein weiterer Teil längerfristig als sogenannte „Materialbestände“ („stocks“) in Produkten wie Gebäuden, Maschinen oder Teilen der Infrastruktur gebunden. Die Verweilzeit in solchen Beständen kann zwischen einem Jahr bis zu mehrere Jahrzehnte betragen.²⁹

Die absolute Masse der Bestände hat sich seit 1900 um das 27-Fache vergrößert. Zu ihrem Aufbau und Unterhalt werden heute fast 70 % der verarbeiteten nicht erneuerbaren Ressourcen verwendet. Die Organisation Circle Economy geht hier von kleineren Zahlen aus als Haas et al. Hier sind es, laut 2023er-Bericht, zwar nicht 70 %, trotzdem aber immer noch 38 %, die in die Bestände fließen. Laut Haas et al. sind von den 1484 Gt an Metallen und Mineralien, die zwischen 1900 und 2015 aus Erzen und Gesteinen gewonnen wurden, heute noch

²⁷ CGRI 2023, S. 8,18.

²⁸ Haas et al. 2020; Haas et al. 2015.

²⁹ Haas et al. 2015.

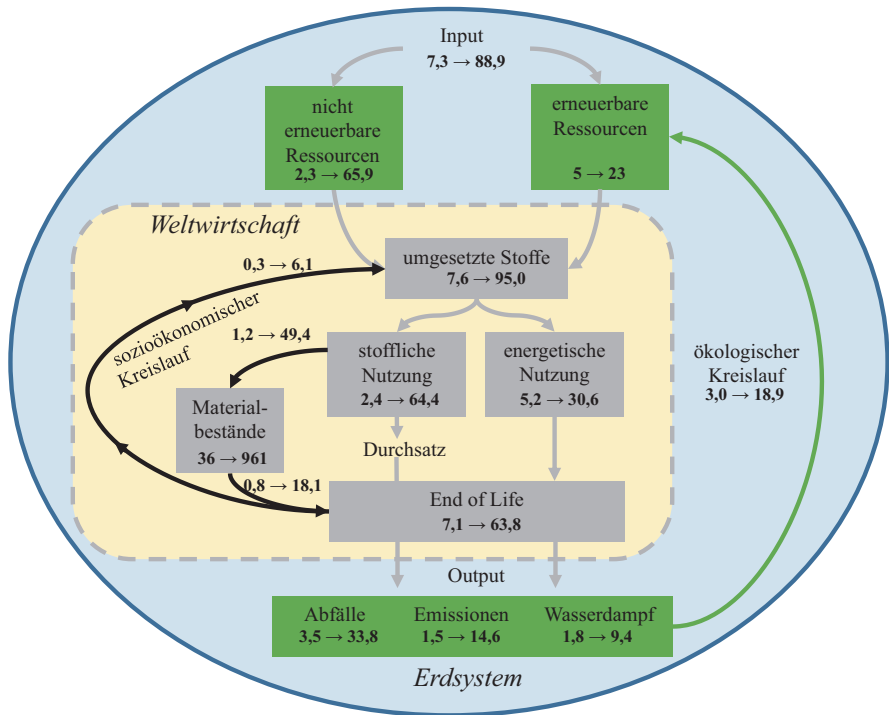


Abb. 8.3 Globale ökonomische Stoffflüsse und -umsätze in Gt/a von 1900 → 2015.³⁰ (Eigene Darstellung nach Daten von Haas et al. 2020)

ca. 961 Gt in Materialbeständen gebunden. Deren Masse wächst laut Haas et al. jährlich um 49 Gt, laut Gap-Report um 38 Gt.³¹

In ihrer Analyse unterscheiden Haas et al. zwischen einer „sozioökonomischen“ (schwarze Pfeile) und „ökologischen“ Stoffzirkulation (grüne Pfeile). Ihr sozioökonomischer Kreislauf umfasst alle Stoffe, die als Sekundärmaterial in die Produktion zurückgeführt werden, während sich ihr ökologischer Kreislauf auf Abfälle und Emissionen bezieht, die in biogeochemischen Kreisläufen wieder in Biomasse umgewandelt werden. Hierzu gehört beispielsweise die emittierte CO₂-Menge, die wieder von Pflanzen aufgenommen werden kann. Für den sozioökonomischen Kreislauf stehen grundsätzlich die Stoffe für eine Aufarbeitung zur Verfügung, die aus kurzlebigen Produkten und aus dem Rückbau von Materialbeständen stammen.

³⁰Die Daten wurden bei Haas et al. 2020 Abb. 2 entnommen. Die Werte für den ökologischen Kreislauf wurden mit prozentualen Angaben aus Abb. 3 bei Haas et al. berechnet.

³¹Abb. 8.3, Haas et al. 2020; CGI 2023, S. 18.

Wie hoch die Stoffmenge ist, die aus Abfällen und Emissionen über den ökologischen Kreislauf zu neuem Pflanzenwachstum führt, ist schwer zu bestimmen. Sie wird auf jeden Fall zu hoch eingeschätzt, wenn Biomasse zu 100 % als erneuerbar angenommen wird. Vor allem in einer intensiv betriebenen Landwirtschaft ist das nicht der Fall. Haas et al. werten deshalb auf Basis von Daten, die sie der Literatur entnommen haben und die Art und Intensität von Landnutzungen und -bedeckungen berücksichtigen, einen Teil der eingesetzten Biomasse als nicht erneuerbar.³²

Haas et al. fassen in ihrer Studie die Stoffe, die im sozioökonomischen Kreislauf zurückgewonnen werden, und den regenerativen Teil der genutzten Biomasse zu einer Gesamtkreislaufquote zusammen. Bezogen auf den Input betrug diese im Jahr 1900 43 %, was im Wesentlichen auf den hohen Biomasseanteil zurückzuführen ist. Es ist also bei der Bewertung einer Kreislaufquote nicht unerheblich, ob Bioökonomie und Circular Economy zusammen gedacht werden oder nicht. Im sozioökonomischen Kreislauf von Haas et al. nahm die jährliche Menge wieder aufbereiteter Materialien absolut von 0,3 auf 6,1 Gt zu, relativ nahm sie aber bis 2015 von 12 auf 8–9 % ab, was sich mit der o. g. Angabe aus dem 2023er-Circularity Gap Report deckt. Die Gründe, warum absolute und relative Zahlen unterschiedliche Trends ausdrücken, sind im Wachstum der Stoffumsätze insgesamt, der energetischen Nutzung fossiler Stoffe und der langfristigen Stoffbindung in Beständen zu suchen. Letztere stehen für eine Wiederverwertung erst einmal nicht zur Verfügung.

8.4 Strukturelle Hemmnisse

Sowohl die Analyse von Haas et al. als auch die des Circularity Gap Reports zeigen, dass es bei einer Wirtschaft, die so wächst wie bisher, nicht möglich ist, den Ressourcenbedarf vollständig aus wiederverwerteten Materialien zu decken. Weil ein großer Teil der umgesetzten Stoffe zum Aufbau und Unterhalt von langlebigen Produkten wie Gebäuden, Maschinen oder Teilen der Infrastruktur verwendet wird, die kurzfristig für eine Wiederverwertung nicht zur Verfügung stehen, gilt das auch, wenn alles, was an Abfällen und Emissionen anfällt, zu 100 % wiederverwertet werden würde. Die Menge der langfristig gebundenen Stoffe wächst laut Haas et al. kontinuierlich, zuletzt, von 2002 bis 2015, um jährlich 3,5 %. Seit 1900 hat sich die in Beständen gebundene Stoffmenge um mehr als das 20-Fache erhöht. Auch wenn, was unmöglich ist (Abschn. 8.1), 100 % Aufbereitung angenommen werden, könnten beispielsweise zurückgewonnene Metalle laut Haas et al. deshalb nur 57 % des Metallbedarfs decken.³³ Abb. 8.4 zeigt die Ergebnisse einer eigenen orientierenden Schätzung.

³²Seit Mitte der 1980er-Jahre kam es durch eine Entwaldung in den Tropen zu einer Zunahme nicht nachhaltig genutzter Biomasse. Haas et al. 2020.

³³Haas et al. 2020, S. 8.

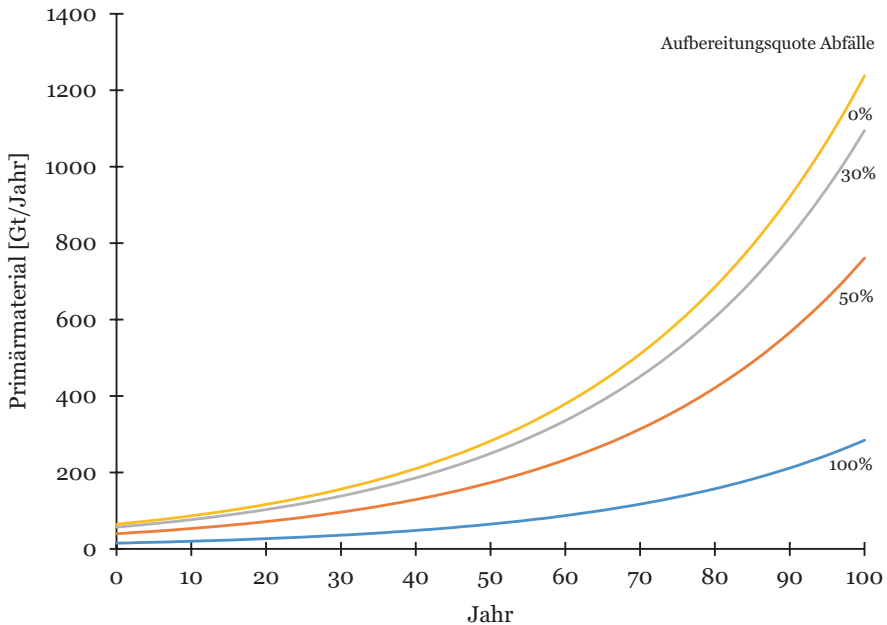


Abb. 8.4 Benötigtes Primärmaterial bei unterschiedlichen Recyclingraten und einer jährlichen Wachstumsrate von 3,5 %.³⁴ (Eigene Darstellung)

Dargestellt ist die zeitliche Entwicklung der Menge an Primärmaterial, die bei einem jährlich um 3,5 % wachsenden globalen Stoffumsatz zusätzlich zu den zurückgewonnenen Stoffen erforderlich ist. Von diesem verbleibt ein Teil eine gewisse Zeit in Beständen gebunden. Wie viel Material wie lange gebunden bleibt, wurde, da es uns hier nicht um quantitativ verlässliche Angaben, sondern um Trends geht, mehr oder weniger willkürlich von uns geschätzt. Dargestellt ist die Entwicklung für unterschiedliche Aufbereitungsraten. Es wird, was nicht überraschend ist, deutlich, dass mit zunehmender Wiederverwertung weniger Primärmaterial benötigt wird. Da ein größer werdender Teil in Beständen gebunden bleibt und erst nach längerer Zeit, in der die Bestände weiter anwachsen, für eine

³⁴Der Berechnung liegen Angaben von Haas et al. 2020 und eigene Annahmen zugrunde. Haas et al. zufolge wurden 2015 64,4 Gt Material stofflich genutzt, von denen 49,4 Gt für Aufbau und Erhalt von Beständen aus Maschinen, Gebäuden und Infrastruktur verwendet wurden. Für eine Wiederverwertung stehen grundsätzlich die Materialien zur Verfügung, die aus kurzlebigen Gebrauchsgütern und dem Abbau von in der Vergangenheit aufgebauten Beständen resultieren. Für die Berechnung wurde vereinfachend angenommen, dass sich das von Haas et al. für den Zeitraum zwischen 2002 und 2015 angegebene Wachstum des Stoffumsatzes von 3,5 % fortsetzt und jeweils 25 % der in Beständen gebundenen Ressourcen grundsätzlich nach 5, 10, 15 oder 20 Jahren wieder zur Verfügung stehen.

Aufarbeitung zur Verfügung steht, werden auch bei einer 100%igen Verwertung noch wachsende Mengen Primärmaterialien benötigt. Wenn auch deutlich weniger als bei geringeren Verwertungsraten.

8.5 Was ist möglich?

Dass die Wiederverwertung von Materialien bisher nicht so recht vorangekommen ist, hat zwar auch mit der nach wie vor fehlenden Konsequenz zur Entwicklung einer Circular Economy zu tun, aber nicht nur. Es gibt auch systemimmanente Ursachen, die eine Circular Economy hemmen. Dabei ist weniger das Problem, dass der größte Teil der eingesetzten Stoffe in Beständen gebunden ist, im Gegenteil, lange Nutzungsdauern sind aus kreislaufwirtschaftlicher Sicht sogar anzustreben. Es macht schließlich keinen Sinn, Brücken schneller abzureißen oder Mobiltelefone früher zu verschrotten, damit mehr Materialien zurückgewonnen werden können. Das Problem ist also nicht die Nutzungsdauer an sich, sondern dass die Menge der gebundenen Stoffe, die für eine Wiederaufarbeitung nicht zur Verfügung stehen, jedes Jahr um ein Beträchtliches größer wird. Wie Abb. 8.4 zeigt und Zitat 8.3 aus dem Circularity Gap Report bestätigt, läuft eine Circular Economy dem wachsenden Stoffumsatz hinterher.

Zitat 8.3: Circularity Gap Report (2023)



“Circular inputs measure the share of secondary materials that are cycled back into the economy from waste. In just the past five years, the world’s circularity has shrunk from 9.1 % to 7.2 % of total material inputs. This isn’t simply because we’re failing to cycle more – it’s also due to increasing virgin extraction and the fact that we are putting more and more materials into stocks like roads, homes and durable goods. This means that the global economy cannot cycle enough to create a truly closed-loop of consumption: without significantly reducing material use, it’s inevitable that the Circularity Metric will continue to fall.”³⁵

“A circular economy focused on cycling alone cannot keep up with virgin material use rising to unprecedented heights – we cannot recycle our way out of this one.”³⁶

Eine Circular Economy entbindet uns also nicht von einer Auseinandersetzung mit der Wachstumsfrage. Wir können uns, um den Circularity Gap Report zu zitieren, „nicht durch Recycling aus der aktuellen Situation befreien“ (Zitat 8.3). Abb. 8.4 zeigt aber auch, dass es nicht egal ist, wie viel wir wiederverwerten. Eine

³⁵ CGRI 2023, S. 18.

³⁶ CGRI 2023, S. 8.

möglichst hohe Quote spart Ressourcen, auch wenn noch offen ist, wie viel. Wir schließen dieses Kapitel deshalb, bevor wir zu unserem Fazit kommen, mit Zitat 8.4, das die Einschätzung der Organisation Circle Economy wiedergibt. Hiernach könnte mithilfe der Circular Economy der Ressourcenverbrauch auf 70 % des heutigen Wertes gesenkt werden. Das ist weit entfernt von 100%iger Wiederverwertung, wäre aber ein wichtiger Schritt zu mehr Nachhaltigkeit, der, im Gegensatz zu „ewigen“ Kreislaufvorstellungen, zumindest realistisch ist.

Zitat 8.4: Circularity Gap Report (2023)



“With a circular economy, we can fulfil people’s needs with just 70 % of the materials we currently use – within the safe limits of the planet.”³⁷

³⁷ CGRI 2023, S. 8.

Open Access Dieses Kapitel wird unter der Creative Commons Namensnennung 4.0 International Lizenz (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.de>) veröffentlicht, welche die Nutzung, Vervielfältigung, Bearbeitung, Verbreitung und Wiedergabe in jeglichem Medium und Format erlaubt, sofern Sie den/die ursprünglichen Autor(en) und die Quelle ordnungsgemäß nennen, einen Link zur Creative Commons Lizenz beifügen und angeben, ob Änderungen vorgenommen wurden.

Die in diesem Kapitel enthaltenen Bilder und sonstiges Drittmaterial unterliegen ebenfalls der genannten Creative Commons Lizenz, sofern sich aus der Abbildungslegende nichts anderes ergibt. Sofern das betreffende Material nicht unter der genannten Creative Commons Lizenz steht und die betreffende Handlung nicht nach gesetzlichen Vorschriften erlaubt ist, ist für die oben aufgeführten Weiterverwendungen des Materials die Einwilligung des jeweiligen Rechteinhabers einzuholen.



Manche Leserin oder mancher Leser wird sich bei der Lektüre dieses Buches vielleicht gefragt haben, wie seine Autoren zur Circular Economy und Bioökonomie stehen. Wir beginnen unser Fazit deshalb mit einer Klarstellung und bekennen uns, um Missverständnisse zu vermeiden, ausdrücklich zur Circular Economy. Wir können uns nicht vorstellen, dass eine nachhaltige Entwicklung ohne sie gelingen kann. Stoffe mehrfach zu nutzen sowie Materialien und Produkte wiederzuverwenden, ist, wenn es gelingt, Rebound-Effekte zu vermeiden, ökonomisch, sozial und ökologisch sinnvoll. Der Weg in eine Circular Economy kann zudem dazu beitragen, einen Wertewandel herbeizuführen, durch den Ressourcen ökonomisch und emotional wertgeschätzt werden. Wir halten es deshalb für dringend erforderlich, Strategien zur Entwicklung einer Circular Economy auf den Weg zu bringen. Auf europäischer Ebene gibt es eine solche bereits, in Deutschland steht sie noch aus. Aufgrund globaler Lieferketten wird es wichtig sein, Strategien über die Europäische Union hinaus, international abzustimmen.

Auf dem Weg zu einer Circular Economy reicht es nicht, Wiederverwertungskonzepte und Recyclingverfahren zu entwickeln. Sie müssen vielmehr Teil eines umfassenden Wandels sein, der, neben technischen Entwicklungen, auch ökonomische und gesellschaftliche Veränderungen beinhaltet. Sowohl Elemente einer Sharing Economy als auch die Wiederaufarbeitung hochwertiger Produkte („Remanufacturing“) und die Entwicklung einer Reparaturkultur sind in diesem Zusammenhang zu nennen. Eine wichtige Rolle werden wahrscheinlich „Produkt-Service-Systeme (PSS)“ spielen. Dabei handelt es sich um Geschäftsmodelle, in denen materielle Produkte über die Dauer ihrer Nutzung mit verschiedenen Serviceleistungen verknüpft werden.¹ In nutzungsorientierten PSS haben die Kunden für eine bestimmte Zeit Zugang zu den Funktionen eines Produkts, dass sie so nutzen, als ob es ihr Eigentum wäre. Eigentümer ist jedoch nicht der Nutzer,

¹ Schweitzer 2010, S. 7; Antikainen et al. 2021.

sondern der Anbieter. Er ist in einer Circular Economy für die Wiederaufarbeitung des Produkts verantwortlich. Sinn der Sache ist, ein ökonomisches Interesse zu generieren, dass Produkte und Vertriebswege so konzipiert werden, dass eine Wiederverwertung möglichst unkompliziert erfolgen kann. Substanziell für die Circular Economy ist, dass sowohl für die Produktherstellung als auch für Reparatur-, Wiederaufarbeitungs- und Recyclingprozesse regenerative Energie eingesetzt wird. Das gilt auch für die damit verbundenen Transportvorgänge und die Logistik („Reverse Logistics“).

So wichtig die Circular Economy für das Erreichen von Nachhaltigkeitszielen auch ist, eines kann sie nicht leisten: Sie ist kein Freifahrtschein für grenzenloses Wirtschaftswachstum! Eine Circular Economy entbindet uns nicht von der Frage, wie ein Wirtschaftssystem, das auf ständiges Wachstum angewiesen ist, verändert werden kann, ohne Menschen ins Elend zu stürzen. Ein nachhaltiger Umgang mit dem Planeten Erde wird auch in einer Circular Economy nicht im ausreichenden Maße möglich sein, wenn unser Konsumverhalten so weitergeht wie bisher. Es ist leicht gesagt und schwer getan, aber es muss auch nach weiteren Möglichkeiten zur Ressourcen- und Naturschonung gesucht werden, beispielsweise durch Suffizienz. Eine Circular Economy macht solche Ansätze nicht überflüssig. Im Gegenteil, Suffizienz kann auch ein Teil ihrer Reduzierungsstrategie sein.

Was die Bioökonomie betrifft, ist unser Standpunkt ambivalenter als bei der Circular Economy. Auf der einen Seite werden wir, wenn wir auf fossile Rohstoffe künftig verzichten wollen, andere kohlenstoffhaltige Materialien wie Biomasse zur Herstellung von Produkten benötigen. Auch biotechnische Verfahren werden in einer an Nachhaltigkeit ausgerichteten Produktion einen wichtigen Beitrag leisten müssen. Auf der anderen Seite bedeutet Bioökonomie in ihrer heutigen Lesart aber auch, dass die belebte Natur ökonomisch mehr und intensiver genutzt wird als bisher. Mit den aufgrund des Klimawandels weniger und trockener werdenden landwirtschaftlichen Flächen müssen in einer Bioökonomie nicht nur Nahrungsmittel, sondern auch Rohstoffe für industrielle Produkte hergestellt werden. Diese Flächenkonkurrenz wird zusätzlich verschärft, weil aus Gründen des Artenschutzes ausreichend große Bereiche nicht intensiv genutzt werden dürfen. Eine Bioökonomie darf deshalb kein unregulierter Markt sein, sondern muss so organisiert werden, dass genügend Nahrungsmittel produziert und ökologische Grenzen nicht überschritten werden. Letzteres werden sie jedoch schon heute.

Wie groß der Beitrag der Bioökonomie zu mehr Nachhaltigkeit sein kann, ist unklar. Wir orientieren unsere Position aus diesem Grund an einer Aussage, die der aktuelle dritte Bioökonomierat in einem Arbeitspapier getroffen hat. Der Rat schreibt, „dass die Bioökonomie prinzipiell einen Beitrag zu Nachhaltigkeit [...] leisten kann“, dass es aber „unterschiedliche Auffassungen darüber [gibt], ob Bioökonomie Nachhaltigkeitsziele erreichen kann, wenn sie einer traditionellen Orientierung an Parametern wirtschaftlichen Wachstums folgt“. Eine andere, auf Suffizienzstrategien aufbauende Wirtschaftsweise, so der Rat weiter, hätte

demnach auch „Konsequenzen für die Ausgestaltung der Bioökonomie“.² Wir teilen diese Einschätzung und meinen, dass es sich lohnen könnte, den Fokus wieder mehr auf die Konzepte zu richten, die wir im vorliegenden Buch als „klassische Bioökonomie“, „Bioökonomie Lesart 1“ oder „Ökologische Ökonomie“ bezeichnet haben.

Die klassische Bioökonomie ist etwas völlig anderes als ihre heutige Namensvetterin. Sie betrachtet das Wirtschaftssystem als Subsystem der Biosphäre und limitiert es in seinem Stoff- und Energieumsatz. Wirtschaft ist für sie Teil eines übergeordneten ökologischen Systems und nicht umgekehrt wie in den anderen Lesarten der Bioökonomie, wo Ökosysteme ein Teil der Wirtschaft sind. Diese Konzeption würde eine perspektivische Umkehr in der Erzählung der Bioökonomie beinhalten. Die Themen Biomassenutzung und biotechnische Verfahren ständen dann nicht, mit dem Anhängsel, nachhaltig sein zu müssen, für sich, sondern wären, zusammen mit der Circular Economy und anderen aufeinander abzustimmenden Konzepten, Werkzeuge einer ökologisch orientierten Wirtschaft. Auch in diesem Fall sollte nicht aus dem Blick geraten, dass die in der Ökologischen Ökonomie, Bioökonomie und Circular Economy verfolgten Ansätze eine systemische Perspektive auf die Welt wiedergeben, andere aber ausblenden. Systemvorstellungen sind aber nicht mit der Wirklichkeit identisch und können nicht absolut gesetzt werden. Sie sind Modelle, die in ihren Möglichkeiten, Natur zu erkennen und zu managen, nicht überbewertet werden dürfen. Dem Ziel zu folgen, Natur möglichst wenig umzugestalten, und uns mehr an sie anzupassen, wäre deshalb ebenfalls vielleicht ein Schritt in die richtige Richtung.

Zusammenfassend ist unsere Position zur Circular Economy und Bioökonomie die folgende:

Wir werben für die Entwicklung und Umsetzung der Circular Economy und können einer Biomassenutzung in einem begrenzten Umfang zustimmen. Sowohl die Circular Economy als auch eine ökologisch regulierte Bioökonomie sind wichtige Instrumente im Rahmen von Nachhaltigkeitsstrategien. Etwas sind beide aber nicht: Die Circular Economy ist keine Kopie der Natur und die Bioökonomie nicht deren Partnerin oder wesensgleich mit ihr. Wogegen wir uns mit unserem Buch wenden, ist eine unangemessene, teils romantisierende Naturmetaphorik, mit der in einem Teil bioökonomischer und kreislaufwirtschaftlicher Konzepte argumentiert wird. Diese Argumentation mag hilfreich sein, Menschen zu begeistern, suggeriert aber, die Wirtschaft ließe sich in ein selbstorganisiertes System umwandeln, das gleich einem aus endlosen technischen und bioökonomischen Kreisläufen bestehenden Perpetuum mobile alle Bedürfnisse befriedigt. Diese Vorstellung erzeugt zwar ein gutes Gefühl, hindert womöglich aber daran, sich damit auseinanderzusetzen, wie ein Wandel des Konsumverhaltens erreicht werden kann. Letzteres ist aber unbedingt notwendig, auch wenn zwischen dem Konsum in reicheren und ärmeren Regionen, die den größeren Teil der Weltbevölkerung stellen,

²Bioökonomierat 2022, S. 9.

unterschieden werden muss. Zur Überwindung absoluter Armut wird es in ärmeren Regionen mehr Konsum geben müssen, während in reicheren Regionen weniger konsumiert werden muss, ohne dass es dabei zu sozialen Schieflagen kommt. Hoffnung macht in diesem Zusammenhang eine UN-Prognose, der zufolge die Weltbevölkerung durch „Investitionen in wirtschaftliche Entwicklung, Bildung und Gesundheit“ ab Mitte des Jahrhunderts zurückgehen könnte.³

Die Circular Economy ist kein selbstorganisiertes System, das Materialien und Stoffe in endlosen Kreisläufen bewegt.⁴ Diese werden zwar mehrfach, aber nicht endlos wiederverwendet. Technische Kreisläufe entstehen auch nicht von selbst, sondern müssen organisiert werden. Die Stoffe in den Prozessen der Circular Economy müssen durch Energie sowie menschliche oder maschinelle Arbeit in Umlauf gehalten werden. Sie sind Teil globaler Stoffumsätze, aber, unserer Auffassung nach, von anderer Art als Prozesse in der Biosphäre. Und die Bioökonomie? Eine romantisierend beschriebene Verbindung zwischen Menschen und Natur, wie sie im Narrativ des Bioökonomierates von 2016 formuliert wird (Zitat 3.6),⁵ stellt sie jedenfalls nicht her. Die Bioökonomie ist nicht Natur, und sie macht Wirtschaft nicht natürlicher, sondern Naturteile zu einem Teil der menschlichen Wirtschaft.

Noch einmal: Wir befürworten die Circular Economy vollständig und lehnen auch eine eingeschränkte Biomassennutzung nicht ab. Wir möchten aber die Circular Economy und Bioökonomie als das nehmen, was sie sind. Sie sind keine Natur oder etwas der Natur Ähnliches, sondern Wirtschaftsformen. Ihre Erzählung sollten wir entsprechend anpassen.

Zum Schluss möchten wir noch einen wichtigen Punkt ansprechen, der bisher nur am Rande behandelt wurde. Er betrifft das Kreislaufmotiv. Teile der Circular Economy und Bioökonomie deuten es als Naturprinzip, das entweder in die Wirtschaft übertragen oder als Wirtschaft der Natur genutzt werden soll. Um die im vorliegenden Buch diskutierten Aspekte zu vervollständigen, ist deshalb noch die Frage offen, was Kreisläufe eigentlich sind. Hier ist nicht mehr der Platz, sie zu beantworten. Wir gehen ihr deshalb im zweiten Band unserer Reihe nach.

³Vereinte Nation (UNO) 2022.

⁴Auch die Prozesse in der Biosphäre sind nicht endlos und vollständig geschlossen. Ansonsten gäbe es weder Kohle noch Öl oder Erdgas.

⁵Bioökonomierat 2016, S. 4.

Open Access Dieses Kapitel wird unter der Creative Commons Namensnennung 4.0 International Lizenz (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.de>) veröffentlicht, welche die Nutzung, Vervielfältigung, Bearbeitung, Verbreitung und Wiedergabe in jeglichem Medium und Format erlaubt, sofern Sie den/die ursprünglichen Autor(en) und die Quelle ordnungsgemäß nennen, einen Link zur Creative Commons Lizenz beifügen und angeben, ob Änderungen vorgenommen wurden.

Die in diesem Kapitel enthaltenen Bilder und sonstiges Drittmaterial unterliegen ebenfalls der genannten Creative Commons Lizenz, sofern sich aus der Abbildungslegende nichts anderes ergibt. Sofern das betreffende Material nicht unter der genannten Creative Commons Lizenz steht und die betreffende Handlung nicht nach gesetzlichen Vorschriften erlaubt ist, ist für die oben aufgeführten Weiterverwendungen des Materials die Einwilligung des jeweiligen Rechteinhabers einzuholen.



Anhang

Bildquellen

Abbildungen

- Titelbild Circles in a Circle, 1923, Vasily Kandinsky, Philadelphia Museum of Art: The Louise and Walter Arensberg Collection, 1950, 1950-134-104, <https://philamuseum.org/collection/object/51019>
- Abbildung 1-1 Bild von p2722754 auf Pixabay (Ausschnitt), <https://pixabay.com/de/illustrations/raumschiff-star-trek-unternehmen-5138940/>, Aufstiegsstufe der Mondlandefähre Apollo 11 bei der Rückkehr von der Mondoberfläche zur Kommandokapsel (Ausschnitt), Bildnachweis: NASA/ Mike Collins, AS11-446642, <https://www.nasa.gov/wp-content/uploads/static/history/alsj/a11/AS11-44-6642HR.jpg>, NASA-Material ist urheberrechtlich nicht geschützt, sofern nicht anders angegeben: <https://www.nasa.gov/multimedia/guidelines/index.html>, zuletzt überprüft 21.02.2024
- Abbildung 1-2 Sammelbildchen der Schokoladenfirma Theodor Hildebrand & Sohn aus dem Jahr 1900 (https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Germany_in_XXI_century._Wheather.jpg), Unbekannter Künstler, „Germany in XXI century. Wheather“, gemeinfrei im Herkunftsland und anderen Ländern und Gebieten, in denen die Urheberrechtsdauer das Leben des Autors plus 70 Jahre oder weniger beträgt, Details auf Wikimedia Commons: <https://commons.wikimedia.org/wiki/Template:PD-old>, zuletzt überprüft 21.02.2024, zudem Bildzitat nach §51 UrhG,
- Abbildung 1-3 Bildzitat nach § 51 UrhG (Steffen et al. 2015, S. 84)
- Abbildung 1-4 Bildzitat nach § 51 UrhG (Steffen et al. 2015, S. 87)
- Abbildung 1-5 Die Erde aus 66 000 km Entfernung (Ausschnitt), fotografiert von Apollo 10, 1969, Bildnachweis NASA AS 10-34-5013, <https://www.nasa.gov/image-feature/may-18-1969-apollo-10-view-of-the-earth>, Durch eine Explosion beschädigtes Apollo 13 Service Modul, 1970, Bildnachweis NASA AS13-598500,

- <https://www.nasa.gov/content/damage-from-apollo-13-explosion>, NASA-Material ist urheberrechtlich nicht geschützt, sofern nicht anders angegeben: <https://www.nasa.gov/multimedia/guidelines/index.html>, zuletzt überprüft 20.9.2023
- Abbildung 1-6 Jean-Jacques Rousseau meditiert im Park von La Rochecordon bei Lyon, 1770, Alexandre Hyacinthe Dunouy, Museum Marmottan Monet, Paris, Bild ist gemeinfrei, Foto The Picture Art Collection / Alamy Stock Photo.
- Abbildung 2-1 eigene Darstellung
- Abbildung 2-2 eigene Darstellung, in Anlehnung an (Sillanpää und Ncibi 2019, S. 18)
- Abbildung 2-3 eigene Darstellung
- Abbildung 2-4 eigene Darstellung angelehnt an (Potting et al. 2017a, S. 5; Kirchherr et al. 2017, S. 224)
- Abbildung 2-5 Bildzitat nach § 51 UrhG (EMF 2019, 2014, S. 15)
- Abbildung 2-6 eigene Darstellung in Anlehnung an (Bundesregierung 2014, S. 81)
- Abbildung 2-7 eigene Darstellung in Anlehnung an (Stegmann et al. 2020, S. 4)
- Abbildung 3-1 eigene vereinfachte Darstellung von (ARD alpha 2021), enthält Icon von Clker-Free-Vector-Images auf pixabay, <https://pixabay.com/de/vectors/wanderer-wandern-reisen-wanderung-34546/>, Nutzungsbedingungen <https://pixabay.com/de/service/terms/>
- Abbildung 3-2 eigene Darstellung, enthält Icon von Clker-Free-Vector-Images auf pixabay, <https://pixabay.com/de/vectors/wanderer-wandern-reisen-wanderung-34546/>, Nutzungsbedingungen <https://pixabay.com/de/service/terms/>
- Abbildung 3-3 eigene Darstellung mit Icon aus pixabay: (a) Clker-Free-Vector-Images auf pixabay, <https://pixabay.com/de/vectors/wanderer-wandern-reisen-wanderung-34546/>; (b) Peggy_Marco auf Pixabay, <https://pixabay.com/de/illustrations/shopping-wei%C3%9Fe-m%C3%A4nnchen-3d-model-1889023/>; (c) OpenClipart-vectors auf pixabay <https://pixabay.com/de/vectors/wald-b%C3%A4ume-pflanzen-gr%C3%BCn-laub-148727/>; (d) Edurs34 auf pixabay <https://pixabay.com/de/illustrations/master-lehrer-beruf-bildung-kost%C3%BCm-5322852/>; (e) Leovinus auf pixabay <https://pixabay.com/de/vectors/stop-stopp-schild-verkehrsschild-809319/>; (f) Stux auf pixabay <https://pixabay.com/de/vectors/recycling-pfeile-kreislauf-254312/>, Nutzungsbedingungen <https://pixabay.com/de/service/terms/>, zuletzt überprüft 20.9.2023

- Abbildung 3-4 eigene Darstellung mit Icon aus pixabay; (a) padrefillar auf pixabay, <https://pixabay.com/de/vectors/jahreszeiten-feder-sommer-herbst-1994663/>; (b) Gerald auf pixabay (Ausschnitte), <https://pixabay.com/de/vectors/team-puzzle-teile-zusammenarbeit-7190583/>; (c) Stux auf pixabay <https://pixabay.com/de/vectors/recycling-pfeile-kreislauf-254312/>; (d) Clker-Free-Vector-Images auf pixabay <https://pixabay.com/de/vectors/fabrikgeb%C3%A4ude-herstellung-37327/>; (e) geralt auf pixabay <https://pixabay.com/de/illustrations/apple-fernsehen-tv-bildschirm-589643/>, Nutzungsbedingungen <https://pixabay.com/de/service/terms/>, zuletzt überprüft 20.9.2023
- Abbildung 4-1 Henri Rousseau: Der Traum (1910), Museum of Modern Art, New York, gemeinfrei im Herkunftsland und anderen Ländern und Gebieten, in denen die Urheberrechtsdauer das Leben des Autors plus 100 Jahre oder weniger beträgt, https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Henri_Rousseau_005.jpg, zuletzt überprüft am 23.02.2024, zudem Bildzitat nach § 51 UrhG
- Abbildung 4-2 Henri Rousseau: Der hungrige Löwe wirft sich auf die Antilope (1905), Fondation Beyeler, Riehen, Basel (Ausschnitt), https://www.fondationbeyeler.ch/sammlung/werk?tx_wmdbbasefey_pi5%5Bartwork%5D=245&cHash=98159d3e83ce26aca2d-b70963134f37e, zuletzt überprüft 23.02.2024
- Abbildung 4-3 eigene Darstellung
- Abbildung 4-4 Caspar David Friedrich (1774-1840), Wanderer über dem Nebelmeer (um 1817), Bildnachweis: SHK/Hamburger Kunsthalle/bpk, Foto: Elke Walford,, gemeinfrei im Herkunftsland und anderen Ländern und Gebieten, in denen die Urheberrechtsdauer das Leben des Autors plus 100 Jahre oder weniger beträgt, <https://online-sammlung.hamburger-kunsthalle.de/de/objekt/HK-5161>, zuletzt überprüft 23.02.2024
- Abbildung 4-5 eigene Darstellung
- Abbildung 4-6 Haarstern (Comatulida), Bild wurde zur Verfügung gestellt von Gerd Kartzig Fotografie, <https://www.gkfoto-berge-tauchen.de/tauchen-uw-fotografie/haarsterne-fotos/>, zuletzt überprüft am 23.02.2024
- Abbildung 5-1 eigene Darstellung
- Abbildung 5-2 eigene Darstellung
- Abbildung 5-3 eigene Darstellung
- Abbildung 5-4 eigene Darstellung, enthält Icon von Clker-Free-Vector-Images auf pixabay, <https://pixabay.com/de/vectors/tippen-wasserhand-waschen-311983/>, Nutzungsbedingungen <https://pixabay.com/de/service/terms/>, zuletzt überprüft 20.9.2023
- Abbildung 5-5 eigene Darstellung

- Abbildung 5-6 eigene Darstellung, inhaltlich übernommen von Toepfer (Toepfer 2011f, S. 737), der sich auf eine Veröffentlichung von Schwerdtfeger (Schwerdtfeger 1975, S. 269) bezieht.
- Abbildung 5-7 Bildzitat nach § 51 UrhG, Ausschnitt der Darstellung bei (Taylor und Blum 1991, S. 288). Letztere beziehen sich auf (Odum und Pigeon 1971)
- Abbildung 5-8 Schedelsche Weltchronik, 1493, Michael Wolgemut, Wilhelm Pleydenwurff (Text: Hartmann Schedel), Deutsches Buch- und Schriftmuseum der Deutschen Nationalbibliothek Leipzig, Klemmsammlung, Bö-Ink, 54.
- Abbildung 5-9 eigene Darstellung mit Icon von OpenClipart-vectors auf Pixabay, <https://pixabay.com/de/vectors/kolumbien-erde-galaxis-planet-raum-2027219/>, Nutzungsbedingungen <https://pixabay.com/de/service/terms>, zuletzt überprüft 20.9.2023
- Abbildung 5-10 Sisson, Jonathan (2023): Anthropocene. Hg. v. University of Leicester, Antropocen Working Group. Leicester, <https://www.eurekaalert.org/multimedia/569333>, gekennzeichnet mit „usage restrictions: none“, zuletzt überprüft 20.9.2023, zudem Bildzitat nach §51 UrhG
- Abbildung 5-11 Postkartenmotive zur Glasherstellung, unbekannte Künstler, ca. 1910, die Bilder wurden freundlicherweise von Dieter Neumann zur Verfügung gestellt.
- Abbildung 5-12 eigene Darstellung in Anlehnung an (Daly 2002, S. 5; Wikipedia 2006)
- Abbildung 5-13 eigene Darstellung
- Abbildung 5-14 eigene Darstellung mit Icons aus Pixabay (a) OpenClipart-vectors, <https://pixabay.com/de/vectors/kolumbien-erde-galaxis-planet-raum-2027219/>, (b) OpenClipart-vectors, <https://pixabay.com/de/vectors/m%C3%A4nner-bei-der-arbeit-arbeiter-145925/>, (c) OpenClipart-vectors, <https://pixabay.com/de/vectors/geld-tasche-kasse-w%C3%A4hrung-reichtum-576443/>, (d) OpenClipart-vectors, <https://pixabay.com/de/vectors/gras-erde-rasen-umgebung-boden-575728/>, Nutzungsbedingungen <https://pixabay.com/de/service/terms>, zuletzt überprüft 20.9.2023
- Abbildung 5-15 eigene Darstellung in Anlehnung an (Kapeller 2022; Gowdy und Erickson 2005)
- Abbildung 5-16 eigene Darstellung, mit mit Icon von OpenClipart-vectors, auf Pixabay, <https://pixabay.com/de/vectors/kolumbien-erde-galaxis-planet-raum-2027219/>, Nutzungsbedingungen <https://pixabay.com/de/service/terms>, zuletzt überprüft 20.9.2023
- Abbildung 5-17 eigene Darstellung
- Abbildung 5-18 Bearbeitung eines Bildausschnitts von dariasophiaigene auf Pixabay <https://pixabay.com/de/photos/manhattan-new-york-usa>

- amerika-3425664/, Nutzungsbedingungen <https://pixabay.com/de/service/terms>, zuletzt überprüft 20.9.2023
- Abbildung 6-1 eigene Darstellung
- Abbildung 6-2 eigene Darstellung mit Bildelementen aus Pixabay (Peggy_Marco <https://pixabay.com/de/illustrations/deutschm%C3%A4nnchen-3d-model-2566493/>, sarangib <https://pixabay.com/de/photos/stra%C3%9fenkreuzung-verkehrinsel-385308/>, Schäferle, <https://pixabay.com/de/photos/inselurlaub-karibik-palmen-sand-2482200/>), Nutzungsbedingungen <https://pixabay.com/de/service/terms>, zuletzt überprüft 20.9.2023
- Abbildung 6-3 eigene Darstellung, in Anlehnung an (Zoglauer 1994, S. 16)
- Abbildung 6-4 © Kosmos, Stuttgart / Debschitz, www.fritz-kahn.com, Erlaubnis liegt vor
- Abbildung 7-1 eigene Darstellung in Anlehnung an (Scheelhaase und Zinke 2016, S. 22; Healthy Printing 2023)
- Abbildung 7-2 eigene Darstellung in Anlehnung an (EPEA Internationale Umweltforschung GmbH 2023b)
- Abbildung 7-3 eigene Darstellung
- Abbildung 7-4 (links) Bildzitat nach §51 UrhG, Quelle: (BMBF 2010, S. 23) / (rechts) Users Cbuckley, Jpowell on en.wikipedia (<https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Recycle001.svg>), „Recycle001“, Farbe wurde verändert, <https://creativecommons.org/publicdomain/zero/1.0/legalcode>, „Das Bild hat eine einfache Geometrie ist nicht urheberrechtsfähig und daher gemeinfrei, da es ausschließlich aus Informationen besteht, die Allgemeingut sind und keine originäre Urheberschaft enthalten.“
- Abbildung 7-5 eigene Darstellung
- Abbildung 7-6 eigene Darstellung
- Abbildung 7-7 Bildzitat nach §51 UrhG, Quelle: (Bioökonomierat 2016, 12,15), Künstler: Benjamin Stolzenberg
- Abbildung 7-8 eigene Darstellung
- Abbildung . 7-9 eigene Darstellung in Anlehnung an (Toepfer 2011 f., S. 737) und (Jelinski et al. 1992, S. 794)
- Abbildung 7-10 eigene Darstellung
- Abbildung 7-11 eigene Darstellung, Bildsegmente aus: Bild von OpenClipart-Vectors auf Pixabay: <https://pixabay.com/de/vectors/banknoten-bankroll-rechnung-geld-159085/>, Bild von Mohamed_hassan auf Pixabay <https://pixabay.com/de/vectors/makler-gesch%C3%A4ft-haus-unterzeichnen-6019792/>, Bild von Prawny auf Pixabay <https://pixabay.com/de/illustrations/tasche-einkaufen-lebensmittel-obst-1105587/>, Bild von Bayhause auf Pixabay (Ausschnitt) <https://pixabay.com/de/photos/tierwelt-natur-gering-mistk%C3%A4fer-3168583/>, Bild von fotomecky auf Pixabay (Ausschnitt) <https://pixabay.com/de/photos/pferde%C3%A4pfel-pferdemist-d%C3%bcnger-dung-6372100>

- /, Bild von Alexas Fotos auf Pixabay <https://pixabay.com/de/photos/pferd-tier-s%c3%a4ugetier-pferdesport-3611921/>, Bild von Mohamed_hassan auf Pixabay, <https://pixabay.com/de/illustrations/wagen-gezeichnet-erwachsene-2865706/>, Nutzungsbedingungen <https://pixabay.com/de/service/terms>, Bild von Freepik: <https://www.freepik.com/free-photos-vectors/hand-drawn-handshake>, Image by rawpixel.com on Freepik, Free license, zuletzt überprüft 20.9.2023
- Abbildung 7-12 Bild von Susanne Jutzeler, Schweiz auf Pixabay, <https://pixabay.com/de/photos/katze-maus-tier-niedlich-fangen-2823286/>, Nutzungsbedingungen <https://pixabay.com/de/service/terms>, zuletzt überprüft 20.9.2023
- Abbildung 8-1 eigene Darstellung in Anlehnung an (Ayres 1999, S. 476)
- Abbildung 8-2 eigene Darstellung, angelehnt an (Huesemann 2003, S. 25)
- Abbildung 8-3 eigene Darstellung nach Daten von (Haas et al. 2020)
- Abbildung 8-4 eigene Darstellung

In Zitaten verwendete Abbildungen

- Zitat 1-1 bis Zitat 4-14 Zitat-Icon: Zitat-Icon, Bild von Jörg Bild von Pixabay, <https://pixabay.com/de/illustrations/buchen-offen-seitenkapitel-5626484/>, Nutzungsbedingungen <https://pixabay.com/de/service/terms>, zuletzt überprüft 23.02.2024
- Zitat 4-15 eigene Darstellung
- Zitat 4-16 Höhlenmalerei, Bild von rodoro auf pixabay, <https://pixabay.com/de/photos/h%C3%B6hlenmalerei-pr%C3%A4historisch-490205/>, Nutzungsbedingungen <https://pixabay.com/de/service/terms/>, zuletzt überprüft 23.02.2024
- Zitat 4-17 Bild von jplenio auf Pixabay, <https://pixabay.com/de/photos/ozean-milchstra%c3%9fe-boot-segeln-3605547/>, Nutzungsbedingungen <https://pixabay.com/de/service/terms/>, zuletzt überprüft 23.02.2024
- Zitat 4-18 falco auf pixabay, <https://pixabay.com/de/photos/kirchenfenster-kirche-glaube-3804203/>, Nutzungsbedingungen <https://pixabay.com/de/service/terms/>, zuletzt überprüft 23.02.2024
- Zitat 4-19 Schedelsche Weltchronik, 1493, Michael Wolgemut, Wilhelm Pleydenwurff (Text: Hartmann Schedel), Deutsches Buch- und Schriftmuseum der Deutschen Nationalbibliothek Leipzig, Klemmsammlung, Bö-Ink, 54, gemeinfrei, zudem Bildzitat nach §51 UrhG
- Zitat 4-20 Giuseppe Arcimboldo (1526-1593), Portrait von Rudolf II als Vertumnus, 1591, Skokloster Castle, gemeinfrei

- Zitat 4-21 Flammarion, Camille, 1842-1925, L'Atmosphere: Météorologie Populaire (Paris, 1888), S163 <https://archive.org/details/McGillLibrary-125043-2586/page/n175/mode/2up>, <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Flammarion.jpg>, gemeinfrei im Herkunftsland und anderen Ländern und Gebieten, in denen die Urheberrechtsdauer das Leben des Autors plus 100 Jahre oder weniger beträgt, Details auf Wikimedia Commons: <https://commons.wikimedia.org/wiki/Template:PD-old>, zuletzt überprüft 23.02.2024
- Zitat 4-22 Caspar David Friedrich (1774-1840), Wanderer über dem Nebelmeer (um 1817), Bildnachweis: SHK/Hamburger Kunsthalle/bpk, Foto: Elke Walford,, gemeinfrei im Herkunftsland und anderen Ländern und Gebieten, in denen die Urheberrechtsdauer das Leben des Autors plus 100 Jahre oder weniger beträgt, <https://online-sammlung.hamburger-kunsthalle.de/de/objekt/HK-5161>, zuletzt überprüft 23.02.2024
- Zitat 4-23 Bild von Kellepics auf Pixabay, <https://pixabay.com/de/photos/fantasy-portrait-wurzeln-moos-wald-2824500/>, Ausschnitt, Nutzungsbedingungen <https://pixabay.com/de/service/terms/>, zuletzt überprüft 23.02.2024
- Zitat 4-24 Bild von 2541163 auf Pixabay, <https://pixabay.com/de/photos/urteil-richter-richterhammer-3667391/>, Nutzungsbedingungen <https://pixabay.com/de/service/terms/>, zuletzt überprüft 23.02.2024
- Zitat 4-25 Bild von 2541163 auf Pixabay, <https://pixabay.com/de/photos/urteil-richter-richterhammer-3667391/>, Nutzungsbedingungen <https://pixabay.com/de/service/terms/>, zuletzt überprüft 23.02.2024
- Zitat 4-26 Bild von annapictures auf Pixabay, <https://pixabay.com/de/photos/erde-spr%C3%B6ssling-blatt-3289810/>, Nutzungsbedingungen <https://pixabay.com/de/service/terms/>, zuletzt überprüft 23.02.2024
- Zitat 4-27 (a) Bild von Seaq68 auf Pixabay (Ausschnitt), <https://pixabay.com/de/photos/milan-rotermilan-flug-anmutig-2228589/>; (b) Bild von moonzigg auf Pixabay (Ausschnitt), <https://pixabay.com/de/photos/flugzeug-luftfahrt-motor-hatz-cb-1-3241229/>; Nutzungsbedingungen <https://pixabay.com/de/service/terms/>, zuletzt überprüft 23.02.2024
- Zitat 4-28 Bild von Mohamed_hassan auf Pixabay, <https://pixabay.com/de/vectors/frau-lehrer-professor-wissenschaft-7873178/>, Nutzungsbedingungen <https://pixabay.com/de/service/terms/>, zuletzt überprüft 23.02.2024

- Zitat 4-29 Joseph Mallord William Turner, Das Schiffswrack, ausgestellt 1805, Photo: © Tate.
- Zitat 4-30 Mechanische Ente, Scientific American Volume 80 Number 03 (January 1899) S. 43, <https://archive.org/details/scientific-american-1899-01-21/page/n9/mode/2up>, <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:MechaDuck.png> gemeinfrei, zuletzt überprüft 23.02.2024
- Zitat 4-31 Bild von jnjawad auf Pixabay, <https://pixabay.com/de/photos/chemie-labor-wissenschaft-flasche-5976465/>, Nutzungsbedingungen <https://pixabay.com/de/service/terms>, zuletzt überprüft 23.02.2024
- Zitat 4-32 Bild von mariananbu auf Pixabay, <https://pixabay.com/de/illustrations/biene-abstrakt-insekt-natur-honig-2984342/>, Nutzungsbedingungen <https://pixabay.com/de/service/terms>, zuletzt überprüft 23.02.2024
- Zitat 4-33 Bild von geralt auf Pixabay,, <https://pixabay.com/de/illustrations/tafel-gesch%c3%a4ft-idee-wachstum-6853001/>, Nutzungsbedingungen <https://pixabay.com/de/service/terms>, zuletzt überprüft 23.02.2024
- Zitat 4-34 Bild von nattan23 auf Pixabay <https://pixabay.com/de/photos/geld-m%C3%BCnze-anlage-gesch%C3%A4ft-2724241/>, Nutzungsbedingungen <https://pixabay.com/de/service/terms>, zuletzt überprüft 23.02.2024
- Zitat 4-35 Bild von StockSnap auf Pixabay, <https://pixabay.com/de/photos/holz-baumst%C3%A4mme-braun-holz-926727/>, Nutzungsbedingungen <https://pixabay.com/de/service/terms>, zuletzt überprüft 23.02.2024
- Zitat 4-36 Bild von Peggy_Marco auf Pixabay, <https://pixabay.com/de/illustrations/pakete-transport-zusteller-bote-1020072/>, Nutzungsbedingungen <https://pixabay.com/de/service/terms>, zuletzt überprüft 23.02.2024
- Zitat 4-37 Bild von geralt auf Pixabay, <https://pixabay.com/de/illustrations/netz-vernetzung-globus-www-zuhause-5004174/>, Nutzungsbedingungen <https://pixabay.com/de/service/terms>, zuletzt überprüft 23.02.2024
- Zitat 5-1 bis Zitat 8-4 Zitat-Icon: Zitat-Icon, Bild von Jörg Bild von Pixabay, <https://pixabay.com/de/illustrations/buchen-offen-seitenkapitel-5626484/>, Nutzungsbedingungen <https://pixabay.com/de/service/terms>, zuletzt überprüft 23.02.2024

Literatur

- Ächtler, Norman (2014): Was ist ein Narrativ? Begriffsgeschichtliche Überlegungen anlässlich der aktuellen Europa-Debatte. In: *KulturPoetik* 14 (2), S. 244–268. Online verfügbar unter <http://www.jstor.org/stable/24369901>, zuletzt geprüft am 20.02.2024.
- Adamczyk, Gregor (2018): Storytelling. Mit Geschichten überzeugen. 3. Auflage 2019. Stuttgart: Haufe (Haufe TaschenGuide, 253).
- Aho, Esko; Ruiz, Christina Narbona, Persson, Göran; Potočnik, Janez (2017): Foreword: Why circular bioeconomy now? In: Lauri Hetemäki, Marc Hanewinkel, Bart Muys und Esko Aho (Hg.): *Leading the way to a European circular bioeconomy strategy*. Joensuu: European Forest Institute (From Science to Policy, 5), S. 5–6.
- Albert Schweitzer St. (2018): Milchkühe. Online verfügbar unter <https://albert-schweitzer-stiftung.de/massentierhaltung/milchkuehe>, zuletzt geprüft am 20.02.2024.
- Allefeld, Carsten (1999): Erkenntnistheoretische Konsequenzen der Systemtheorie. Die Theorie selbstreferentieller Systeme und der Konstruktivismus. Magisterarbeit. Freie Universität Berlin, Berlin. Philosophie und Sozialwissenschaften I. Online verfügbar unter <https://refubium.fu-berlin.de/handle/fub188/15060>, zuletzt geprüft am 20.02.2024.
- Allenby, Braden R. (1992): Industrial Ecology: The Materials Scientist in an Environmentally Constrained World. In: *MRS Bulletin* 17 (3), S. 46–51. <https://doi.org/10.1557/S0883769400040859>.
- Allenby, Braden R.; Cooper, William E. (1994): Understanding industrial ecology from a biological systems perspective. In: *Environmental Quality Management* 3 (3), S. 343–354. <https://doi.org/10.1002/tqem.3310030310>.
- Anders, Günther (2018a): *Die Antiquiertheit des Menschen Bd. I*. 4th ed. München: C.H. Beck (Beck Paperback, v.319).
- Anders, Günther (2018b): *Die Antiquiertheit des Menschen Bd. II*. 5th ed. München: C.H. Beck (Beck Paperback, v.320).
- Andrews, Deborah (2015): The circular economy, design thinking and education for sustainability. In: *Local Economy* 30 (3), S. 305–315. <https://doi.org/10.1177/0269094215578226>.
- Angler, Martin W. (2020): Warum Wissenschaft Geschichten erzählen muss. In: *Journalistische Praxis: Science Storytelling: Warum Wissenschaft Geschichten erzählen muss*. Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden, S. 1–6.
- Antikainen, Riina; Baudry, Rachel; Gössnitzer, Andreas; Kaisa, Tiina; Karppinen, Maria; Kishna, Maikel et al. (2021): *Circular Business Models: Product-Service-Systems on the Way to a Circular Economy*. Hg. v. EPA Network. European Network of the Heads of Environment Protection Agencies (EPA Network) – Interest Group on Green and Circular Economy. Online verfügbar unter https://epanet.eea.europa.eu/reports-letters/reports-and-letters/circular_business_models_interest-group-green-and-circular-economy.pdf, zuletzt geprüft am 20.02.2024.
- Anzenbacher, Arno (2010): *Einführung in die Philosophie*. Neuauflage, 7. Auflage, (14. Gesamtauflage). Freiburg im Breisgau and Basel and Wien: Herder.

- ARD alpha (Hg.) (2021): Märchenwissenschaft. Die Reise des Helden. Bayerischer Rundfunk. Online verfügbar unter <https://www.ardalpha.de/wissen/psychologie/reise-des-helden-maerchen-maerchenwissenschaft-100.html>, zuletzt aktualisiert am 26.01.2021, zuletzt geprüft am 20.02.2024.
- Aristoteles (1987): Physik: Vorlesung über Natur. Bücher I (A) – IV (D). Hamburg: Meiner (Philosophische Bibliothek, 380).
- Arthur, W. Brian (2009): The nature of technology: What it is and how it evolves. London: Free Press.
- Ayres, Robert U. (1989): Industrial Metabolism. In: Hedy E. Sladovich und Jesse Ausubel (Hg.): Technology and environment. Washington, D.C: National Academy Press, S. 23–49.
- Ayres, Robert U. (1994): Industrial Metabolism: Theory and Policy. In: Braden R. Allenby und Deanna J. Richards (Hg.): The greening of industrial ecosystems. Washington, D.C: National Academy Press, S. 23–37.
- Ayres, Robert U. (1999): The second law, the fourth law, recycling and limits to growth. In: *Ecological Economics* 29 (3), S. 473–483. [https://doi.org/10.1016/S0921-8009\(98\)00098-6](https://doi.org/10.1016/S0921-8009(98)00098-6).
- Ayres, Robert U. (2002): On industrial Ecosystems. In: Leslie Ayres und Robert U. Ayres (Hg.): A Handbook of Industrial Ecology. Cheltenham, U.K, Northampton, Mass: Edward Elgar Pub, S. 44–59.
- Ayres, Robert U. (2004): On the life cycle metaphor: where ecology and economics diverge. In: *Ecological Economics* 48 (4), S. 425–438. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2003.10.018>.
- Bachmann, Stefan (2012): Heimatschutz. Hg. v. Historisches Lexikon der Schweiz. Online verfügbar unter <https://hls-dhs-dss.ch/de/articles/016450/2012-04-18/>, zuletzt aktualisiert am 18.04.2012, zuletzt geprüft am 04.11.2022.
- Backhouse, Maria; Lorenzen, Kristina; Lüthmann, Malte; Puder, Janina; Rodríguez, Fabricio; Tittor, Anne (2017): Bioökonomie-Strategien im Vergleich. Gemeinsamkeiten, Widersprüche und Leerstellen. Bioeconomy & Inequalities, Jena (Working Paper, 1). Online verfügbar unter <https://www.bioinequalities.uni-jena.de/sozbemedia/neu/2017-09-28-workingpaper-1.pdf>, zuletzt geprüft am 11.02.2021.
- Baecker, Dirk (2020): Autopoiesis. Lexikon des systemischen Arbeitens. Hg. v. Jan Volker Wirth und Heiko Kleve. Carl-Auer-Systeme Verlag und Verlagsbuchhandlung GmbH. Online verfügbar unter <https://www.carl-auer.de/magazin/systemisches-lexikon/autopoiesis>, zuletzt aktualisiert am 25.02.2020, zuletzt geprüft am 05.07.2023.
- Baranov, Fedor Il'ich (1925): On the question of the dynamics of the fishing industry. Mimeo-graph. In: *Fisheries Research Board of Canada*.
- Baranov, Fedor Il'ich (2014): On the question of the biological basis of fisheries. In: Greg G. Sass, Micheal Shawn Allen, Robert Arlinghaus, James F. Kitchell, Kai Lorenzen, Daniel E. Schindler und Carl J. Walters (Hg.): Foundations of fisheries science. Bethesda, Maryland: American Fisheries Society, S. 11–72.
- Barben, Daniel; Birner, Regina; Zinke, Holger (2021): Nachhaltige Bioökonomie und gesellschaftliche Transformation: Manifest mit zehn Thesen. In: *Gaia-ecological Perspectives for Science and Society* 30, S. 12–17. Online verfügbar unter <https://www.semanticscholar.org/paper/Nachhaltige-Bio%C3%B6konomie-und-gesellschaftliche-mit-Barben-Birner/e6d-f637c31efbace7b742b7dee84a5a3b7ae1a71>, zuletzt geprüft am 21.02.2024.
- Bartkowski, Bartosz (2016): Die Perspektiven der Pluralen Ökonomik. Ökologische Ökonomik. Hg. v. Explorings Economics. Netzwerk Plurale Ökonomik. Heidelberg. Online verfügbar unter <https://www.exploring-economics.org/de/orientieren/oekologische-oekonomik/>, zuletzt aktualisiert am 18.12.2016, zuletzt geprüft am 21.02.2024.
- Bauer, Joa (2008): Industrielle Ökologie: theoretische Annäherung an ein Konzept nachhaltiger Produktionsweisen. Stuttgart, Univ., Diss., 2008. Online verfügbar unter <http://nbn-resolving.de/urn:nbn:de:bsz:93-opus-36109>, zuletzt geprüft am 21.02.2024..
- Bauernhansl, Thomas; Schwarz, Oliver (2019): Bionikforschung für die Medizintechnik. Innovative Geräte und Verfahren nach dem Vorbild evolutionärer Lösungen aus der Natur. In: Reimund Neugebauer (Hg.): Biologische Transformation (Fraunhofer-Forschungsfokus), S. 21–37.

- Beck, Ulrich (2016): Risikogesellschaft. Auf dem Weg in eine andere Moderne. 23. Aufl. Berlin: Suhrkamp-Verlag.
- Becker, Egon (2013): Die politische Ökologie auf der Suche nach neuen Lebensformen. Universitätsbibliothek Johann Christian Senckenberg, Frankfurt am Main. Institute: Erziehungswissenschaften/ Institut für sozial-ökologische Forschung (ISOE). Online verfügbar unter https://www.isoe-publikationen.de/fileadmin/redaktion/Downloads/Soziale_Oekologie/becker-politische-oekologie-2013.pdf, zuletzt geprüft am 21.02.2024
- Beckers, Maja (2023). Wir erleben eine sinnlose Aufwertung von Narrativen, Zeit Online. Hamburg. Online verfügbar unter <https://www.zeit.de/kultur/2023-01/peter-brooks-geschichten-narrative-aufwertung>, zuletzt aktualisiert am 07.01.2023, zuletzt geprüft am 21.02.2024.
- Begon, Michael; Howarth, Robert W.; Townsend, Colin R. (2017): Ökologie. 3. Auflage. Berlin and Heidelberg: Springer Spektrum.
- Beierwaltes, Werner (2014): Platonismus im Christentum. 3., erweiterte Auflage. Frankfurt am Main: Vittorio Klostermann (Philosophische Abhandlungen, Band 73).
- Benson Ford Research Center (Hg.) (2015): Popular Research topics. Soybean Car. Online verfügbar unter <https://web.archive.org/web/20151016104750/http://www.thehenryford.org/research/soybeancar.aspx>, 21.02.2024.
- Benyus, Janine M. (2008): Biomimicry. Innovation inspired by nature. repr. New York, N.Y.: Harper Perennial.
- Benz, Maria (2014): Zurück zur Natur: Rousseaus Begriff der natürlichen Erziehung und seine ideengeschichtlichen Folgen. Hamburg: Bachelor + Master Publishing.
- Berlin Recycling (Hg.) (2018): Sie werden nie erraten, wann Recyclingpapier erfunden wurde. Online verfügbar unter <https://www.berlin-recycling.de/blog/impulse/343-erfindung-recyclingpapier>, zuletzt geprüft am 21.02.2024.
- Berliner Illustrierte Zeitung: Fritz Kahn: „Es ist ein Wunder, dass wir länger als zwei Minuten leben“. In: *Berliner Illustrierte Zeitung* 1926 (44), S. 1467.
- Berrie, A. D. (1976): Detritus, micro-organisms and animals in fresh water. In: Jonathan Michael Anderson and Jonathan M. Anderson (Hg.): The role of terrestrial and aquatic organisms in decomposition processes. The 17th symposium of the British Ecological Society, 15–18 April 1975. Oxford: Blackwell Scient. Publ (... Symposium of the British Ecological Society, 17), S. 323–338.
- Bianciardi, C.; Tiezzi, E.; Ulgiati, Sergio (1993): Complete recycling of matter in the frameworks of physics, biology and ecological economics. In: *Ecological Economics* 8 (1), S. 1–5. [https://doi.org/10.1016/0921-8009\(93\)90026-3](https://doi.org/10.1016/0921-8009(93)90026-3).
- Biegoń, Dominika; Nullmeier, Frank (2014): Narrationen über Narrationen. Stellenwert und Methodologie der Narrationsanalyse. In: Frank Gadinger, Sebastian Jarzebski und Taylan Yildiz (Hg.): Politische Narrative: Konzepte – Analysen – Forschungspraxis. Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden, S. 39–65.
- BIOKON (Hg.) (2014): BIOKON – Das Bionik-Kompetenznetz. best practices. BIOKON – Forschungsgemeinschaft Bionik-Kompetenznetz e. V. Online verfügbar unter https://www.biokon.de/bionik/best-practices/detail/?tx_nenews_uid=1632, zuletzt geprüft am 20.10.2020.
- Biomass R&D Board (Hg.) (2016): Federal Activities Report on the Bioeconomy. Washington, DC. Online verfügbar unter https://www.energy.gov/sites/default/files/2016/02/f30/farb_2_18_16.pdf, zuletzt geprüft am 21.02.2024.
- bioökonomie.de (Hg.) (2020): Der neue Bioökonomierat. Online verfügbar unter <https://biooekonomie.de/nachrichten/neues-aus-der-biooekonomie/der-neue-biooekonomierat>, zuletzt aktualisiert am 18.11.2020, zuletzt geprüft am 21.02.2024.
- Bioökonomierat (Hg.) (2016): Weiterentwicklung der „Nationalen Forschungsstrategie Bioökonomie 2030“. Empfehlungen des Bioökonomierates. El-Chichakli, Beate; Geschäftsstelle des Bioökonomierates. Online verfügbar unter <https://www.iwbio.de/publikationen/weiterentwicklung-forschungsstrategie>

- Bioökonomierat (Hg.) (2022): Bioökonomie: Gemeinsam eine nachhaltige Zukunft gestalten. 1. Arbeitspapier des III. Bioökonomierats. Online verfügbar unter https://www.biooekonomierat.de/media/pdf/arbeitspapiere/1._Arbeitspapier_des_BOER_-_Gemeinsam_eine_nachhaltige_Zukunft_gestalten.pdf?m=1657008309&, zuletzt geprüft am 21.02.2024.
- Birch, Kean; Levidow, Les; Papaioannou, Theo (2010): Sustainable Capital? The Neoliberalization of Nature and Knowledge in the European “Knowledge-based Bio-economy”. In: *Sustainability* 2 (9), S. 2898–2918. <https://doi.org/10.3390/su2092898>.
- Birner, Regina (2018): Bioeconomy Concepts. In: Iris Lewandowski (Hg.): Bioeconomy. Shaping the transition to a sustainable, biobased economy. Unter Mitarbeit von Nicole Gaudet, Jan Lask, Jan Maier, Boris Tchouga und Ricardo Vargas-Carpintero. Cham: Springer International Publishing, S. 17–37.
- Blom, Philipp (2022): Die Unterwerfung. Anfang und Ende der menschlichen Herrschaft über die Natur. München: Hanser.
- BMBF, Bundesministerium für Bildung und Forschung (Hg.) (2010): Nationale Forschungsstrategie BioÖkonomie 2030. Unser Weg zu einer bio-basierten Wirtschaft. Bonn/ Berlin. Online verfügbar unter https://www.foerderinfo.bund.de/SharedDocs/Publikationen/de/bmbf/7/30570_Nationale_Forschungsstrategie_Biooekonomie_2030.pdf?__blob=publicationFile&v=3, zuletzt geprüft am 20.02.2024.
- BMBF, Bundesministerium für Bildung und Forschung (Hg.) (2014a): Bioökonomie als gesellschaftlicher Wandel. Konzept zur Förderung sozial- und wirtschaftswissenschaftlicher Forschung für die Bioökonomie. Berlin. Online verfügbar unter https://www.ibbnetzwerk-gmbh.com/media/ibb/foerder/BMBF_-_Biooekonomie_gesell._Wandel_Konzept_2014.pdf, zuletzt geprüft am 21.02.2024.
- BMBF, Bundesministerium für Bildung und Forschung (Hg.) (2014b): Die neue Hightech-Strategie Innovationen für Deutschland. Berlin. Online verfügbar unter https://www.wissenschaftsjahr.de/2014/pub_hts/HTS_Broschüre_Web.pdf, zuletzt geprüft am 21.02.2024.
- BMBF, Bundesministerium für Bildung und Forschung (Hg.) (2021a): Bioökonomie als gesellschaftlicher Wandel. Konzept zur Förderung sozial- und wirtschaftswissenschaftlicher Forschung für die Bioökonomie. Berlin. Online verfügbar unter https://www.bmbf.de/SharedDocs/Publikationen/de/bmbf/7/24072_Biooekonomie_als_gesellschaftlicher_Wandel.pdf?__blob=publicationFile&v=3, zuletzt geprüft am 21.02.2024
- BMBF, Bundesministerium für Bildung und Forschung (Hg.) (2021b): Die Werkzeuge der Bioökonomie. Innovative Technologien für die biobasierte Wirtschaft (Fachinformation). Online verfügbar unter <https://biooekonomie.de/service/publikationen>, zuletzt geprüft am 21.02.2024.
- BMEL, Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft (Hg.) (2023): Bioökonomie + nachwachsende Rohstoffe. BMEL, Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft. Online verfügbar unter https://www.bmel.de/DE/themen/landwirtschaft/biooekonomie-nachwachsende-rohstoffe/biooekonomie-nachwachsende-rohstoffe_node.html, zuletzt geprüft am 21.02.2024.
- BMUV (Hg.) (2016): Internationaler TEEB-Prozess. Studie „Die Ökonomie von Ökosystemen und der Biodiversität“ (The Economics of Ecosystems and Biodiversity – TEEB). Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit und Verbraucherschutz, BMUV.
- Boeing, Nils (2019): Klimawandel im Jahr 2019 – Die Hütte brennt. Online nicht mehr verfügbar, zuletzt geprüft am 10.08.2020.
- Bonaiuti, Mauro (Hg.) (2011): From bioeconomics to degrowth. Georgescu-Roegen’s „new economics“ in eight essays. Unter Mitarbeit von Mauro Bonaiuti. Abingdon, Oxon, New York: Routledge (Routledge studies in ecological economics). Online verfügbar unter <https://www.taylorfrancis.com/books/9781136822162>.
- Bonaiuti, Mauro (2015): Bioeconomics. In: Giacomo D’Alisa, Federico Demaria und Giorgos Kallis (Hg.): Degrowth. A vocabulary for a new era. New York, NY: Routledge.

- Boulding, Kenneth E. (1966): The Economics of the Coming Spaceship Earth. First presented by Kenneth Ewart Boulding at the Sixth Resources for the Future Forum on Environmental Quality in a Growing Economy in Washington, D.C. on March 8, 1966. In: Henry Jarrett (Hg.): Environmental Quality in a Growing Economy. Baltimore: Resources for the Future/ Johns Hopkins University Press, S. 3–14.
- BpB, Bundeszentrale für politische Bildung (Hg.) (2022): Anthropozän. Texte und Grafiken zur Großen Beschleunigung – 'The Great Acceleration'. Online verfügbar unter <https://www.bpb.de/themen/umwelt/anthropozaan/216918/texte-und-grafiken-zur-grossen-beschleunigung-the-great-acceleration/>, zuletzt geprüft am 21.02.2024.
- Braun, Joachim von (2017): Lösungsansätze der Bioökonomie zur Begegnung der großen globalen Herausforderungen. Hg. v. Forum Wirtschaftsethik. Deutsches Netzwerk Wirtschaftsethik – Eben Deutschland e. V. Online verfügbar unter <https://www.forum-wirtschaftsethik.de/loesungsansatze-der-biooekonomie-zur-begegnung-der-grossen-globalen-herausforderungen/>, zuletzt aktualisiert am 10.02.2017, zuletzt geprüft am 21.02.2024.
- Braungart, Michael; McDonough, William (2014): Cradle to Cradle. Einfach intelligent produzieren. EBook (epub), 1. Auflage. München, Berlin, Zürich: Piper.
- Brecher, Christian; Broos, Alexander; Essig, Bernd; Hofmann, Boris; Mallmann, Guilherme; Muecke, Thomas et al. (2020): Biologische Transformation in der Produktion. In: Thomas Berge, Christian Brecher, Robert H. Schmitt, Günther Boris Schuh, Guilherme Mallmann, Thomas Muecke et al. (Hg.): Internet of Production – Turning Data into Value: Statusberichte aus der Produktionstechnik. Aachener Werkzeugmaschinen-Kolloquium -AWK-. Aachen, S. 137–157. Online verfügbar unter https://www.awk-aachen.com/wp-content/uploads/2020/07/2-2_AWK20_Biologische-Transformation-in-der-Produktion.pdf, zuletzt geprüft am 21.02.2024.
- Brehmer, Jana; Becker, Sebastian (2017): „Storytelling“ ...die ursprünglichste Form der Wissensvermittlung. Georg-August-Universität Göttingen. Online verfügbar unter https://www.uni-goettingen.de/de/document/download/0952de622746c494217a0eff248a78c6.pdf/02_Storytelling.pdf, zuletzt geprüft am 21.02.2024.
- Breithaupt, Fritz (2022): Das narrative Gehirn. Was unsere Neuronen erzählen. Originalausgabe. Berlin: Suhrkamp.
- Brumme, Doreen (2016a): Die Geschichte des Recyclings I. Die Antike. Hg. v. der wertstoff blog. Online verfügbar unter <https://wertstoffblog.de/2016/04/26/die-geschichte-des-recyclings-i-die-antike/>, zuletzt aktualisiert am 26.04.2016, zuletzt geprüft am 21.02.2024.
- Brumme, Doreen (2016b): Die Geschichte des Recyclings II. Das Mittelalter. Hg. v. der wertstoff blog. Online verfügbar unter <https://wertstoffblog.de/2016/05/19/die-geschichte-des-recyclings-ii-das-mittelalter/>, zuletzt aktualisiert am 19.05.2016, zuletzt geprüft am 21.02.2024.
- Brumme, Doreen (2016c): Die Geschichte des Recyclings V. Der erste Weltkrieg. Hg. v. der wertstoff blog. Online verfügbar unter <https://wertstoffblog.de/2016/07/15/geschichte-des-recycling-teil-v-der-erste-weltkrieg/>, zuletzt aktualisiert am 15.06.2016, zuletzt geprüft am 21.02.2024.
- Bud, Robert (1995): Wie wir das Leben nutzbar machten. Ursprung und Entwicklung der Biotechnologie. Wiesbaden: Springer Vieweg. in Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH (Interdisziplinäre Forschung, 19).
- Bugge, Marcus; Hansen, Teis; Klitkou, Anje (2016): What Is the Bioeconomy? A Review of the Literature. In: *Sustainability* 8, 691 ff.
- Bühler, Benjamin (2016): Ecocriticism: Grundlagen – Theorien – Interpretationen. Stuttgart: J.B. Metzler.
- Bundesregierung (Hg.) (2014): Bioökonomie in Deutschland. Chancen für eine biobasierte und nachhaltige Zukunft. BMBF, Bundesministerium für Bildung und Forschung; BMEL, Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft. Berlin. Online verfügbar unter <https://www.fona.de/de/themen/biooekonomie.php>, zuletzt geprüft am 24.01.2022.
- Bundesregierung (2020a): Nationale Bioökonomiestrategie, zuletzt geprüft am 07.04.2022.

- Bundesregierung (Hg.) (2020b): Nationale Bioökonomiestrategie. Langfassung. BMBF, Bundesministerium für Bildung und Forschung; BMEL, Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft. Berlin. Online verfügbar unter <https://bioeconomie.de/themen/politikstrategie-deutschland>, zuletzt geprüft am 21.02.2024.
- Busch-Lütj, Christiane; Dürr, Hans-Peter (1993): Ökonomie und Natur: Versuch einer Annäherung im interdisziplinären Dialog. In: Heinz König (Hg.): Umweltverträgliches Wirtschaften als Problem von Wissenschaft und Politik. Jahrestagung des Vereins für Socialpolitik, Gesellschaft für Wirtschafts- und Sozialwissenschaften in Oldenburg vom 30. September – 2. Oktober 1992. Berlin: Duncker & Humblot (Jahrestagung des Vereins für Socialpolitik, Gesellschaft für Wirtschafts- und Sozialwissenschaften, 1992), S. 11–44.
- Carrez, Dirk; van Leeuwen, Patrick (2015): Bioeconomy: circular by nature. In: *The European Files* (38), S. 34–35.
- Carson, Rachel (1962): *Silent spring*. Greenwich, Connecticut: Crest Reprint. Online verfügbar unter https://library.uniteddiversity.coop/More_Books_and_Reports/Silent_Spring-Rachel-Carson-1962.pdf, zuletzt geprüft am 21.02.2024.
- Carus, Michael (2017): Mehr als nur eine Kreislaufwirtschaft. In: *Blickwinkel Quartalsmagazin der Brain AG* (08), S. 22–29.
- Carus, Michael; Dammer, Lara (2018a): The Circular Bioeconomy—Concepts, Opportunities, and Limitations. In: *Industrial Biotechnology* 14 (2), S. 83–91. <https://doi.org/10.1089/ind.2018.29121.mca>, zuletzt geprüft 21.02.2024
- Carus, Michael; Dammer, Lara (2018b): The Circular Bioeconomy—Concepts, Opportunities, and Limitations. Hürth (nova papers, #9). Online verfügbar unter <https://renewable-carbon.eu/publications/product/nova-paper-9-the-circular-bioeconomy-concepts-opportunities-and-limitations-%e2%88%92-full-version/>, zuletzt geprüft am 21.02.2024.
- Caviola, Hugo (2013a): Der Blaue Planet. Welche Auswirkungen hat das Bild des Blauen Planeten auf unsere Naturwahrnehmung. In: Hugo Caviola (Hg.): In Bildern sprechen. Internet-Teil. Online verfügbar unter <https://www.hep-verlag.ch/bildern-sprechen-e-book>, zuletzt geprüft am 21.02.2024.
- Caviola, Hugo (2013b): In Bildern sprechen. Wie Metaphern unser Denken leiten – Materialien zur fächerübergreifenden Sprachreflexion. Bern: hep verlag. Online verfügbar unter <https://www.hep-verlag.ch/bildern-sprechen-e-book>, zuletzt geprüft am 21.02.2024
- Caviola, Hugo; Reisingl, Martin; Sedlaczek, Andrea Sabine; Kläy, Andreas; Weiss, Hans (2019): Metaphern erkennen und ihre gedankenleitende Wirkung durchschauen. Hg. v. Sprachkompass und Centre for Development and Environment (CDE), Universität Bern. Online verfügbar unter <https://sprachkompass.ch/theorie/metaphern-erkennen>, zuletzt geprüft am 21.02.2024.
- Caviola, Hugo; Reisingl, Martin; Sedlaczek, Andrea Sabine; Kläy, Andreas; Weiss, Hans (2021): Vertiefung: Metaphern als Brücken zwischen Alltags- und Fachwissen. Hg. v. Sprachkompass und Centre for Development and Environment (CDE), Universität Bern. Online verfügbar unter <https://sprachkompass.ch/theorie/metaphern-als-bruecken>, zuletzt geprüft am 21.02.2024.
- CGRI (Hg.) (2023): The Circularity Gap Report 2023. Circularity Gap Reporting Initiative (CGRI). Online verfügbar unter <https://www.circularity-gap.world/2023>, zuletzt geprüft am 21.02.2024.
- Chakkarath, Pradeep (2015): Welt- und Menschenbilder. Eine sozialwissenschaftliche Annäherung. Chakkarath, Pradeep. Hg. v. Aus Politik und Zeitgeschichte. BpB, Bundeszentrale für politische Bildung. Bonn. Online verfügbar unter <https://www.bpb.de/shop/zeitschriften/apuz/212821/welt-und-menschenbilder/>, zuletzt aktualisiert am 02.10.2015, zuletzt geprüft am 21.02.2024.
- Chancel, Lucas (2022): Global carbon inequality over 1990–2019. In: *Nature Sustainability* 5 (11), S. 931–938. <https://doi.org/10.1038/s41893-022-00955-z>.
- Clark, William C. (1989): Managing Planet Earth. In: *Scientific American* 261 (3), S. 46–57.

- Clausen, Jens (2015): Verschwimmende Grenzen zwischen Mensch und Technik: Neurotechnologien wie tiefe Hirnstimulation und Gehirn-Computer-Schnittstellen eröffnen neue Therapiemöglichkeiten bei bisher nicht oder kaum behandelbaren schweren Krankheiten, sie werfen aber auch ethische und rechtliche Fragen auf. In: Frank Schubert (Hg.): *Mensch, Maschine, Visionen: Wie Biologie und Technik verschmelzen*. Heidelberg: Spektrum der Wissenschaft Verl.-Ges (Spektrum der Wissenschaft Spezial Physik, Mathematik, Technik, 2015, 2), S. 74–79.
- Clausius, Rudolf (1865): Über verschiedene, für die Anwendung bequeme Formen der Hauptgleichungen der mechanischen Wärmetheorie. In: *Vierteljahresschrift der naturforschenden Gesellschaft in Zürich* 10 (1), S. 1–59.
- Clausius, Rudolf (1867): Über den zweiten Hauptsatz der mechanischen Wärmetheorie. Braunschweig, 1867. Online verfügbar unter <https://archive.org/details/berdenzweitenha00claus-goog>, zuletzt geprüft am 21.02.2024.
- Clausius, Rudolf (1876): *Die mechanische Wärmetheorie*. Braunschweig: Friedrich Vieweg und Sohn. Online verfügbar unter <https://archive.org/details/diemechanischewr00claus/page/n99/mode/2up>, zuletzt geprüft am 21.02.2024.
- Clausius, Rudolf (1885): Über die Energievorräte der Natur und ihre Verwerthung zum Nutzen der Menschheit. Akademische Festrede. Bonn: Max Cohen & Sohn.
- Cleveland, Cutler J. (1999): Biophysical Economics: From Physiocracy to Ecological Economics and Industrial Ecology. In: John M. Gowdy und Kozo Mayumi (Hg.): *Bioeconomics and sustainability. Essays in honour of Nicholas Georgescu-Roegen*. Unter Mitarbeit von Nicholas Georgescu-Roegen. Cheltenham, Glos: Elgar, S. 125–154.
- Coenen, Hans Georg (2013): *Analogie und Metapher. Grundlegung einer Theorie der bildlichen Rede*. Tübingen: De Gruyter (De Gruyter Studienbuch).
- Commoner, Barry (1971): *The closing circle. Nature, man, and technology*. 4. printing. New York, NY: Knopf.
- Cooper, Melinda (2014): *Leben jenseits der Grenzen. Die Erfindung der Bioökonomie*. In: Andreas Folkers und Thomas Lemke (Hg.): *Biopolitik. Ein Reader*. Erste Auflage. Berlin: Suhrkamp (Suhrkamp Taschenbuch Wissenschaft, 2080), 468–526.
- Costanza, Robert; Daly, Herman (1992): Natural Capital and Sustainable Development. In: *Conservation Biology* 6 (1), S. 37–46. <https://doi.org/10.1046/j.1523-1739.1992.610037.x>.
- Costanza, Robert; d'Arge, Ralph; Groot, Rudolf de; Farber, Stephen; Grasso, Monica; Hannon, Bruce et al. (1997): The value of the world's ecosystem services and natural capital. In: *Nature* 387 (6630), S. 253–260. <https://doi.org/10.1038/387253a0>.
- Cradle to Cradle NGO (Hg.) (2020): *Cradle to Cradle NGO. Über uns*. Cradle to Cradle NGO. Online verfügbar unter <https://c2c.ngo/>, zuletzt geprüft am 21.02.2024.
- Craemer-Ruegenberg, Ingrid (1989): Aristoteles. In: Gernot Böhme (Hg.): *Klassiker der Naturphilosophie. Von den Vorsokratikern bis zur Kopenhagener Schule*. München: Beck.
- Cullen, Jonathan M. (2017): Circular Economy: Theoretical Benchmark or Perpetual Motion Machine? In: *Journal of Industrial Ecology* 21 (3), S. 483–486. <https://doi.org/10.1111/jiec.12599>.
- D'Amato, Dalia; Veijonaho, Simo; Toppinen, Anne (2020): Towards sustainability? Forest-based circular bioeconomy business models in Finnish SMEs. In: *Forest Policy and Economics* 110. <https://doi.org/10.1016/j.forpol.2018.12.004>.
- Daly, Herman (2015): *Economics for a Full World*. Hg. v. Great Transition Initiative. Online verfügbar unter <https://www.greattransition.org/publication/economics-for-a-full-world>, zuletzt geprüft am 21.02.2024.
- Daly, Herman E. (1968): On Economics as a Life Science. In: *Journal of Political Economy* 76 (3), S. 392–406. <https://doi.org/10.1086/259412>.
- Daly, Herman E. (2002): *Ökologische Ökonomie: Konzepte, Analysen, Politik*. Wissenschaftszentrum Berlin für Sozialforschung (WZB). Berlin (WZB Discussion Paper, FS II 02–410). Online verfügbar unter <https://www.econstor.eu/bitstream/10419/49555/1/376731028.pdf>, zuletzt geprüft am 21.02.2024.

- Daly, Herman E. (2012): *Steady-State Economics*. Second Edition With New Essays. Chicago: Island Press.
- Debschitz, Uta von; Debschitz, Thilo von (2022): Fritz Kahn. Köln: TASCHEN.
- Debschitz, Uta von; Doudová, Helena (2017). Fritz Kahn. Ein ‚Creative Director‘ der künstlerisch-wissenschaftlichen Illustration. Helena Doudova im Gespräch mit Uta von Debschitz. In: Helena Doudová, Stephanie Jacobs und Patrick Rössler (Hg.): *Bildfabriken. Infografik 1920–1945: Fritz Kahn, Otto Neurath et al.* 1. Auflage. Leipzig: Spector Books, S. 105–114.
- Der Tagesspiegel (Hg.) (2013): TV-Bericht: Biologen widersprechen Gender-Theorie. Online verfügbar unter <https://www.tagesspiegel.de/gesellschaft/panorama/gender-debatte-tv-bericht-biologen-widersprechen-gender-theorie/8309672.html>, zuletzt aktualisiert am 06.06.2013, zuletzt geprüft am 21.02.2024.
- Descartes, René (1637): *Abhandlung über die Methode des richtigen Vernunftgebrauchs*. Online verfügbar unter <https://www.textlog.de/descartes-methode.html>, zuletzt geprüft am 21.02.2024.
- Deutscher Sachbuchpreis (Hg.) (2022): *Erzählende Affen*. Stiftung Buchkultur und Leseförderung des Börsenvereins des Deutschen Buchhandels. Online verfügbar unter <https://www.deutscher-sachbuchpreis.de/archiv/2022/erzaehlende-affen>, zuletzt aktualisiert am 04.02.2022, zuletzt geprüft am 21.02.2024.
- dibb.de Biographien (Hg.): Henri Rousseau. Online verfügbar unter <http://dibb.de/henri-rousseau.php>, zuletzt geprüft am 21.02.2024.
- Dilthey, Wilhelm (1883): *Einleitung in die Geisteswissenschaften. Versuch einer Grundlegung für das Studium der Gesellschaft und der Geschichte*. Erster Band. Leipzig: Duncker & Humblot. Online verfügbar unter https://www.deutschestextarchiv.de/book/view/dilthey_geisteswissenschaften_1883?p=16, zuletzt geprüft am 21.02.2024.
- DKE – VDE, Verband der Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik e. V. (Hg.) (2022): *Kreislaufwirtschaft – Circular Economy als nachhaltige, gesamtwirtschaftliche Produktion*. Online verfügbar unter <https://www.dke.de/de/arbeitsfelder/components-technologies/circular-economy>, zuletzt aktualisiert am 26.09.2022, zuletzt geprüft am 21.02.2024.
- Duden (Hg.) (2016a): *Wirtschaft von A bis Z: Grundlagenwissen für Schule und Studium, Beruf und Alltag*. Einfacher Wirtschaftskreislauf. Lizenzausgabe Bonn: Bundeszentrale für politische Bildung. 6. Aufl. Mannheim. Online verfügbar unter <https://www.bpb.de/kurz-knapp/lexika/lexikon-der-wirtschaft/19145/einfacher-wirtschaftskreislauf/>, zuletzt geprüft am 21.02.2024.
- Duden (Hg.) (2016b): *Wirtschaft von A bis Z: Grundlagenwissen für Schule und Studium, Beruf und Alltag*. Erweiterter Wirtschaftskreislauf. Lizenzausgabe Bonn: Bundeszentrale für politische Bildung. 6. Aufl. Mannheim. Online verfügbar unter <https://www.bpb.de/kurz-knapp/lexika/lexikon-der-wirtschaft/19245/erweiterter-wirtschaftskreislauf/>, zuletzt geprüft am 21.02.2024.
- Duden (Hg.) (2016c): *Wirtschaft von A bis Z: Grundlagenwissen für Schule und Studium, Beruf und Alltag*. Neoklassik. Lizenzausgabe Bonn: Bundeszentrale für politische Bildung. 6. Aufl. Mannheim. Online verfügbar unter <https://www.bpb.de/kurz-knapp/lexika/lexikon-der-wirtschaft/20173/neoklassik/>, zuletzt geprüft am 21.02.2024.
- Duden (Hg.) (2016d): *Wirtschaft von A bis Z: Grundlagenwissen für Schule und Studium, Beruf und Alltag*. Volkswirtschaftslehre. Lizenzausgabe Bonn: Bundeszentrale für politische Bildung. 6. Aufl. Mannheim. Online verfügbar unter <https://www.bpb.de/kurz-knapp/lexika/lexikon-der-wirtschaft/21067/volkswirtschaftslehre/>, zuletzt geprüft am 21.02.2024.
- Duden (Hg.) (2016e): *Wirtschaft von A bis Z: Grundlagenwissen für Schule und Studium, Beruf und Alltag*. Wirtschaft. Lizenzausgabe Bonn: Bundeszentrale für politische Bildung. 6. Aufl. Mannheim. Online verfügbar unter <https://www.bpb.de/kurz-knapp/lexika/lexikon-der-wirtschaft/21149/wirtschaft/>, zuletzt geprüft am 21.02.2024.
- Duden (Hg.) (2016f): *Wirtschaft von A bis Z: Grundlagenwissen für Schule und Studium, Beruf und Alltag*. Wirtschaftskreislauf. Lizenzausgabe Bonn: Bundeszentrale für politische Bildung. 6. Aufl. Mannheim. Online verfügbar unter <https://www.bpb.de/kurz-knapp/lexika/lexikon-der-wirtschaft/21174/wirtschaftskreislauf/>, zuletzt geprüft am 21.02.2024.

- Duden online (Hg.): Dichotomie. Online verfügbar unter <https://www.duden.de/rechtschreibung/Dichotomie>, zuletzt geprüft am 21.02.2024.
- Dürbeck, Gabriele (2018): Narrative des Anthropozän – Systematisierung eines interdisziplinären Diskurses. In: *Kulturwissenschaftliche Zeitschrift* 3 (1), S. 1–20. <https://doi.org/10.2478/kwg-2018-0001>.
- Dürnberger, Martin (2020): Basics systematischer Theologie. Eine Anleitung zum Nachdenken über den Glauben. Regensburg: Verlag Friedrich Pustet.
- EFI (Hg.) (2023): About EFI. European Forest Institute (EFI). Online verfügbar unter <https://efi.int/about>, zuletzt geprüft am 25.04.2023.
- Ehrenfeld, John (2003): Putting a Spotlight on Metaphors and Analogies in Industrial Ecology. In: *Journal of Industrial Ecology* 7 (1), S. 1–4. <https://doi.org/10.1162/108819803766729131>.
- Ehrlich, Paul R. (1968): *The Population Bomb*. USA: Sierra Club/Ballantine Books.
- Eilers, Miriam (2015): Fritz Kahns Das Leben des Menschen. In: *NTM Zeitschrift für Geschichte der Wissenschaften, Technik und Medizin* 23 (1), S. 1–31. <https://doi.org/10.1007/s00048-015-0126-z>.
- Eisel, Ulrich (2012): Naturrecht. In: Kirchhoff, Thomas (Redaktion): *Naturphilosophische Grundbegriffe*. Online verfügbar unter <http://www.naturphilosophie.org/naturrecht/>, zuletzt geprüft am 24.09.2020.
- Eisenberg, Anne (1992): Metaphor in the Language of Science. In: *Scientific American* 266, 144 ff.
- El Ouassil, Samira; Karig, Friedemann (2021): *Erzählende Affen. Mythen, Lügen, Utopien: wie Geschichten unser Leben bestimmen*. Berlin: Ullstein.
- EMF (Hg.) (2013): *Towards the circular economy: opportunities for the consumer good sector*. Ellen MacArthur Foundation. Isle of Wight, GB. Online verfügbar unter <https://www.ellen-macarthurfoundation.org/assets/downloads/publications/ElLEN-MacArthur-Foundation-Towards-the-Circular-Economy-vol.1.pdf>, zuletzt geprüft am 02.04.2020.
- EMF (2014): *Towards the circular economy: Accelerating the scale-up across global supply chains*. Hg. v. Ellen MacArthur Foundation und World Economic Forum. Genf. Online verfügbar unter <https://www.weforum.org/reports/towards-circular-economy-accelerating-scale-across-global-supply-chains>, zuletzt geprüft am 06.07.2021.
- EMF (Hg.) (2019): *The butterfly diagram: visualising the circular economy*. Ellen MacArthur Foundation. Online verfügbar unter <https://ellenmacarthurfoundation.org/circular-economy-diagram>, zuletzt geprüft am 03.12.2022.
- EMF (Hg.) (2021): *Schools of Thought*. Several authors have contributed to refining and developing the circular economy concept. Ellen MacArthur Foundation. Online verfügbar unter <https://www.ellenmacarthurfoundation.org/schools-of-thought-that-inspired-the-circular-economy>, zuletzt geprüft am 20.02.2024.
- EMF (Hg.) (2022): *Homepage der Ellen Mac Arthur Foundation*. Ellen MacArthur Foundation. Online verfügbar unter <https://ellenmacarthurfoundation.org/>, zuletzt geprüft am 11.12.2022.
- Enriquez, Juan (1998): Genomics and the World's Economy. In: *Science* 281 (5379), S. 925–926. <https://doi.org/10.1126/science.281.5379.925>.
- EPEA Internationale Umweltforschung GmbH (Hg.) (2023a): *About us*. Online verfügbar unter <https://epea.com/en/about-us>, zuletzt geprüft am 17.04.2023.
- EPEA Internationale Umweltforschung GmbH (Hg.) (2023b): *Cradle to Cradle*. Online verfügbar unter <https://epea.com/en/about-us/cradle-to-cradle>, zuletzt geprüft am 17.04.2023.
- Eser, Thiemo W.; Costanza, Robert; Cumberland, John H.; Daly, Herman; Goodland, Robert J. A.; Norgaard, Richard B. (Hg.) (2001): *Einführung in die ökologische Ökonomik*. Stuttgart: Lucius & Lucius (UTB für Wissenschaft Wirtschaftswissenschaften, Politik, Ökologie, 2190).
- Esfeld, Michael (2002): *Einführung in die Naturphilosophie*. Darmstadt: Wissenschaftliche Buchgesellschaft (Einführungen Philosophie).
- Europäische Kommission (2005a): *New perspectives on the Knowledge-Based Bio-Economy (KBBE)*. Conference Report. Brüssel, zuletzt geprüft am 09.02.2020.

- Europäische Kommission (2005b): Towards a European knowledge-based bioeconomy: York University 2004. Workshop conclusions on the use of plant biotechnology for the production of industrial biobased products. York: Publications Office.
- Europäische Kommission (2012): Innovating for sustainable growth: a bioeconomy for Europe: Publications Office. Online verfügbar unter <https://op.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/1f0d8515-8dc0-4435-ba53-9570e47dbd51/language-en>, zuletzt geprüft am 02.02.2022.
- Europäische Kommission (2013): A bioeconomy strategy for Europe: working with nature for a more sustainable way of living: Publications Office. Online verfügbar unter <https://op.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/26b789d4-00d1-4ee4-b32e-2303dfd2207c>, zuletzt geprüft am 11.02.2022.
- Europäische Kommission (Hg.) (2014): Interview with Gunter Pauli: Next generation innovation and the Blue Economy. Europäische Kommission (Eco-Innovation at the heart of European policies, Expert Interviews). Online nicht mehr verfügbar .
- Europäische Kommission (Hg.) (2015a): Circular Economy Package: Questions & Answers. Brüssel. Online verfügbar unter https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/MEMO_15_6204, zuletzt geprüft am 05.10.2021.
- Europäische Kommission (Hg.) (2015b): Den Kreislauf schließen – Ein Aktionsplan der EU für die Kreislaufwirtschaft. Mitteilung der Kommission an das Europäische Parlament, den Rat, den europäischen Wirtschafts- und Sozialausschuss und den Ausschuss der Regionen (COM(2015) 614 final). Online verfügbar unter https://eur-lex.europa.eu/resource.html?uri=cellar:8a8ef5e8-99a0-11e5-b3b7-01aa75ed71a1.0004.02/DOC_1&format=PDF, zuletzt geprüft am 25.03.2022.
- Europäische Kommission (2017): Review of the 2012 European Bioeconomy Strategy. Luxembourg: Publications Office of the European Union. Online verfügbar unter <https://op.europa.eu/o/opportal-service/download-handler?identifier=c2f36c72-2e59-11e8-b5fe-01aa75ed71a1&format=pdf&language=en&productionSystem=cellar&part=>, zuletzt geprüft am 24.03.2022.
- Europäische Kommission (2018): A sustainable bioeconomy for Europe. Strengthening the connection between economy, society and the environment: updated bioeconomy strategy. Luxembourg: Publications Office of the European Union. Online verfügbar unter <https://op.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/edace3e3-e189-11e8-b690-01aa75ed71a1/language-en/format-PDF/source-149755478>, zuletzt geprüft 23.02.2024
- Europäische Union (Hg.) (2007): En route to the knowledge-based bio-economy (“Cologne Paper”). Europäische Union. German Presidency of the Council of the European Union (EU). Cologne. Online verfügbar unter https://dechema.de/dechema_media/Downloads/Positionspapiere/Cologne_Paper.pdf, zuletzt geprüft am 20.01.2022.
- Europäische Union (Hg.) (2020): Ein neuer Aktionsplan für die Kreislaufwirtschaft Für ein saubereres und wettbewerbsfähigeres Europa. Brüssel. Online verfügbar unter <https://op.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/45cc30f6-cd57-11ea-adf7-01aa75ed71a1/language-de/format-PDF>, zuletzt geprüft am 06.04.2020.
- Europäischer Rat (Hg.) (2016): Council conclusions on the EU action plan for the circular economy. Online verfügbar unter <https://www.consilium.europa.eu/en/press/press-releases/2016/06/20/envi-conclusions-circular-economy/>, zuletzt aktualisiert am 01.02.2018, zuletzt geprüft am 05.01.2022.
- Europäischer Rat (Hg.) (2022): Der Rat „Umwelt“ (ENV). Online verfügbar unter <https://www.consilium.europa.eu/de/council-eu/configurations/env/#:~:text=Der%20Rat%20%22Umwelt%22%20%28ENVI%29%20Der%20Rat%20%22Umwelt%22%20ist,mit%20internationalen%20Umweltfragen%2C%20insbesondere%20im%20Bereich%20des%20Klimaschutzes>, zuletzt aktualisiert am 08.04.2022, zuletzt geprüft am 05.01.2022.
- Faber, Malte (1995): Entropy, Environment and Resources. An Essay in Physico-Economics. Second Edition. Berlin, Heidelberg: Springer (Springer eBook Collection).

- Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe (FNR) (Hg.) (2013): Bioconcept-Car. Online verfügbar unter https://www.fnr.de/fileadmin/Projekte/2021/Mediathek/130902-bcc-folder-final_1.pdf, zuletzt aktualisiert am 2013, zuletzt geprüft am 22.11.2022.
- Falcone, Pasquale Marcello; Tani, Almona; Tartiu, Valentina Elena; Imbriani, Cesare (2020): Towards a sustainable forest-based bioeconomy in Italy: Findings from a SWOT analysis. In: *Forest Policy and Economics* 110. <https://doi.org/10.1016/j.forpol.2019.04.014>.
- Fedrigio-Fazio, Doreen; Brink, Patrick ten (2012): Green Economy What do we mean by Green Economy? Hg. v. UNEP Division of Communications and Public Information. UNEP Division of Communications and Public Information. Nairobi, Kenya. Online verfügbar unter https://wedocs.unep.org/bitstream/handle/20.500.11822/8659/-%20Green%20economy_%20what%20do%20we%20mean%20by%20green%20economy_%20-2012Main%20briefing%202012--Final.pdf?sequence=2&%3BisAllowed=, zuletzt geprüft am 26.03.2021.
- Ferdinand, Jan-Peter; Petschow, Ulrich; Gleich, Arnim von; Seipold, Peer (2012): Literaturstudie Bionik. Analyse aktueller Entwicklungen und Tendenzen im Bereich der Wirtschaftsbionik. Berlin: IÖW (Schriftenreihe des IÖW, 201). Online verfügbar unter <https://www.ioew.de/news/article/literaturstudie-bionik-ioew-schriftenreihe-nr-201>, zuletzt geprüft am 23.02.2024.
- Fisher, Walter R. (1984): Narration as a human communication paradigm: The case of public moral argument. In: *Communication Monographs* 51 (1), S. 1–22. <https://doi.org/10.1080/03637758409390180>.
- Focus online (Hg.) (2013): Wer erschuf das Universum und warum? Got vs. Wissenschaft. Online verfügbar unter https://www.focus.de/wissen/weltraum/odenwalds_universum/woran-naturforscher-glauben-gott-vs-wissenschaft_id_2866166.html, zuletzt aktualisiert am 20.10.2013, zuletzt geprüft am 27.01.2023.
- Forrester, Jay Wright (1972): Grundzüge einer Systemtheorie. Ein Lehrbuch. Wiesbaden: Gabler.
- Frankfurter Rundschau (Hg.) (2010): Henri Rousseau: Vom „Zöllner“ zum Avantgardisten. Online verfügbar unter <https://www.fr.de/panorama/henri-rousseau-zoellner-avantgardisten-11461359.html>, zuletzt aktualisiert am 01.09.2010, zuletzt geprüft am 20.01.2020.
- Fratzl, P.; Jacobs, K.; Möller, M.; Scheibel, T.; Sternberg, K. (Hg.) (2019): Materialforschung: Impulsgeber Natur. Innovationspotenzial biologisch inspirierter Materialien und Werkstoffe. acatech – Deutsche Akademie der Technikwissenschaften e. V.. München: utzverlag (acatech Diskussion). Online verfügbar unter <https://www.acatech.de/publikation/materialforschung-impulsgeber-natur/>, zuletzt geprüft am 20.10.2020.
- Fraunhofer Gesellschaft (Hg.) (2023): Projekt „Evolutionäre bioökonomische Prozesse EVO-BIO“. Integrative Nutzung von Stoffströmen zur Herstellung optimierter Materialien für innovative Produkte in bioökonomischen Prozesskreisläufen. Online verfügbar unter <https://www.fraunhofer.de/de/forschung/fraunhofer-strategische-forschungsfelder/biooekonomie/evobio.html>, zuletzt geprüft am 02.04.2023.
- Freise, Gerda (1993): Der Naturbegriff der Naturwissenschaften oder von der Notwendigkeit, den „natur“wissenschaftlichen Unterricht neu zu konzipieren. In: *Chimica didactica* 19 (2), S. 123–134. Online verfügbar unter https://xn--studel-cua.de/ressourcen/NAWI/NaWi_freise_naturbegriff_chimidid.pdf, zuletzt geprüft am 15.01.2023.
- Friedmann, Joachim (2019): Storytelling. Einführung in Theorie und Praxis narrativer Gestaltung. Erscheinungsort nicht ermittelbar: UTB GmbH.
- Frisvold, George B.; Moss, Steven M.; Hodgson, Andrea; Maxon, Mary E. (2021): Understanding the U.S. Bioeconomy: A New Definition and Landscape. In: *Sustainability* 13 (4). <https://doi.org/10.3390/su13041627>.
- Fröhling, Magnus (2020): Gemeinsam stärker. Bioökonomie und Kreislaufwirtschaft. In: Jakob Radloff (Hg.): Bioökonomie. Weltformel oder Brandbeschleuniger? München: Oekom (Politische Ökologie), S. 90–94.
- Frosch, Robert A. (1992): Industrial ecology: a philosophical introduction. In: *Proceedings of the National Academy of Sciences* 89 (3), S. 800–803. <https://doi.org/10.1073/pnas.89.3.800>.
- Fuchs, Herbert (1972): Systemtheorie. In: Knut Bleicher (Hg.): Organisation als System. Wiesbaden: Gabler Verlag, S. 47–57.

- Fuller, Richard Buckminster (1969): *Operating manual for spaceship earth*. Ed. New York: Simon and Schuster. Online verfügbar unter <https://archive.org/details/buckminster-fuller-operating-manual-for-spaceship-earth/page/n7/mode/2up>, zuletzt geprüft am 20.07.2022.
- Gabriel, Markus (2013): *Warum es die Welt nicht gibt*. 3. Aufl. Berlin: Ullstein.
- Galilei, Galileo (1929–1939): *Le opere di Galileo Galilei*. Ristampa della Edizione Nazionale. hrsg. von Favaro, A. 20 Bände. Florenz (6).
- Gansen, Peter (2008): Vier aus 25? – Vom (Un-)Sinn einer Typologie der Metapherntheorien. Review on: Rolf, Eckard: *Metapherntheorien. Typologie, Darstellung, Bibliographie*. In: *KULT_online* (15). Online verfügbar unter <https://journals.ub.uni-giessen.de/kult-online/article/view/392/477>, zuletzt geprüft am 09.09.2021.
- Garner, Andy; Keoleian, Gregory (1995): *Industrial Ecology: An Introduction*. National Pollution Prevention Center for Higher Education, University of Michigan School of Natural Resources and Environment. Michigan.
- Gebhardt, Hans (2016): Das „Anthropozän“ – zur Konjunktur eines Begriffs. *Heidelberger Jahrbücher Online*, Bd. 1 (2016): Stabilität im Wandel/*Heidelberger Jahrbücher Online*, Bd. 1 (2016): Stabilität im Wandel. <https://doi.org/10.17885/heiup.hdjbo.23557>.
- Gehlen, Arnold (1961): *Anthropologische Forschung*: Rowohlt.
- Gehlen, Arnold (1965): *Anthropologische Ansicht der Technik*. In: Hans Freyer, Johannes Chr. Papalekas und Georg Weippert (Hg.): *Technik im technischen Zeitalter. Stellungnahmen zur geschichtlichen Situation*. Düsseldorf: Schilling, S. 101–118.
- Geisendorf, Sylvie; Pietrulla, Felicitas (2018): The circular economy and circular economic concepts – a literature analysis and redefinition. In: *Thunderbird International Business Review* 60 (5), S. 771–782. <https://doi.org/10.1002/tie.21924>.
- Georgescu-Roegen, Nicholas (1977): Inequality, Limits and Growth from a Bioeconomic Viewpoint. In: *Review of Social Economy* 35 (3), S. 361–375. <https://doi.org/10.1080/00346767700000041>.
- Georgescu-Roegen, Nicholas (1987): *The entropy law and the economic process in retrospect*. Berlin: IÖW (Schriftenreihe des IÖW, 5).
- Georgescu-Roegen, Nicholas (2011): Quo vadis Homo sapien sapiens? (1989) A query. In: Mauro Bonaiuti (Hg.): *From bioeconomics to degrowth*. Georgescu-Roegen's "new economics" in eight essays. Unter Mitarbeit von Mauro Bonaiuti. Abingdon, Oxon, New York: Routledge (Routledge studies in ecological economics), S. 158–170.
- Giammarco, Francesco (2016): 50 Jahre „Star Trek“: Früher war die Zukunft besser. Hg. v. Spiegel online. Online verfügbar unter <http://www.spiegel.de/kultur/tv/star-trek-wird-50-frueher-war-die-zukunft-besser-a-1111266.html>, zuletzt aktualisiert am 08.09.2016, zuletzt geprüft am 23.02.2018.
- Giampietro, Mario (2019): On the Circular Bioeconomy and Decoupling: Implications for Sustainable Growth. In: *Ecological Economics* 162, S. 143–156. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2019.05.001>.
- Gill, Bernhard (2008): Über Whitehead und Mead zur Akteur-Netzwerk-Theorie: Die Überwindung des Dualismus von Geist und Materie; und der Preis, der dafür zu zahlen ist. In: Georg Kneer, Markus Schroer und Erhard Schüttpelz (Hg.): *Bruno Latours Kollektive. Kontroversen zur Entgrenzung des Sozialen*. 1. Aufl., Orig.-Ausg. Frankfurt am Main: Suhrkamp (Suhrkamp-Taschenbuch Wissenschaft, 1862), S. 47–75.
- Gleich, A. von (2006): Bionik: Vorbild Natur. Möglichkeiten und Grenzen einer leitbildorientierten Technikgestaltung. In: *Ökologisches Wirtschaften* (1), S. 45–50. Online verfügbar unter <https://www.oekologisches-wirtschaften.de/index.php/ow/article/view/435/0>, zuletzt geprüft am 20.10.2020.
- Gleich, A. von; Pade, C.; Petschow, U.; Pissarskoi, E. (2006): *Bionik. Aktuelle Trends und zukünftige Potenziale*. Berlin/Bremen. Online verfügbar unter https://www.ioew.de/file-admin/user_upload/DOKUMENTE/Publikationen/2007/Bionik_Aktuelle_Trends_und_zuk%C3%BCnftige_Potenziale.pdf, zuletzt geprüft am 24.09.2020.

- Gleich, Arnim von (1998): Was können und sollen wir von der Natur lernen? In: Arnim von Gleich (Hg.): *Bionik: Ökologische Technik nach dem Vorbild der Natur?* Wiesbaden: Vieweg+Teubner Verlag, S. 7–34.
- Gleich, Arnim von (2008): Ausblick. In: Arnim von Gleich und Stefan Gößling-Reisemann (Hg.): *Industrial Ecology. Erfolgreiche Wege zu nachhaltigen industriellen Systemen.* Wiesbaden: Vieweg+Teubner Verlag/GWV Fachverlage GmbH Wiesbaden, S. 366–375.
- Gloy, Karen (1995): *Die Geschichte des wissenschaftlichen Denkens. Verständnis der Natur.* Lizenzausgabe für Komet Verlag. Köln: Komet.
- Goethe, Johann Wolfgang von (1808): *Faust. Eine Tragödie.* 1. Aufl. Tübingen: Cotta Verlag. Online verfügbar unter https://www.deutschestextarchiv.de/book/view/goethe_faust01_1808?p=44, zuletzt geprüft am 06.04.2023.
- Gordon, Scott H. (1954): The Economic Theory of a Common-Property Resource: The Fishery. In: *Journal of Political Economy* 62 (2), S. 124–142. Online verfügbar unter <http://www.jstor.org/stable/1825571>.
- Gößling-Reisemann, Stefan; Gleich, Arnim von (2008): Industrial Ecology – Einleitung. In: Arnim von Gleich und Stefan Gößling-Reisemann (Hg.): *Industrial Ecology. Erfolgreiche Wege zu nachhaltigen industriellen Systemen.* Wiesbaden: Vieweg+Teubner Verlag/GWV Fachverlage GmbH Wiesbaden, S. 9–19.
- Gottwald, Franz-Theo; Krätzer, Anita (2014): *Irrweg Bioökonomie. Kritik an einem totalitären Ansatz.* Orig.-Ausg., 1. Aufl.; Ebook epub. Berlin: Suhrkamp (Edition Unselde, 51).
- Gowdy, John M.; Erickson, Jon D. (2005): The approach of ecological economics. In: *Cambridge Journal of Economics* 29 (2), S. 207–222. Online verfügbar unter <http://www.jstor.org/stable/23602183>, zuletzt geprüft am 14.09.2022.
- Graeser, Andreas (1989): Die Vorsokratiker. In: Gernot Böhme (Hg.): *Klassiker der Naturphilosophie. Von den Vorsokratikern bis zur Kopenhagener Schule.* München: Beck, S. 13–28.
- Grashof, Franz (1877): *Über die Wandlungen des Arbeitsvermögens im Haushalt der Natur und der Gewerbe.* Berlin: Carl Habel. Online verfügbar unter <https://www.digitale-sammlungen.de/de/view/bsb11361456?page=1>, zuletzt geprüft am 23.09.2021.
- Graupe, Silja (2016): Der erstarrte Blick. In: Till van Treeck und Janina Urban (Hg.): *Wirtschaft neu denken. Blinde Flecken der Lehrbuchökonomie.* 1. Auflage. Berlin: iRights Media, S. 18–29.
- Grefe, Christiane (2016): *Global Gardening. Bioökonomie – neuer Raubbau oder Wirtschaftsform der Zukunft?* Lizenzausgabe für die Bundeszentrale für politische Bildung. Bonn: Bundeszentrale für politische Bildung (Schriftenreihe/Bundeszentrale für politische Bildung, Band 1737).
- Grothe, Solveig (2009): *Vision Possible. Technikträume um 1900* Von Solveig Grothe, Hg. v. Spiegel Geschichte. Online verfügbar unter <https://www.spiegel.de/geschichte/technik-traeume-um-1900-a-948349.html>, zuletzt aktualisiert am 24.06.2009, zuletzt geprüft am 04.11.2022.
- gute zitate (Hg.) (2022): Zitat von Jean Jaques Rousseau. Online verfügbar unter <https://gutezitate.com/zitat/165916>, zuletzt geprüft am 07.10.2022.
- Haas, Willi; Krausmann, Fridolin; Wiedenhofer, Dominik; Heinz, Markus (2015): How Circular is the Global Economy?: An Assessment of Material Flows, Waste Production, and Recycling in the European Union and the World in 2005. In: *Journal of Industrial Ecology* 19 (5), S. 765–777. <https://doi.org/10.1111/jiec.12244>.
- Haas, Willi; Krausmann, Fridolin; Wiedenhofer, Dominik; Lauk, Christian; Mayer, Andreas (2020): Spaceship earth's odyssey to a circular economy – a century long perspective. In: *Resources, Conservation and Recycling* 163, S. 1–10. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2020.105076>.
- Haeckel, Ernst (1866): *Generelle Morphologie der Organismen II.* 2 Bände. Berlin: Reimer (2). Online verfügbar unter <https://archive.org/details/generellemorphol02haec/page/n9/mode/2up>, zuletzt geprüft am 19.07.21.

- Haff, P. K.; Renn, Jürgen (2019): Peter K. Haff im Gespräch mit Jürgen Renn. In: Katrin Klingan und Christoph Rosol (Hg.): *Technosphäre* (Bibliothek 100 Jahre Gegenwart), S. 26–46.
- Hall, Arthur D.; Fagen, Robert E. (1956): Definition of System. In: Ludwig von Bertalanffy und A. Rapaport (Hg.): *General Systems: Yearbook of the Society for the Advancement of General Systems Theory*. Washington DC (Vol. I), S. 18–28.
- Hasenöhr, Fritz (Hg.) (1909): *Wissenschaftliche Abhandlungen von Ludwig Boltzmann*. Band II (1875–1881). Im Auftrage und mit Unterstützung der Akademien der Wissenschaften zu Berlin, Göttingen, Leipzig, München, Wien. Leipzig: Johann Ambrosius Barth. Online verfügbar unter <https://phaidra.univie.ac.at/detail/o:63651>, zuletzt geprüft am 02.003.2023.
- Hawken, Paul; Lovins, Amory B.; Lovins, L. Hunter (2000): *Natural capitalism. Creating the next industrial revolution*. 1. paperback ed., [Nachdr.]. New York: Little Brown and Co (A Back Bay Book).
- Hawking, Stephen W. (2000): *Die illustrierte kurze Geschichte der Zeit*. Aktualisierte und erw. Ausg., 4. Aufl. Reinbek bei Hamburg: Rowohlt.
- Healthy Printing (Hg.) (2023): *Cradle to Cradle*. Online verfügbar unter <https://www.healthyprinting.eu/cradle-to-cradler/>, zuletzt geprüft am 01.02.2023, inzwischen nicht mehr verfügbar, 26.02.2024.
- Healy, Bernadine (1994): On light and worth: Lessons from medicine. *Vassar Q.* 1994, 90, 10–13. In: *Vassar The Alumnae/ i Quaterly*, S. 10–13.
- Heidegger, Martin (2000): Die Frage nach der Technik. In: Friedrich Wilhelm von Hermann (Hg.): *Gesamtausgabe*. Vorträge und Aufsätze. Frankfurt am Main: Klostermann (7), S. 5–36.
- Heidenreich, Martin (2002): Merkmale der Wissensgesellschaft. In: *Lernen in der Wissensgesellschaft*. Beiträge des OECD/CERI-Regionalseminars für Deutschsprachige Länder in Esslingen (Bundesrepublik Deutschland) vom 8. – 12. Oktober 2001. Innsbruck, Wien, München, Bozen: Studien-Verl. (Schulentwicklung, 33), S. 334–363. Online verfügbar unter <http://www.sozialstruktur.uni-oldenburg.de/dokumente/blk.pdf>, zuletzt geprüft am 16.03.2022.
- Heine, Matthias (2016): Hinz und Kunz schwafeln heutzutage vom „Narrativ“. Hg. v. Welt. Berlin. Online verfügbar unter <https://www.welt.de/debatte/kommentare/article159450529/Hinz-und-Kunz-schwafeln-heutzutage-vom-Narrativ.html>, zuletzt aktualisiert am 13.11.2016, zuletzt geprüft am 02.01.2023.
- Helferich, Christoph; Lang, Peter Christian (2012): *Geschichte der Philosophie*. Von den Anfängen bis zur Gegenwart und Östliches Denken. Vierte, erweiterte Auflage. Stuttgart, Weimar: Verlag J.B. Metzler.
- Hellige, Hans Dieter (1994): *Wirtschafts-, Energie- und Stoffkreisläufe in säkularer Perspektive: Von der thermodynamischen Entzauberung der Welt zur recyclingorientierten Wachstumsgesellschaft*. In: Gangolf Hübinger und Jürgen Osterhammel (Hg.): *Universalgeschichte und Nationalgeschichten*. Ernst Schulin zum 65. Geburtstag. Unter Mitarbeit von Ernst Schulin. 1. Aufl. Freiburg im Breisgau: Rombach (Rombach Wissenschaft Rombach aktuell), S. 291–315.
- Hetemäki, Lauri; Hanewinkel, Marc; Muys, Bart; Aho, Esko (2017): *Leading the way to a european circular bioeconomy strategy*. Joensuu: European Forest Institute (From Science to Policy, 5). Online verfügbar unter https://efi.int/sites/default/files/files/publication-bank/2019/efi_fstp_5_2017.pdf, zuletzt geprüft am 29.03.2022.
- Hoffmann, D.; Meschede, D.; Orphal, J. (2022): Die bewegende Kraft der Wärme: zum 200. Geburtstag von Rudolph Clausius (1822–1888). In: *Physik Journal* 21 (3), S. 45–50.
- Holbach, Paul Thiry d' (1778): *System der Natur oder von den Gesetzen der physischen und moralischen Welt*. Frankfurt a. M.: Suhrkamp.
- Horn, Eva; Berghaller, Hannes (2019): *Anthropozän zur Einführung*. Hamburg: Junius (Zur Einführung).
- Hubig, Christoph; Huning, Alois; Ropohl, Günter (Hg.) (2013): *Nachdenken über Technik: Die Klassiker der Technikphilosophie und neuere Entwicklungen*. 3., neu bearb. und erw. Aufl., Darmstädter Ausg. Berlin: Ed. Sigma.

- Huesemann, Michael H. (2003): The limits of technological solutions to sustainable development. In: *Clean Techn Environ Policy* 5 (1), S. 21–34. <https://doi.org/10.1007/s10098-002-0173-8>.
- Hume, David (1869): Untersuchung in Betreff des menschlichen Verstandes (An Enquiry Concerning Human Understanding). Der Text folgt der 2. Ausgabe in der Übersetzung durch Julius Heinrich von Kirchmann von 1869. Online verfügbar unter <http://www.zeno.org/nid/20009186506>, zuletzt geprüft am 02.02.2023.
- Ingensiep, Hans Werner (1990): Evolution und Erkennen. Hg. v. Michael 1937 Dünckmann und Deutsches Institut für Fernstudien (Evolution des Menschen 5).
- Ingensiep, Hans Werner (2016): Leben mit System? Der Systembegriff in der Biologie. In: *agora* 42 (2), S. 15–18.
- International Geosphere-Biosphere Programme (Hg.) (2015): The Great Acceleration. Online verfügbar unter <http://www.igbp.net/news/pressreleases/pressreleases/planetarydashboards-howsgreataccelerationinhumanactivitysince1950.5.950c2fa1495db7081eb42.html>, zuletzt geprüft am 04.12.2020.
- Isenmann, Ralf (2003): Natur als Vorbild. Plädoyer für ein differenziertes und erweitertes Verständnis der Natur in der Ökonomie. Zugl.: Kaiserslautern, Univ., Diss., 2002. Marburg: Metropolis-Verl. (Ökologie und Wirtschaftsforschung, 49).
- Isenmann, Ralf (2008): Lernen vom Vorbild Natur: Naturverständnis in der Industrial Ecology. In: Arnim von Gleich und Stefan Gößling-Reisemann (Hg.): *Industrial Ecology. Erfolgreiche Wege zu nachhaltigen industriellen Systemen*. Wiesbaden: Vieweg+Teubner Verlag/GWV Fachverlage GmbH Wiesbaden, S. 333–347.
- Jax, Kurt (1996): Über die Leblosigkeit ökologischer Systeme: Zur Rolle des individuellen Organismus in der Ökologie. In: Hans Werner Ingensiep (Hg.): *NaturStücke: Zur Kulturgeschichte der Natur*. Ostfildern: Ed. Tertium, S. 209–230.
- Jelinski, L. W.; Graedel, T. E.; Laudise, R. A.; McCall, D. W.; Patel, C. K. (1992): Industrial ecology: concepts and approaches. In: *Proceedings of the National Academy of Sciences* 89 (3), S. 793–797. <https://doi.org/10.1073/pnas.89.3.793>.
- Johansson, Allan (2002): Industrial ecology and industrial metabolism: use and misuse of metaphors. In: Leslie Ayres und Robert U. Ayres (Hg.): *A Handbook of Industrial Ecology*. Cheltenham, U.K, Northampton, Mass: Edward Elgar Pub, S. 70–75. Online verfügbar unter https://www.academia.edu/29284832/A_Handbook_of_Industrial_Ecology, zuletzt geprüft am 13.08.2021.
- Kadner, S.; Kobus, J.; Hansen, E.; Akinci, S.; Elsner, P.; Hagelüken, C. et al. (2021): Circular Economy Roadmap für Deutschland. Circular Economy Initiative Deutschland. Hg. v. Circular Economy Initiative Deutschland. acatech/SYSTEMIQ. München/London. Online verfügbar unter <https://www.acatech.de/publikation/circular-economy-roadmap-fuer-deutschland/#:~:text=Die%20E2%80%9ECircular%20Economy%20Roadmap%20f%C3%BCr%20Deutschland%20versteht%20sich,aus%20Politik%2C%20Wirtschaft%20und%20Wissenschaft%20Orientierung%20geben%20sollen>, zuletzt geprüft am 06.07.2021.
- Kamm, Birgit; Gruber, Patrick R.; Kamm, Michael (2016): Biorefineries–Industrial Processes and Products. In: Ullmann’s Encyclopedia of Industrial Chemistry: John Wiley & Sons, Ltd, S. 1–38.
- Kant, Immanuel (1969): Prolegomena. Hamburg: Meiner Verlag.
- Kapeller, Jakob (2022): Ökologische Ökonomie. Hg. v. Netzwerk Plurale Ökonomik e. V.. (Exploring Economics). Online verfügbar unter <https://www.exploring-economics.org/en/discover/oekologische-oekonomik/#header-5>, zuletzt geprüft am 12.09.2022.
- Kapp, Ernst; Maye, Harun (Hg.) (2015): Grundlinien einer Philosophie der Technik: Zur Entstehungsgeschichte der Kultur aus neuen Gesichtspunkten. Hamburg: Meiner (Philosophische Bibliothek, 675).
- Karafyllis, Nicole C. (2006): Biofakte – Grundlagen, Probleme, Perspektiven. In: *Erwägen Wissen Ethik* 17 (4), S. 547–558.

- Karafyllis, Nicole C. (2019a): Interaktionen in der Technosphäre und Biofakte. In: Kevin Ligieri und Oliver Müller (Hg.): *Mensch-Maschine-Interaktion: Handbuch zu Geschichte – Kultur – Ethik*. 1st ed. 2019, S. 106–113.
- Karafyllis, Nicole C. (Hg.) (2003): *Biofakte. Versuch über den Menschen zwischen Artefakt und Lebewesen*. Paderborn: mentis-Verl.
- Kather, Regine (2012a): *Die Wiederentdeckung der Natur. Naturphilosophie im Zeichen der ökologischen Krise*. Darmstadt: WBG – Wissenschaftliche Buchgesellschaft.
- Katzenstein, Johannes Corrodi (2019): Was ist Natur? In: *Hermeneutische Blätter. Natur pur*. Zürich (25), S. 7–25.
- Kerschner, Christian (2010): Economic de-growth vs. steady-state economy. In: *Journal of Cleaner Production* 18 (6), S. 544–551. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2009.10.019>.
- Kirchherr, Julian; Reike, Denise; Hekkert, Marko (2017): Conceptualizing the circular economy: An analysis of 114 definitions. In: *Resources, Conservation and Recycling* 127, S. 221–232. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2017.09.005>.
- Kirchhoff, Thomas (2020a): Einführung: von der Ökologie als Wissenschaft zur ökologischen Weltanschauung. In: *Natur und Landschaft* 95 (9/10), S. 390–396.
- Kirchhoff, Thomas (2020b): Zum Verhältnis von Mensch und Natur. In: *Aus Politik und Zeitgeschichte: Natur- und Artenschutz, Bundeszentrale für politische Bildung* (11). Online verfügbar unter <https://www.bpb.de/apuz/305897/zum-verhaeltnis-von-mensch-und-natur>, zuletzt geprüft am 10.07.2020.
- Kirchhoff, Thomas (2020c): Gibt es Natur an sich? Oder: Ist Natur ein kulturelles Konstrukt? Universität Ulm, 10.12.2020. Online verfügbar unter <https://www.uni-ulm.de/einrichtungen/humboldt-studienzentrum-fuer-philosophie-und-geisteswissenschaften/vortragsreihen/humboldt-lecture/ws-2020-21-gibt-es-natur-an-sich-oder-ist-natur-ein-kulturelles-konstrukt-kirchhoff/>, zuletzt geprüft am 08.12.2021.
- Kiresiowa, Zoritz; Hasenheit, Marius; Wolff, Franziska; Möller, Martin; Gesang, Bernward; Schröder, Patrick (2019): *Bioökonomiekonzepte und Diskursanalyse. Teilbericht (API) des Projekts „Nachhaltige Ressourcennutzung – Anforderungen an eine nachhaltige Bioökonomie aus der Agenda 2030/SDG-Umsetzung“*; Forschungskennzahl 3717 31 103 0. Hg. v. Verlag Umweltbundesamt (Texte, 78). Online verfügbar unter <https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/biooekonomiekonzepte-diskursanalyse>, zuletzt geprüft am 06.08.2021.
- Klingan, Katrin; Rosol, Christoph (2019): Technische Allgegenwart – ein Projekt. In: Katrin Klingan und Christoph Rosol (Hg.): *Technosphäre (Bibliothek 100 Jahre Gegenwart)*, S. 12–25.
- Kniebe, Tobias (2017): Erzähl! Modewort „Narrativ“. Hg. v. *Süddeutsche Zeitung*. München. Online verfügbar unter <https://www.sueddeutsche.de/kultur/modewort-narrativ-erzahl-1.3640669>, zuletzt aktualisiert am 25.08.2017, zuletzt geprüft am 03.01.2023.
- Köchy, Kristian (2010): *Der Naturbegriff und seine Wandlungen*. In: Anna M. Wobus (Hg.): *Der Begriff der Natur. Wandlungen unseres Naturverständnisses und seine Folgen; Gaterslebener Begegnung 2009*. Stuttgart: Wiss. Verl.-Ges (Nova acta Leopoldina, N.F., 376 = Bd. 109), S. 59–72.
- Kornwachs, Klaus (2013): *Philosophie der Technik*. 1. Aufl. München: C.H.Beck (C.H.Beck Wissen). Online verfügbar unter <https://doi.org/10.17104/9783406638343>.
- KrWG (2020): *Gesetz zur Förderung der Kreislaufwirtschaft und Sicherung der umweltverträglichen Bewirtschaftung von Abfällen (Kreislaufwirtschaftsgesetz – KrWG)*. KrWG. Online verfügbar unter https://www.bmu.de/fileadmin/Daten_BMU/Download_PDF/Gesetze/neue_krwg_bf.pdf, zuletzt geprüft am 27.09.2021.
- Kümmerer, K. (1995): *Rhythmen in der Natur. Die Bedeutung von Eigenzeiten und Systemzeiten*. In: Martin Held und Karlheinz A. Geißler (Hg.): *Von Rhythmen und Eigenzeiten. Perspektiven einer Ökologie der Zeit*. Stuttgart: Wiss. Verl.-Ges; Hirzel (Edition Universitas), S. 97–118.

- Kümmerer, Klaus (1993): Zeiten der Natur – Zeiten des Menschen. In: Martin Held (Hg.): Ökologie der Zeit. Vom Finden der rechten Zeitmaße. Stuttgart: Hirzel (Edition Universitas), S. 85–104.
- Kurz, Gerhard (2009): Metapher, Allegorie, Symbol. 6. Auflage. Göttingen: Vandenhoeck & Ruprecht (Kleine Reihe V & R, 4032).
- Kutschera, Ulrich (2015): Evolutionsbiologie. 4. vollst. überarb. Aufl. Stuttgart und Stuttgart: UTB GmbH und Ulmer (utb-studi-e-book, 8318).
- Lakoff, George; Johnson, Mark (1980): *Metaphors we live by*. Chicago, Ill.: Univ. of Chicago Press.
- Lakoff, George; Johnson, Mark (2008): *Philosophy in the flesh. The embodied mind and its challenge to Western thought*. [Nachdr.]. New York, NY: Basic Books.
- Lakoff, George; Johnson, Mark (2021): *Leben in Metaphern. Konstruktion und Gebrauch von Sprachbildern*. Zehnte Auflage. Heidelberg: Carl-Auer Verlag (Systemische Horizonte – Theorie und Praxis).
- Lancaster, M. (2007). Principles of sustainable and green chemistry. In: James H. Clark und Duncan J. Macquarrie (Hg.): *Handbook of green chemistry and technology*. [Elektronische Ressource]. Oxford: Blackwell Science, S. 10–27.
- Laplace, Pierre Simon de (1886): *Philosophischer Versuch über die Wahrscheinlichkeiten*. Leipzig: Duncker & Humblot. Online verfügbar unter <http://resolver.sub.uni-goettingen.de/purl?PPN591927160>, zuletzt geprüft am 19.01.2023.
- Latour, Bruno (2017a): *Facing Gaia. Eight lectures on the new climatic regime*. Cambridge, UK, Malden, MA: Polity.
- Latour, Bruno (2017b): *Wir sind nie modern gewesen. Versuch einer symmetrischen Anthropologie*. 6. Auflage. Frankfurt am Main: Suhrkamp (Suhrkamp Taschenbuch Wissenschaft, 1861).
- Laux, Henning (2014): Bruno Latour: Soziologie der Existenzweisen I. In: Jörn Lamla (Hg.): *Handbuch der Soziologie*. Konstanz: UVK-Verl.-Ges (UTB Soziologie, 8601), S. 261–280.
- Leinfelder, Reinhold (2021): Biosphäre als Modell für die Technosphäre im Anthropozän. „Denkt endlich in Kreisläufen!“. In: *Politische Ökologie, Menschengemacht. Streifzüge durch das Anthropozän* (167), S. 66–72.
- Leipprand, Anna; Moore, Nils aus dem (2012): Die natürlichen Grenzen der Ökonomie: Plädoyer für eine ökologische Schuldenbremse. In: *Leviathan* 40 (2), S. 173–201. Online verfügbar unter <http://www.jstor.org/stable/24205659>, zuletzt geprüft am 01.08.2022.
- Lewandowski, Iris (Hg.) (2018): *Bioeconomy. Shaping the transition to a sustainable, biobased economy*. Unter Mitarbeit von Nicole Gaudet, Jan Lask, Jan Maier, Boris Tchouga und Ricardo Vargas-Carpintero. Cham: Springer International Publishing.
- Lexikon der Biologie (Hg.) (1999): *Naturalistischer Fehlschluß*. spektrum.de. Online verfügbar unter <https://www.spektrum.de/lexikon/biologie/naturalistischer-fehlschluss/45443>, zuletzt geprüft am 21.06.2023.
- Lexikon der Nachhaltigkeit (Hg.) (2015a): Hans Carl von Carlowitz, 1713. Online verfügbar unter https://www.nachhaltigkeit.info/artikel/hans_carl_von_carlowitz_1713_1393.htm, zuletzt aktualisiert am 03.11.2015, zuletzt geprüft am 03.12.2022.
- Lexikon der Nachhaltigkeit (Hg.) (2015b): Konsistenz. Online verfügbar unter https://www.nachhaltigkeit.info/artikel/konsistenz_2033.htm, zuletzt aktualisiert am 18.08.2015, zuletzt geprüft am 03.12.2022.
- Lexikon der Nachhaltigkeit (Hg.) (2015c): Nachhaltigkeit. Online verfügbar unter https://www.nachhaltigkeit.info/artikel/nachhaltigkeit_1398.htm, zuletzt aktualisiert am 31.08.2015, zuletzt geprüft am 03.12.2022.
- Lexikon der Psychologie (Hg.) (2000): *Weltbilder*. spektrum.de. Online verfügbar unter <https://www.spektrum.de/lexikon/psychologie/weltbilder/16743>, zuletzt geprüft am 14.01.2021.
- Lifset, Reid; Graedel, Thomas E. (2002): *Industrial Ecology: goals and definitions*. In: Leslie Ayres und Robert U. Ayres (Hg.): *A Handbook of Industrial Ecology*. Cheltenham, U.K, Northampton, Mass: Edward Elgar Pub, S. 3–15.

- Lippuner, Roland (2008): Die Abhängigkeit unabhängiger Systeme. Zur strukturellen Kopplung von Gesellschaft und Umwelt. In: Heike Egner (Hg.): Umwelt als System – System als Umwelt? Systemtheorien auf dem Prüfstand. München: Oekom, S. 103–118.
- LNDW-Podcast (Hg.) (2020): Der Mensch als Schöpfer – was die Wissenschaften von der Natur lernen. Der Lange Nacht der Wissenschaften e. V. Podcast (Folge 3). Online verfügbar unter <https://www.glaesernes-labor.de/de/news/glb-podcast-lnw2020-natur>, zuletzt aktualisiert am 20.08.2020, zuletzt geprüft am 20.02.2024
- Loske, Reinhard (2015a): Politik der Zukunftsfähigkeit. Konturen einer Nachhaltigkeitswende. Frankfurt am Main: FISCHER Taschenbuch (Fischer Taschenbuch Forum für Verantwortung, 03221).
- Lotka, Alfred J. (1925): Elements of Physical Biology. Baltimore: Williams and Wilkins Company.
- Lovelock, James E. (1992): Gaia. Die Erde ist ein Lebewesen; was wir heute über Anatomie und Physiologie des Organismus Erde wissen und wie wir ihn vor der Gefährdung durch den Menschen bewahren können. 2. Aufl. Bern: Scherz.
- Lovins, Amory; Lovins, B. Hunter; Hawken, Paul (1999): A roadmap for natural capitalism. In: *Harvard Business Review* (May-June), S. 145–158.
- Luhmann, Niklas (2018): Soziale Systeme. Grundriß einer allgemeinen Theorie. 17. Auflage. Frankfurt am Main: Suhrkamp (Suhrkamp-Taschenbuch Wissenschaft, 666).
- Lyle, John Tillman (1994): Regenerative design for sustainable development. New York, NY: Wiley (Wiley series in sustainable design).
- MacIntyre, Alasdair (1984): After Virtue. Notre Dame. In: *U of Notre Dame P.*
- Mäder, Claudia (2009): Klimaänderung. Wichtige Erkenntnisse aus dem 4. Sachstandsbericht des Zwischenstaatlichen Ausschusses für Klimaänderungen der Vereinten Nationen (IPCC). Hg. v. Umweltbundesamt. Dessau-Roßlau. Online verfügbar unter https://web.archive.org/web/20161106125826/https://www.esf.de/portal/SharedDocs/PDFs/DE/Aktuelles/2009/2009_09_29_klimaenderung_wichtige_erkenntnisse.pdf?__blob=publicationFile&v=1, zuletzt geprüft am 10.11.2022.
- maerchen-welt.net (Hg.) (2022): Die wilden Schwäne. Online verfügbar unter <http://www.maerchen-welt.net/die-wilden-schwane/>, zuletzt geprüft am 23.12.2022.
- Mahner, Martin; Bunge, Mario (2000): Philosophische Grundlagen der Biologie. Berlin: Springer.
- Mang, Pamela; Reed, Bill (2012): Regenerative Development and Design. In: Robert A. Meyers (Hg.): Encyclopedia of sustainability science and technology. With 1553 tables. New York, NY: Springer (Springer reference).
- Martin, Felix (2014): Geld, die wahre Geschichte. Über den blinden Fleck des Kapitalismus. München: Random House GmbH.
- Martinez, Rodrigo; Enriquez, Juan; West, Jonathan (2003). DNA Space. The Geography of the Genome. In: *Wired* (Juni), S. 160.
- Marx, Karl (1867): Das Kapital. Erster Band. Nachdruck: in Marx Engels: Werke, Bd.23 Berlin: Dietz 1959. Hamburg: Otto Meisner.
- Marzi, Thomas; Knappertsbusch, Volker; Marzi, Anne; Naumann, Sandra; Deerberg, Gorge; Weidner, Eckhard (2018b): Fragen zu einer biologischen Technik. Oberhausen: Verlag Karl Maria Laufen (UMSICHT-Diskurs, Heft 2). Online verfügbar unter <http://s.fhg.de/Fragen-zu-einer-biologischen-Technik>, zuletzt geprüft am 14.06.2020.
- Maturana, Huberto R. (Hg.) (1982): Erkennen: Die Organisation und Verkörperung von Wirklichkeit. Ausgewählte Arbeiten zur biologischen Epistemologie. Braunschweig/Wiesbaden.
- Mayreder, Rosa (1899): Zur Physiologie des weiblichen Geschlechts. In: *Dokumente der Frauen: Halbmonatsschrift* (3), S. 66–69. Online verfügbar unter <https://frauenmediatum.de/historische-frauenbewegung/rosa-mayreder-weibliche-geschlecht-1899/>, zuletzt geprüft am 01.02.2023.

- Mayumi, Kozo (2001): *Origins of Ecological Economics. The Bioeconomics of Georgescu-Roegen*. London: Routledge (Routledge Explorations in Environmental Economics). Online verfügbar unter https://library.uniteddiversity.coop/Measuring_Progress_and_Eco_Footprinting/The_Origins_of_Ecological_Economics-The_Bioeconomics_of_Georgescu-Roegen.pdf, zuletzt geprüft am 02.02.2022.
- Mayumi, Kozo (2009): Nicholas Georgescu-Roegen: His Bioeconomics Approach to Development and Change. In: *Development and Change* 40 (6), S. 1235–1254. <https://doi.org/10.1111/j.1467-7660.2009.01603.x>.
- Meadows, Dennis L.; Meadows, Donella H.; Randers, Jørgen; Behrens, William W., III (1972): *The limits to growth. A report for the Club of Rome's project on the predicament of mankind*. 4. Print. New York, NY: Universe Books (A Potomac Associates book).
- Meinert, Sascha (2012): *Narrative für eine Nachhaltige Entwicklung. Herausforderungen und Zugänge für die politische Bildung*. Hg. v. Bundeszentrale für politische Bildung BpB. Online verfügbar unter <https://www.bpb.de/lernen/kulturelle-bildung/136713/narrative-fuer-eine-nachhaltige-entwicklung/#footnote-target-6>, zuletzt aktualisiert am 29.05.2012, zuletzt geprüft am 02.01.2022.
- Mercier, Louis Sébastien; Villain, Jean-Claude (Hg.) (1979): *Mein Bild von Paris. Mit 43 Wiedergaben nach zeitgenöss. Kupferstichen. franz. Original 1781–1788*. 1. Aufl. Frankfurt am Main: Insel-Verl. (Insel Taschenbuch, 374).
- Metzler Lexikon der Philosophie (Hg.) (2023a): *Dichotomie*. Online verfügbar unter <https://www.spektrum.de/lexikon/philosophie/dichotomie/455>, zuletzt geprüft am 29.03.2023.
- Metzlers Lexikon der Philosophie (Hg.) (2023b): *Sein-Sollen-Differenz*. Online verfügbar unter <https://www.spektrum.de/lexikon/philosophie/sein-sollen-differenz/1840>, zuletzt geprüft am 21.06.2023.
- Metzner, Andreas (1994): *Offenheit und Geschlossenheit in der Ökologie der Gesellschaft*. In: Frank Beckenbach (Hg.): *Zwischen Entropie und Selbstorganisation. Perspektiven einer Ökologischen Ökonomie*. Marburg: Metropolis-Verl. (Ökologie und Wirtschaftsforschung, 9), S. 351–391. Online verfügbar unter https://www.academia.edu/869151/Offenheit_und_Geschlossenheit_in_der_%C3%96kologie_der_Gesellschaft, zuletzt geprüft am 05.08.2021.
- Millennium Ecosystem Assessment (2005): *Ecosystems and human well-being*. Washington, DC: Island Press (Millennium ecosystem assessment series, 3).
- Möbius, Karl August (1877): *Die Auster und die Austerwirtschaft*. Berlin: Wiegandt, Hempel & Parey. Online verfügbar unter <https://archive.org/details/dieausterunddie00mbgoog/page/n3/mode/2up>, zuletzt geprüft am 16.03.2022.
- Möbius, Paul Julius (1903): *Über den physiologischen Schwachsinn des Weibes*. 5. Aufl. Halle a. S.: Carl Marhold. Online verfügbar unter https://de.wikisource.org/wiki/%C3%9Cber_den_physiologischen_Schwachsinn_des>Weibes, zuletzt geprüft am 01.02.2023.
- Mohan, S. Venkata; Dahiya, Shikha; Amulya, K.; Katakajwala, Ranaparthap; Vanitha, Thangadurai (2019): *Can circular bioeconomy be fueled by waste biorefineries – A closer look*. In: *Bioresource Technology Reports* (7).
- Möller, Christian (2014): *Der Traum vom ewigen Kreislauf. Abprodukte, Sekundärrohstoffe und Stoffkreisläufe im „Abfall-Regime“ der DDR (1945–1990)*. In: *TG Technikgeschichte* 81 (1), S. 61–90. <https://doi.org/10.5771/0040-117X-2014-1-61>.
- MoMA, The Museum of Modern Art (Hg.) (2020): *Henri Rousseau, The Dream, 1910*. MoMA, The Museum of Modern Art. Online verfügbar unter <https://www.moma.org/collection/works/79277?>, zuletzt geprüft am 16.07.2020.
- Müller, Felix; Kohlmeyer, Regina; Krüger, Franziska; Kosmol, Jan; Krause, Susann; Dorer, Conrad et al. (2020): *Leitsätze einer Kreislaufwirtschaft*. Hg. v. Umweltbundesamt (UBA). Online verfügbar unter <https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/leitsaetze-einer-kreislaufwirtschaft>, zuletzt geprüft am 29.06.2023.
- Müller, Klaus (1996): *Allgemeine Systemtheorie. Geschichte, Methodologie und sozialwissenschaftliche Heuristik eines Wissenschaftsprogramms*. Wiesbaden, s.l.: VS Verlag für Sozialwissenschaften (Springer eBook Collection, 164).

- Müller-Funk, Wolfgang (2019): Ein Begriff in aller Munde: Was ist dein Narrativ? Hg. v. DER STANDARD. STANDARD Verlagsgesellschaft m.b.H. Wien. Online verfügbar unter <https://www.derstandard.at/story/2000100872677/ein-begriff-in-aller-munde-was-ist-dein-narrativ>, zuletzt aktualisiert am 06.04.2019.
- Muraca, Barbara (2013): Whiteheads Prozessphilosophie und die umweltethische Debatte. In: Markus Vogt (Hg.): Wo steht die Umweltethik? Argumentationsmuster im Wandel. Marburg: Metropolis-Verl. (Beiträge zur sozialwissenschaftlichen Nachhaltigkeitsforschung, 5), S. 235–258.
- Murray, Alan; Skene, Keith; Haynes, Kathryn (2017): The Circular Economy: An Interdisciplinary Exploration of the Concept and Application in a Global Context. In: *Journal of Business Ethics* 140 (3), S. 369–380. <https://doi.org/10.1007/s10551-015-2693-2>.
- Nachtigall, Werner (2008): Bionik: Lernen von der Natur. Originalausgabe. München: Verlag C.H. Beck (Beck'sche Reihe C.H. Beck Wissen, 2436).
- National Research Council (2009): A New Biology for the 21st Century. Washington, DC: The National Academies Press. Online verfügbar unter <https://www.nap.edu/catalog/12764/a-new-biology-for-the-21st-century>, zuletzt geprüft am 02.02.2022.
- neues wort (Hg.) (2022): Narrativ. Online verfügbar unter <https://neueswort.de/narrativ/>, zuletzt geprüft am 12.12.2022.
- Niebert, Kai (2010): Den Klimawandel verstehen. Eine didaktische Rekonstruktion der globalen Erwärmung. Diss, Univ. Hannover, 2010. 1. Aufl. Hannover, Oldenburg: Technische Informationsbibliothek u. Universitätsbibliothek; Didaktisches Zentrum Carl von Ossietzky Univ (Beiträge zur didaktischen Rekonstruktion, 31). Online verfügbar unter <https://docs.tib.eu/files/e01dh10/639745350.pdf>, zuletzt geprüft am 16.03.2021.
- Nordmann, Alfred (2016): Technikphilosophie zur Einführung. Hamburg: Junius Verlag (Zur Einführung).
- Ober, Steffi; Huwe, Vivienne (2020): Technikfixierung bremst Bürgerbeteiligung. Teilhabe in der bioökonomischen Transformation. In: Jakob Radloff (Hg.): Bioökonomie. Weltformel oder Brandbeschleuniger? München: Oekom (Politische Ökologie), S. 78–83.
- Odum, Eugene P. (1971): Fundamentals of ecology. 3. ed. Philadelphia, Pa.: Saunders.
- Odum, Howard T.; Pigeon, R. (1971): A tropical rain forest: a study of irradiation and ecology at El Verde, Puerto Rico. In: *Journal of Ecology* 60, S. 623.
- OECD (Hg.) (2002): The Application of Biotechnology to Industrial Sustainability – A Primer. Online verfügbar unter <https://web.archive.oecd.org/2012-06-15/155236-1947629.pdf>, zuletzt geprüft am 26.02.2024.
- OECD (Hg.) (2004). Biotechnology for Sustainable Growth and Development. Paris. Online verfügbar unter <https://web.archive.oecd.org/2012-06-15/158706-23536372.pdf>, zuletzt geprüft am 26.02.2024.
- OECD (Hg.) (2009): The Bioeconomy to 2030: Designing a Policy Agenda. 1. Aufl. s.l.: OECD. Online verfügbar unter <https://www.oecd.org/publications/the-bioeconomy-to-2030-9789264056886-en.htm>, zuletzt geprüft 26.02.2024
- Ortega y Gasset, José (1978): Betrachtungen über die Technik. In: José Ortega y Gasset (Hg.): Gesammelte Werke. 6 Bände. Stuttgart: Deutsche Verlagsanstalt (4), S. 7–69.
- Osterath, Brigitte (2017): August Hofmann and the chemists factory. Hg. v. chemistry world. Royal Society of Chemistry. Online verfügbar unter <https://www.chemistryworld.com/features/hofmanns-chemistry-factory/3007787.article#:~:text=Hoffman%20also%20joined%20the%20Chemical%20Society%20%28a%20precursor,London%20when%20visiting%20Germany%20on%20a%20summer%20vacation.>, zuletzt aktualisiert am 10.08.2017, zuletzt geprüft am 20.09.2021.
- Ott, Notburga (2019): Feministische Ökonomik als Gegenprogramm zur Standardökonomik: Kommentar zum Beitrag von Aysel Yollu-Tok und Fabiola Rodríguez Garzón. In: *List Forum für Wirtschafts- und Finanzpolitik* 44 (4), S. 763–766. <https://doi.org/10.1007/s41025-019-00134-7>.

- Otto, Klaus-Stephan; Speck, Thomas (Hg.) (2011): Darwin meets Business: Evolutionäre und bionische Lösungen für die Wirtschaft. 1. Aufl. Wiesbaden: Gabler.
- Paech, Nico (2009): Grundzüge einer Postwachstumsökonomie. Hg. v. postwachstumsoekonomie.de. Oldenburg. Online verfügbar unter <http://www.postwachstumsoekonomie.de/material/grundzuege/>, zuletzt geprüft am 15.11.2022.
- Pauli, Gunter (2010): The Blue Economy. 10 Jahre, 100 Innovationen, 100 Millionen Jobs. Landesausg. Berlin: Konvergenta Publishing.
- Pausenberger, Rudolf (2012): Schedelsche Weltchronik – ein mechanisches Modell. Hg. v. Physik der Renaissance Interaktive Wanderausstellung. CJT-Gymnasium Lauf. Online verfügbar unter <http://www.physik.de.rs/exponate/schedelsche-weltchronik>, zuletzt geprüft am 06.05.2020.
- Pearce, David W.; Turner, Robert Kerry (1994): Economics of natural resources and the environment. Baltimore: The Johns Hopkins Univ. Press.
- Perret, Thomas (2014): Technischer Fortschritt. Hg. v. Historisches Lexikon der Schweiz. Online verfügbar unter <https://hls-dhs-dss.ch/de/articles/013843/2014-09-11/>, zuletzt aktualisiert am 11.09.2014, zuletzt geprüft am 04.11.2022.
- Peuker, Birgit (2017): Das Naturbewusstsein der Naturwissenschaften. In: Jana Rückert-John (Hg.): Gesellschaftliche Naturkonzeptionen: Ansätze verschiedener Wissenschaftsdisziplinen. Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden, S. 149–171.
- Philp, Jim; Winickoff, David E. (2018): Realising the circular bioeconomy. Hg. v. OECD Organisation for Economic Cooperation and Development (60). Online verfügbar unter <https://www.oecd-ilibrary.org/content/paper/31bb2345-en>, zuletzt geprüft am 29.03.2022.
- Picht, Georg (1993a): Der Begriff der Natur und seine Geschichte. 3. Auflage. Stuttgart: Klett-Cotta.
- Picht, Georg (1993b): Geschichte und Gegenwart. Vorlesungen zur Philosophie der Geschichte. Stuttgart: Klett-Cotta (Vorlesungen und Schriften/Georg Picht).
- Pietsch, Christian (2013): Physis/Natur/Wesen (physis). In: Christian Schäfer (Hg.): Platon-Lexikon. Begriffswörterbuch zu Platon und der platonischen Tradition. 2., durchges. und bibliograf. aktualisierte Aufl. Darmstadt: WBG (Wissenschaftliche Buchgesellschaft).
- Planck, Max (1879): Über den zweiten Hauptsatz der mechanischen Wärmetheorie. Dissertation. Humboldt-Universität zu Berlin.
- Planck, Max (1949): Vorträge und Erinnerungen. Stuttgart: S. Hirzel Verlag. Online verfügbar unter <http://www.isau.de/id/zitate.html>, zuletzt geprüft am 27.01.2023.
- Platon (1855): Protagoras. In: Friedrich E. Schleiermacher (Hg.): Platons Werke. 3. Aufl. Berlin. Online verfügbar unter <http://www.opera-platonis.de/Protagoras.pdf>, zuletzt geprüft am 04.11.2022.
- Platon (1856): Timaios, bearbeitet. Nach der Übersetzung von Dr. Franz Susemihl in: Platon's Werke, vierte Gruppe, sechstes und siebentes Bändchen. Stuttgart. Online verfügbar unter <http://www.opera-platonis.de/Timaios.pdf>, zuletzt geprüft am 06.04.2021.
- Platon (1865): Parmenides. Nach der Übersetzung von Dr. Franz Susemihl in: Platon's Werke, dritte Gruppe, fünftes Bändchen. Stuttgart. Online verfügbar unter <http://www.opera-platonis.de/Parmenides.pdf>, zuletzt geprüft am 26.01.2023.
- Polke-Majewski, Karsten; Faigle, Philip (2014): Das Kongo-Dilemma. Hg. v. Zeit Online. Online verfügbar unter <https://www.zeit.de/wirtschaft/2014-06/kongo-bergbau-konfliktmineralien-dodd-frank-act>, zuletzt aktualisiert am 12.06.2014, zuletzt geprüft am 10.11.2022.
- Poser, Hans (2004): René Descartes. Eine Einführung. 2. Aufl. Stuttgart: Reclam (Reclams Universal-Bibliothek, 18286).
- Poser, Hans (2013): Joseph Alois Schumpeter: Business Cycles. A Theoretical, Historical and Statical Analysis of the Capitalis Process. In: Christoph Hubig, Alois Huning und Günter Ropohl (Hg.): Nachdenken über Technik: Die Klassiker der Technikphilosophie und neuere Entwicklungen. 3., neu bearb. und erw. Aufl., Darmstädter Ausg. Berlin: Ed. Sigma.

- Poser, Hans; Karafyllis, Nicole C. (2013): José Ortega y Gasset: Meditación de la técnica. In: Christoph Hubig, Alois Huning und Günter Ropohl (Hg.): Nachdenken über Technik: Die Klassiker der Technikphilosophie und neuere Entwicklungen. 3., neu bearb. und erw. Aufl., Darmstädter Ausg. Berlin: Ed. Sigma, S. 295–300.
- Potočnik, Janez (2005): Transforming life sciences knowledge into new, sustainable, eco-efficient and competitive products. Conference on Knowledge-based Bio-economy. Brüssel, 15.09.2005.
- Pothast, Thomas (2017): Haushaltende Naturverhältnisse. In: Thomas Kirchhoff, Nicole Christine Karafyllis, Dirk Evers, Brigitte Falkenburg, Myriam Gerhard, Gerald Hartung et al. (Hg.): Naturphilosophie. Ein Lehr- und Studienbuch. Tübingen, Stuttgart: Mohr Siebeck; UTB GmbH (utb-studi-e-book, 4769), S. 210–216.
- Potting, José; Hekkert, Marko; Worrell, Ernst; Hanemaaijer, Aldert (2017): Circular Economy: Measuring Innovation in the Product Chain. Policy Report, English translation of the report 'Circulaire economie: Innovatie meten in de keten' Netherlands Environmental Assessment Agency.
- Prakash, Siddharth; Gensch, Carl-Otto; Dehoust, Günter; Antony, Florian; Stuber-Rousselle, Kevin; Löw, Clara et al. (2022): Modell Deutschland Circular Economy. Machbarkeitsstudie im Auftrag des WWF Deutschland. Hg. v. WWF Deutschland, Öko-Institut e. V., Fraunhofer ISI und Freie Universität Berlin. Freiburg (Breisgau). Online verfügbar unter <https://www.wwf.de/fileadmin/fm-wwf/Publikationen-PDF/Unternehmen/Machbarkeitsstudie-Modell-Deutschland-CE-Endbericht.pdf>, zuletzt geprüft am 11.12.2022.
- Precht, Richard David (2015): *Erkenne die Welt. Eine Geschichte der Philosophie*. Originalausgabe. München: Goldmann (Eine Geschichte der Philosophie, 1).
- Precht, Richard David (2017): *Erkenne dich selbst*. 2. Aufl. München: Wilhelm-Goldmann-Verlag (Geschichte der Philosophie, 2).
- Precht, Richard David (2018): *Sei du selbst*. München: Wilhelm-Goldmann-Verlag (Geschichte der Philosophie, 3).
- Prieto-Sandoval, Vanessa; Jaca, Carmen; Ormazabal, Marta (2018): Towards a consensus on the circular economy. In: *Journal of Cleaner Production* 179, S. 605–615. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.12.224>.
- Prigogine, Ilya; Stengers, Isabelle; Griese, Friedrich (1993): *Dialog mit der Natur. Neue Wege naturwissenschaftlichen Denkens*. 7. Aufl., Neuausg. 1990, (2. Aufl. dieser Ausg.), 37. – 40. Tsd., (9. – 12. Tsd. dieser Ausg.). München: Piper (Serie Piper, 1181).
- Proske, Rüdiger (1970): *Der Mond*. Hamburg: Verlag Olde Hansen.
- PwC (Hg.) (2019): *The road to circularity. Why a circular economy is becoming the new normal*. PricewaterhouseCoopers B.V. (PwC). Niederlande. Online verfügbar unter <https://www.pwc.at/de/publikationen/klimawandel-nachhaltigkeit/pwc-circular-economy-study-2019.pdf>, zuletzt geprüft am 19.12.2022.
- PwC (Hg.) (2022a): *Circular Economy*. PricewaterhouseCoopers B.V. (PwC). Online verfügbar unter <https://www.pwc.de/de/nachhaltigkeit/circular-economy.html>, zuletzt geprüft am 23.12.2022.
- PwC (Hg.) (2022b): *Unternehmensinformationen Kompakt zusammengefasst*. PricewaterhouseCoopers B.V. (PwC). Online verfügbar unter <https://www.pwc.de/de/ueber-uns/unternehmensinformationen.html>, zuletzt geprüft am 23.12.2022.
- Rangel-Buitrago, Nelson; Neal, William; Williams, Allan (2022): The Plasticene: Time and rocks. In: *Marine Pollution Bulletin* 185, S. 114358. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2022.114358>.
- Rathmann, Joachim (2008): Kausalität in der Systemtheorie: Ein Problemaufriss. In: Heike Egner (Hg.): *Umwelt als System – System als Umwelt? Systemtheorien auf dem Prüfstand*. München: Oekom, S. 55–73.
- Ratter, Beate M.W.; Treiling, Thomas (2008): Komplexität – oder was bedeuten die Pfeile zwischen den Kästchen? In: Heike Egner (Hg.): *Umwelt als System – System als Umwelt? Systemtheorien auf dem Prüfstand*. München: Oekom, S. 23–38.

- Reheußner, Marion Christine (2006): *Feminine Gemeindefigur im Neuen Testament*. Doktorarbeit. Universität Passau, Passau. Katholisch-Theologische Fakultät, Lehrstuhl für Neutestamentliche Exegese. Online verfügbar unter https://opus4.kobv.de/opus4-uni-passau/frontdoor/deliver/index/docId/47/file/DissReheusser_06.12.06.pdf, zuletzt geprüft am 20.09.2021.
- Reinheimer, Hermann (1913): *Evolution by Co-Operation: A Study in Bio-Economics*. London: Kegan Paul, Trench, Trubner and Co. Online verfügbar unter <https://archive.org/details/evolutionbycoope01rein/page/n6/mode/2up>, zuletzt geprüft am 27.01.2022.
- Reske, Christoph (2011): *Schedelsche Weltchronik*. Hg. v. Historisches Lexikon Bayerns. Online verfügbar unter https://www.historisches-lexikon-bayerns.de/Lexikon/Schedelsche_Weltchronik, zuletzt aktualisiert am 11.04.2011, zuletzt geprüft am 06.07.2023.
- Revelle, Roger; et.al. (1965): *Restoring the Quality of Our Environment*. Hg. v. President's Science Advisory Committee, Panel on Environmental Pollution. Washington, D.C. Online verfügbar unter <https://www.climatefiles.com/climate-change-evidence/presidents-report-atmospher-carbon-dioxide/>, zuletzt geprüft am 07.11.2022.
- Richter, Anne-Maren (Hg.) (2014): *Technik und Lebenswirklichkeit: Philosophische und theologische Deutungen der Technik im Zeitalter der Moderne*. 1. Aufl. Stuttgart: Kohlhammer.
- Richter, Dirk (2005): *Das Scheitern der Biologisierung der Soziologie: Zum Stand der Diskussion um die Soziobiologie und anderer evolutionstheoretischer Ansätze*. In: *Kölner Zeitschrift für Soziologie und Sozialpsychologie* 57 (3), S. 523–542. Online verfügbar unter <https://link.springer.com/article/10.1007/s11577-005-0187-4>, zuletzt geprüft am 26.02.2024
- Rolf, Eckard (2005): *Metapherntheorien. Typologie – Darstellung – Bibliographie*. Berlin: De Gruyter (De Gruyter Lexikon). Online verfügbar unter <http://www.degruyter.com/doi/book/10.1515/9783110896459>.
- Ropohl, Günter (2009): *Allgemeine Technologie: Eine Systemtheorie der Technik*. s.l.: KIT Scientific Publishing. Online verfügbar unter <https://publikationen.bibliothek.kit.edu/1000011529>, zuletzt geprüft am 26.02.2024
- Ropohl, Günter (2013): *Karl Marx: Das Kapital, Grundrisse der Kritik der politischen Ökonomie, Zur Kritik der politischen Ökonomie*. In: Christoph Hubig, Alois Huning und Günter Ropohl (Hg.): *Nachdenken über Technik: Die Klassiker der Technikphilosophie und neuere Entwicklungen*. 3., neu bearb. und erw. Aufl., Darmstädter Ausg. Berlin: Ed. Sigma, S. 276–281.
- Rosnay, Joël de (1979): *Das Makroskop. Systemdenken als Werkzeug der Ökogesellschaft*. Reinbek b. Hamburg: Rowohlt Taschenbuch Verl. (rororo rororo-Sachbuch, 7264).
- Rousseau, Jean-Jacques (2019): *Emile oder Über die Erziehung*. Hg. v. Tim Zumhof. Ditzingen: Reclam (Reclams Universal-Bibliothek, Nr. 19393).
- Ruffing, Reiner (2021): *Einführung in die Geschichte der Philosophie*. 3., durchgesehene Auflage. Paderborn: Brill | Fink (UTB Philosophie, 2622).
- Saage, Richard (1999): *Utopie und Eros – zu Charles Fouriers „neuer sozialer Ordnung“*. In: *UTOPIE kreativ* (105), S. 68–80. Online verfügbar unter https://www.rosalux.de/fileadmin/rls_uploads/pdfs/105_Saage.pdf, zuletzt geprüft am 22.09.2021.
- Schally, Hugo-Maria (2020): *Introduction*. In: Sepp Eisenriegler (Hg.): *The circular economy in the European Union. An interim review*. Cham, Switzerland, S. 1–6.
- Scharf, Miriam; Scharf, Wolfgang; Scharf, Karl-Heinz (1997): *Biologie*. Hannover: Schroedel.
- Scheelhaase, Tanja; Zinke, Guido (2016): *Potenzialanalyse einer zirkulären Wertschöpfung im Land Nordrhein-Westfalen*. Hg. v. Kienbaum Management Consultants GmbH und EPEA Internationale Umweltforschung GmbH. Düsseldorf, Hamburg, Berlin. Online verfügbar unter https://broschuerenservice.nrw.de/default/shop/Potenzialanalyse_-_Bericht, zuletzt geprüft am 18.04.2023.
- Schiemann, Gregor (1996a): *Traditionslinien der Naturphilosophie*. In: Gregor Schiemann (Hg.): *Was ist Natur? Klassische Texte zur Naturphilosophie*. Orig.-Ausg. München: Dt. Taschenbuch-Verl. (dtv, 4697), S. 10–46.

- Schiemann, Gregor (Hg.) (1996b): Was ist Natur? Klassische Texte zur Naturphilosophie. Orig.-Ausg. München: Dt. Taschenbuch-Verl. (dtv, 4697).
- Schiemann, Gregor (2011): Natur – Kultur und ihr Anderes. In: Friedrich Jaeger und Burkhard Liebsch (Hg.): Handbuch der Kulturwissenschaften. Band 1: Grundlagen und Schlüsselbegriffe. Sonderausgabe. Stuttgart, Weimar: Verlag J.B. Metzler, S. 60–75. Online verfügbar unter https://www.philosophie.uni-wuppertal.de/fileadmin/philosophie/PDFs_allg/Schiemann/Aufs%C3%A4tze_neu/31Natur-Kultur_und_ihr_Anderes2.pdf, zuletzt geprüft am 08.07.2020.
- Schmid, Christian; Beyer-Fistrich, Maria (2021): Star Trek: Kein Geld, keine Sorgen? Wie und warum funktioniert eigentlich die Föderation? Hg. v. PCGames. Online verfügbar unter <https://www.pcgames.de/Star-Trek-Brands-138540/Specials/Kein-Geld-keine-Sorgen-Wie-und-warum-funktioniert-eigentlich-die-Foederation-1367735/>, zuletzt aktualisiert am 27.02.2021, zuletzt geprüft am 10.11.2022.
- Schmidt, Ninette (2012): Der Wandel des Weltbilds. Die Veränderung der mittelalterlichen Weltanschauung und Kartographie im Zuge der großen Entdeckungen. Studienarbeit. Universität Viadrina, Frankfurt Oder.
- Schneider, Birgit (2019): Mensch-Maschine-Schnittstellen in Technosphäre und Anthropozän. In: Kevin Liggieri und Oliver Müller (Hg.): Mensch-Maschine-Interaktion: Handbuch zu Geschichte – Kultur – Ethik. 1st ed. 2019, S. 95–105.
- Schramm, Engelbert (1997): Im Namen des Kreislaufs. Ideengeschichte der Modelle vom ökologischen Kreislauf. Diss., Techn. Hochsch. Darmstadt, 1995. Frankfurt am Main: IKO – Verl. für Interkulturelle Kommunikation (Forschungstexte des Instituts für Sozial-Ökologische Forschung (ISOE)).
- Schriefl, Anna (2019): Stoische Philosophie. Eine Einführung. Ditzingen: Reclam (Reclams Universal-Bibliothek).
- Schrödinger, Erwin (1929): Was ist ein Naturgesetz? In: *Naturwissenschaften* 17 (1), S. 9–11. <https://doi.org/10.1007/BF01505758>.
- Schubert, K.; Klein, M. (2018): Effizienz. Das Politiklexikon. 7. Aufl. Bonn. Online verfügbar unter <https://www.bpb.de/nachschlagen/lexika/politiklexikon/225598/effizienz>, zuletzt geprüft am 20.10.2020.
- Schubert, Klaus; Klein, Martina (2020): Naturrecht. In: Klaus Schubert und Martina Klein (Hg.): Das Politiklexikon. 7. Aufl. Bonn. Online verfügbar unter <https://www.bpb.de/kurz-knapp/lexika/politiklexikon/17897/naturrecht/>, zuletzt geprüft am 21.06.2023.
- Schulz-Schaeffer, Ingo (2000): Akteur-Netzwerk-Theorie. Zur Koevolution von Gesellschaft, Natur und Technik. In: Johannes Weyer und Jörg Abel (Hg.): Soziale Netzwerke. Konzepte und Methoden der sozialwissenschaftlichen Netzwerkforschung. München: Oldenbourg (Lehr- und Handbücher der Soziologie), S. 187–211. Online verfügbar unter <https://www.uni-due.de/imperia/md/content/soziologie/akteurnetzwerktheorie.pdf>, zuletzt geprüft am 23.04.2020.
- Schumpeter, Joseph Alois (1961): Konjunkturzyklen. Eine theoretische, historische und statistische Analyse des kapitalistischen Prozesses. 2 Bände. Göttingen: Vandenhoeck u. Ruprecht.
- Schweitzer, Eric (2010): Lebenszyklusmanagement investiver Produkt-Service Systeme. In: Jan C. Aurich (Hg.): Produkt-Service Systeme. Gestaltung und Realisierung. Berlin, Heidelberg: Springer, S. 7–14.
- Schwerdtfeger, Fritz (1975): Ökologie der Tiere, Bd. 3. Synökologie. Struktur, Funktion und Produktivität mehrartiger Tiergemeinschaften. Hamburg, Berlin: Verlag Paul Parey.
- Schwerin, M. (2009): Die Zucht hochleistender und gesunder Milchkühe – nur ein Traum? In: *Züchtungskunde* 81 (6), S. 389–396.
- scinexx (Hg.) (2004): Bedrohte Natur... Warum Naturschutz wichtig ist. scinexx das Wissensmagazin. Online verfügbar unter <https://www.scinexx.de/dossierartikel/bedrohte-natur/>, zuletzt aktualisiert am 13.01.2004, zuletzt geprüft am 30.01.2023.

- Seifert, Eberhard K. (1994): „Sustainability“ aus bioökonomischer Sicht. Wirtschaftsethische Implikationen einer neuen entwicklungspolitischen Leitidee. In: Karl Homann (Hg.): Theorie, Ordnungsfragen, internationale Institutionen. Berlin: Duncker & Humblot (Schriften des Vereins für Socialpolitik, Gesellschaft für Wirtschafts- und Sozialwissenschaften, N.F., 228,1), S. 173–210.
- Sheridan, Kathryn (2016): Making the Bioeconomy Circular: The Biobased Industries' Next Goal? In: *Industrial Biotechnology* 12 (6), S. 339–340. <https://doi.org/10.1089/ind.2016.29057.ksh>.
- Sillanpää, Mika; Ncibi, Chaker (2019): The circular economy. Case studies about the transition from the linear economy. London: Elsevier; Academic Press.
- Sisson, Jonathan (2023): Anthropocene. Hg. v. University of Leicester, Antropocen Working Group. Leicester. Online verfügbar unter <https://www.eurekalert.org/multimedia/569333>, zuletzt geprüft am 15.03.2021.
- Smith, Adam (1853): An Inquiry into the Nature and Causes of the Wealth of Nations. London: T. Nelson and sons. Online verfügbar unter <https://www.gutenberg.org/files/38194/38194-h/38194-h.htm>, zuletzt geprüft am 21.04.2023.
- Söllner, Fritz (1997): Die Ökologische Ökonomie: Ein neuer Ansatz zur Lösung der Umweltproblematik. In: *Wirtschaftsdienst* 77 (7), S. 423–428.
- Spaeth, Birgit: Der Weg zur Biointelligenz. In: *bild der wissenschaft spezial Biointelligenz*, S. 24–29.
- spektrum.de (Hg.) (1998): Huygens (Lexikon der Physik). Online verfügbar unter <https://www.spektrum.de/lexikon/physik/huygens/6988>, zuletzt geprüft am 03.09.2021.
- spektrum.de (1999): Naturgesetze. Heidelberg: Spektrum Akademischer Verlag. Online verfügbar unter <https://www.spektrum.de/lexikon/biologie/naturgesetze/45456>, zuletzt geprüft am 15.02.2023.
- spektrum.de (2008): Weltbild. Heidelberg: Springer-Verlag Deutschland GmbH. Online verfügbar unter <https://www.spektrum.de/lexikon/philosophie/weltbild/2208>, zuletzt geprüft am 14.01.2021.
- Spiegelman, Jonah (2003): Beyond the Food Web Connections to a Deeper Industrial Ecology. In: *Journal of Industrial Ecology* 7 (1), S. 17–23. <https://doi.org/10.1162/108819803766729177>.
- Sprenger, Florian (2018): Das Außen des Innen: Latours Gaia. In: Alexander Friedrich, Petra Löffler, Niklas Schrape und Florian Sprenger (Hg.): Ökologien der Erde. Zur Wissenschaftsgeschichte und Aktualität der Gaia-Hypothese. Lüneburg: meson press (Digital cultures series), S. 63–94.
- Sprenger, Florian (2019): Epistemologien des Umgebens. Zur Geschichte, Ökologie und Biopolitik künstlicher environments. Bielefeld: transcript (Edition Medienwissenschaft).online verfügbar: <https://www.transcript-verlag.de/978-3-8376-4839-3/epistemologien-des-umgebens/>, zuletzt geprüft 26.02.2024
- Sprenger, Florian (2020): Zirkulationen des Kreises. Von der Regulation zur Adaption. In: *Zeitschrift für Medienwissenschaft* 12 (2), S. 41–54. <https://doi.org/10.25969/mediarep/14832>.
- Stache, Christian: Kapitalismus und Naturzerstörung. Dissertation. Online verfügbar unter <https://www.ssoar.info/ssoar/handle/document/58906>, zuletzt geprüft 26.02.2024
- Stahel, Walter R. (2010): The Performance Economy. 2nd Edition. London, s.l.: Palgrave Macmillan UK.
- Stahel, Walter R. (2016): The circular economy. In: *Nature* 531 (7595), S. 435–438. <https://doi.org/10.1038/531435a>.
- Stahel, Walter R. (2020): History of the Circular Economy. The Historic Development of Circularity and the Circular Economy. In: Sepp Eisenriegler (Hg.): The circular economy in the European Union. An interim review. Cham, Swizerland, S. 7–20.
- Steffen, Will; Broadgate, Wendy; Deutsch, Lisa; Gaffney, Owen; Ludwig, Cornelia (2015): The trajectory of the Anthropocene: The Great Acceleration. In: *The Anthropocene Review* 2 (1), S. 81–98. <https://doi.org/10.1177/2053019614564785>.

- Stegmann, Paul; Londo, Marc; Junginger, Martin (2020): The circular bioeconomy: Its elements and role in European bioeconomy clusters. In: *Resources, Conservation & Recycling: X* 6, S. 1–17. <https://doi.org/10.1016/j.rcrx.2019.100029>.
- Steininger, Benjamin (2017): Raffinerie und Katalyse. In: Jürgen Renn und Bernd Scherer (Hg.): *Das Anthropozän. Zum Stand der Dinge*. Zweite Auflage. Berlin: Matthes & Seitz, S. 210–225.
- Stimmer, Florian (2018): Über die Heldenreise. Kapitel 7 Zeitlos gute Erzählungen. Online verfügbar unter <https://kapitel7.de/ueber-die-heldenreise/>, zuletzt aktualisiert am 27.06.2018, zuletzt geprüft am 21.12.2022.
- Stitz, Michael (2011): Die Natur als Bedrohung. Bucerius Kunst Forum. Hg. v. sh:z Schleswig-Holsteinischer Zeitungsverlag. Online verfügbar unter <https://www.shz.de/deutschland-welt/kultur/artikel/die-natur-als-bedrohung-41148768>, zuletzt aktualisiert am 04.06.2011, zuletzt geprüft am 26.01.2023.
- StmUV; THD (Hg.) (2020): Projektverbund BayBionik – Von der Natur zur Technik. Bayerisches Staatsministerium für Umwelt und Verbraucherschutz (StmUV); THD – Technische Hochschule Deggendorf. Online verfügbar unter <https://www.stmuv.bayern.de/themen/biotechnologie/bionik/baybionik.htm>, zuletzt geprüft am 20.10.2020.
- Strebel, Heinz (2015): Das Konzept des regionalen Verwertungsnetzes. In: Erich Schwarz und Heinz Strebel (Hg.): *Kreislauforientierte Unternehmenskooperationen. Stoffstrommanagement durch innovative Verwertungsnetze*: Oldenbourg Wissenschaftsverlag (Lehr- und Handbücher der ökologischen Unternehmensführung und Umweltökonomie), S. 1–10.
- Sudau, Judith (2011): Jules Verne zwischen technischem Optimismus und Gesellschaftskritik am Beispiel von 20000 Meilen unter den Meeren. Seminararbeit. Universität Duisburg-Essen, Essen. Fakultät für Geisteswissenschaften und Germanistik. Online verfügbar unter <https://www.grin.com/document/198158>, zuletzt geprüft am 15.11.2022.
- Tansley, Arthur George (1935): The Use and Abuse of Vegetational Concepts and Terms. In: *Ecology* 16 (3), S. 284–307. Online verfügbar unter <http://www.jstor.org/stable/1930070>, zuletzt geprüft am 05.09.2022.
- Taylor, Peter J.; Blum, Ann S. (1991): Ecosystem as circuits: diagrams and the limits of physical analogies. In: *Biology and Philosophy* 6 (2), S. 275–294. <https://doi.org/10.1007/BF02426841>.
- Teit, James A. (1919): Tahtan Tales. In: *Journal of American Folk-Lore*, S. 198–250. Online verfügbar unter <https://archive.org/details/jstor-534980/page/n1/mode/2up>, zuletzt geprüft am 06.04.2023.
- Temmes, Armi; Peck, Philip (2020): Do forest biorefineries fit with working principles of a circular bioeconomy? A case of Finnish and Swedish initiatives. In: *Forest Policy and Economics* 110. <https://doi.org/10.1016/j.forpol.2019.03.013>.
- Tenbruck, Friedrich H. (1989): Die kulturellen Grundlagen der Gesellschaft: Der Fall der Moderne. Wiesbaden: VS Verlag für Sozialwissenschaften.
- Tenorth, Heinz-Elmar (2006): Rousseaus „Emile“ – oder der Beginn moderner Erziehungsreflexion., in: Themenportal Europäische Geschichte, 2006, <www.europa.clío-online.de/essay/id/fdae-1361>. Hg. v. Themenportal Europäische Geschichte. Online verfügbar unter www.europa.clío-online.de/essay/id/fdae-1361, zuletzt geprüft am 26.10.2022.
- The Blue Economy (Hg.) (2021): Principles. <https://www.theblueeconomy.org/principles.html>, zuletzt geprüft am 05.10.2021, nicht mehr online verfügbar, 26.02.2024
- The Conversation (Hg.) (2013): Jonathan West. Online verfügbar unter <https://theconversation.com/profiles/jonathan-west-19359>, zuletzt aktualisiert am 29.01.2013, zuletzt geprüft am 02.03.2022.
- The White House (2012): National Bioeconomy Blueprint. Washington DC, online verfügbar: https://obamawhitehouse.archives.gov/sites/default/files/microsites/ostp/national_bioeconomy_blueprint_april_2012.pdf, zuletzt geprüft 26.02.2024

- Thiel-Dirksen, Claudia (2018): Schöne neue Plastikwelt – zur semantisch-lexikalischen Beschreibung plastifizierter Wörter am Beispiel von „Kommunikation“ und „Frustration“: universaar. Online verfügbar unter <https://publikationen.sulb.uni-saarland.de/bitstream/20.500.11880/31008/1/SchoeneuePlastikwelt.pdf>, zuletzt geprüft am 25.08.2021.
- Thienemann, A.; Kieffer, J. J. (1916): Schwedische Chironomiden. In: *Archiv für Hydrobiologie Supplements 2*, S. 483–554.
- tierchenwelt.de (Hg.) (2023): Mistkäfer. Online verfügbar unter <https://www.tierchenwelt.de/kaefer/2134-mistkaefer.html>, zuletzt geprüft am 02.05.2023.
- Tillich, Paul (1962): Die verlorene Dimension: Not u. Hoffnung unserer Zeit. [1. – 15. Tsd.]. Hamburg: Furcher-Verl. (Stundenbücher, 9).
- Tittor, Anne (2020): Unschöne Nebenwirkungen. Globale Biomasseproduktion. In: Jakob Radloff (Hg.): *Bioökonomie. Weltformel oder Brandbeschleuniger?* München: Oekom (Politische Ökologie), S. 71–76.
- Toepfer, Georg (2011a): Biosphäre. In: Georg Toepfer (Hg.): *Historisches Wörterbuch der Biologie 1. Geschichte und Theorie der biologischen Grundbegriffe: Band 1: A – Ga.* Stuttgart, Weimar: Verlag J.B. Metzler, S. 296–304.
- Toepfer, Georg (2011b): Biozönose. In: Georg Toepfer (Hg.): *Historisches Wörterbuch der Biologie 1. Geschichte und Theorie der biologischen Grundbegriffe: Band 1: A – Ga.* Stuttgart, Weimar: Verlag J.B. Metzler, S. 320–343.
- Toepfer, Georg (2011c): Evolution. In: Georg Toepfer (Hg.): *Historisches Wörterbuch der Biologie 1. Geschichte und Theorie der biologischen Grundbegriffe: Band 1: A – Ga.* Stuttgart, Weimar: Verlag J.B. Metzler, S. 481–539.
- Toepfer, Georg (2011d): Funktion. In: Georg Toepfer (Hg.): *Historisches Wörterbuch der Biologie 1. Geschichte und Theorie der biologischen Grundbegriffe: Band 1: A – Ga.* Stuttgart, Weimar: Verlag J.B. Metzler, 644–692.
- Toepfer, Georg (2011e): Ökologie. In: Georg Toepfer (Hg.): *Historisches Wörterbuch der Biologie 2. Geschichte und Theorie der biologischen Grundbegriffe: Band 2: Ge – O.* Stuttgart, Weimar: Verlag J.B. Metzler, S. 681–714.
- Toepfer, Georg (2011f): Ökosystem. In: Georg Toepfer (Hg.): *Historisches Wörterbuch der Biologie 2. Geschichte und Theorie der biologischen Grundbegriffe: Band 2: Ge – O, Bd. 2.* Stuttgart, Weimar: Verlag J.B. Metzler, S. 715–745.
- Toepfer, Georg (2011g): Rolle, ökologische. In: Georg Toepfer (Hg.): *Historisches Wörterbuch der Biologie 3. Geschichte und Theorie der biologischen Grundbegriffe: Band 3: P-Z. 3 Bände.* Stuttgart, Weimar: Verlag J.B. Metzler (3), S. 203–210.
- Toyka-Seid, Christiane; Schneider, Gerd (2022): *Aufklärung. Das junge Politik-Lexikon.* Hg. v. Bundeszentrale für politische Bildung BpB. Online verfügbar unter <https://www.bpb.de/kurzknapp/lexika/das-junge-politik-lexikon/319867/aufklaerung/>, zuletzt geprüft am 04.11.2022.
- Trinn, Christoph (2015): Grundlegung einer thermodynamischen Systemtheorie. In: *Konflikt und Komplexität: Die Intensität innerstaatlicher Gewaltkonflikte in systemtheoretischer Perspektive.* Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden, S. 91–194.
- Turowski, Jan; Mikfeld, Benjamin (2013): *Gesellschaftlicher Wandel und politische Diskurse. Überlegungen für eine strategieorientierte Diskursanalyse.* Hg. v. denkwerk demokratie. Hans Böckler Stiftung. Online verfügbar unter https://www.denkwerk-demokratie.de/wp-content/uploads/2013/10/DD_Werkbericht_3.pdf, zuletzt geprüft am 16.12.2022.
- UC (Hg.) (2023): Prof. Jonathan Cullen. University of Cambridge, Department of Engineering. Online verfügbar unter <http://www.eng.cam.ac.uk/profiles/jmc99>, zuletzt geprüft am 19.07.2023.
- Umweltbundesamt (UBA) (Hg.) (2019): Rebound-Effekte. Online verfügbar unter <https://www.umweltbundesamt.de/themen/abfall-ressourcen/oekonomische-rechtliche-aspekte-der-rebound-effekte>, zuletzt aktualisiert am 17.09.2019, zuletzt geprüft am 26.06.2023.
- Umweltbundesamt (UBA) (Hg.) (2021): *Gesellschaftliche Kosten von Umweltbelastungen.* Online verfügbar unter <https://www.umweltbundesamt.de/daten/umwelt-wirtschaft/gesellschaftliche-kosten-von-umweltbelastungen>, zuletzt aktualisiert am 10.08.2021, zuletzt geprüft am 13.11.2020.

- United Nations Conference on Trade and Development – Intellectual Property Unit (Hg.) (1980): Diamond v. Chakrabarty, 447 U.S. 303 (1980). Archived (PDF) from the original on 2021-05-03. Retrieved October 3, 2021. Archived (PDF) from the original on 2021-05-03. Retrieved October 3, 2021. Online verfügbar unter https://unctad.org/ippcaselaw/sites/default/files/ippcaselaw/2020-12/Diamond%20v.%20Chakrabarty%2C%20447%20U.S.%20Supreme%20Court%20%20303%20%281980%29_0.pdf, zuletzt geprüft am 11.03.2022.
- United Nations (UN) (Hg.) (2022): The 17 Goals. Online verfügbar unter <https://sdgs.un.org/goals>, zuletzt geprüft am 12.12.2022.
- Valentin, Karl (2013): Die Zukunft war früher auch besser. Kuriose Sprüche & Bilder. 2. Aufl. Rosenheim: Rosenheimer Verlagshaus.
- van Treeck, Till (2017): Zur historischen Entwicklung von Neoklassik und Keynesianismus. Hg. v. Bundeszentrale für politische Bildung BpB. Bonn. Online verfügbar unter <https://www.bpb.de/themen/wirtschaft/schuldenkrise/239934/zur-historischen-entwicklung-von-neoklassik-und-keynesianismus/>, zuletzt aktualisiert am 09.06.2017, zuletzt geprüft am 22.09.2022.
- VDI-Blog (Hg.) (2016): Bionik. Die Natur als Vorbild der Technik. Verein Deutscher Ingenieure e. V. VDI. Online verfügbar unter <https://blog.vdi.de/die-natur-als-vorbild-der-technik>, zuletzt aktualisiert am 26.07.2016, zuletzt geprüft am 30.01.2023.
- Vereinte Nation (UNO) (Hg.) (2022): UN-Bevölkerungsprognose: Wächst die Weltbevölkerung nur noch bis 2040? Online verfügbar unter <https://unric.org/de/weltbevoelkerung28032023/>, zuletzt geprüft am 23.06.2023.
- Vester, Frederic (1991): Neuland des Denkens. Vom technokratischen zum kybernetischen Zeitalter. 7. Aufl. München: Dt. Taschenbuch-Verl. (dtv Sachbuch, 10220).
- Vincent, F. V. (2002): Survival of the cheapest. In: *Materials Today* 5 (12), S. 28–41. Online verfügbar unter <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1369702102012373>, zuletzt geprüft am 20.10.2020.
- Vogler, Christopher (2007): Die Odyssee des Drehbuchschreibers. Über die mythologischen Grundmuster des amerikanischen Erfolgskinos. 5., aktual. und erw. Aufl. Frankfurt am Main: Zweitausendeins.
- Vogt, Markus (2019): Bioökonomie. Verlag Herder GmbH (Staatslexikon). Online verfügbar unter <https://www.staatslexikon-online.de/Lexikon/Bio%C3%B6konomie>, zuletzt aktualisiert am 22.10.2019, zuletzt geprüft am 06.08.2021.
- Vollmer, Gerhard (1981): Evolutionäre Erkenntnistheorie. Angeborene Erkenntnisstrukturen im Kontext von Biologie, Psychologie, Linguistik, Philosophie und Wissenschaftstheorie. 3., verb. Aufl. Stuttgart: Hirzel.
- Vollmer, Gerhard (1995): Biophilosophie. Stuttgart: Reclam (Universal-Bibliothek, 9386).
- Wagner, Hans-Günter (2015): Bioökonomie – Über die Pervertierung eines grünen Paradigmas. In: *Zeitschrift für Sozialökonomie* 52 (186/187), S. 57–68. Online verfügbar unter file:///C:/Users/ma/Downloads/Hans-Guenter%20Wagner_%20Biooekonomie%20-%20Ueber%20die%20Pervertierung%20eines%20gruenen%20Paradigmas.pdf, zuletzt geprüft am 09.06.2020.
- Wautelet, Thibaut (2018): The Concept of Circular Economy: Its Origins and Its Evolution. Working paper, Unpublished. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.17021.87523>.
- WBGU (2011): Welt im Wandel: Gesellschaftsvertrag für eine Große Transformation; [Hauptgutachten]: Wissenschaftlicher Beirat Globale Umweltveränderungen. 2., veränd. Aufl. Berlin: Wiss. Beirat der Bundesregierung Globale Umweltveränderungen (WBGU). Online verfügbar unter <http://www.wbgu.de/hauptgutachten/hg-2011-transformation/>.
- Weber, Andreas (2010): Zwischen Biommaschine, Artenkollaps und Wachstumswahn: Was ist der Irrtum in unserem Bild vom Leben? In: Anna M. Wobus (Hg.): Der Begriff der Natur. Wandlungen unseres Naturverständnisses und seine Folgen. In: Anna M. Wobus (Hg.): Der Begriff der Natur. Wandlungen unseres Naturverständnisses und seine Folgen; Gaterslebener Begegnung 2009. Stuttgart: Wiss. Verl.-Ges (Nova acta Leopoldina, N.F., 376 = Bd. 109), S. 25–44.

- Weber, Heike (2020): Zeit- und verlustlos? Der Recycling-Kreislauf als ewiges Heilsversprechen. In: *Zeitschrift für Medienwissenschaft* 12 (23 Zirkulation), S. 20–32. <https://doi.org/10.25969/mediarep/14821>.
- Weber, Thomas; Stuchtey, Martin (Hg.) (2019a): Deutschland auf dem Weg zur Circular Economy – Erkenntnisse aus europäischen Strategien (Vorstudie). München.
- Weiss, Hans (2016): Wie die Sprache Werthaltungen erschließt. Gastkommentar. In: *Neue Zürcher Zeitung*, 17.10.2016 (234), S. 10. Online verfügbar unter <https://sprachkompass.ch/assets/flaWhNWoxkOkES1rjHOVs0E/gastkommentar-in-der-neuen-zuercher-zeitung-vom-17-oktober-2016.pdf>, zuletzt geprüft am 31.03.2021.
- Werkstoff Verlag (Hg.) (2018): Der Mensch als Industriepalast. Online verfügbar unter <http://www.werkstoff-verlag.de/publikationen/dermenschalsindustriepalast/>, zuletzt geprüft am 18.03.2018.
- Wiarda, J. M. (2017): Wie wissenschaftlich ist die Gender-Forschung? Hg. v. spektrum.de. Heidelberg. Online verfügbar unter <https://www.spektrum.de/news/wie-wissenschaftlich-ist-die-gender-forschung/1511235>, zuletzt aktualisiert am 12.10.2017, zuletzt geprüft am 02.11.2020.
- Wikipedia (Hg.) (2006): Einfacher Wirtschaftskreislauf. Online verfügbar unter https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Einfacher_Wirtschaftskreislauf.png, zuletzt aktualisiert am 03.04.2006, zuletzt geprüft am 12.09.2022.
- Wikipedia (Hg.) (2021): Verkehrsinsel. Online verfügbar unter <https://de.wikipedia.org/wiki/Verkehrsinsel>, zuletzt aktualisiert am 11.01.2021, zuletzt geprüft am 01.09.2021.
- Williams, Mark; Zalasiewicz, Jan; Haff, P. K.; Schwägerl, Christian; Barnosky, Anthony D.; Ellis, Erle C. (2015): The Anthropocene biosphere. In: *The Anthropocene Review* 2 (3), S. 196–219. <https://doi.org/10.1177/2053019615591020>.
- Winkler, Petra (2019): Storytelling für Dummies. Weinheim: Wiley.
- Winner, Langdon (2001): The whale and the reactor: A search for limits in an age of high technology. [Nachdr.]. Chicago: Univ. of Chicago Press.
- Wolperdinger, Markus; Bauernhansl, Thomas (2021). Die Biologische Transformation der Produktion – Einführung einer biointelligenten Wertschöpfung. In: Thomas Marzi, Hans Werner Ingensiep und Heike Baranzke (Hg.): Biologische Transformation. Interdisziplinäre Grundlagen für die angewandte Forschung. Oberhausen: Verlag Karl Maria Laufen, S. 15–26.
- Wood, Robert; Nagpal, Radhika; Wei, Gu-Yeon (2013): Künstliche Bienen. Hg. v. spektrum.de. Online verfügbar unter <https://www.spektrum.de/magazin/kuenstliche-bienen/1194972>, zuletzt aktualisiert am 21.06.2013, zuletzt geprüft am 19.02.2023.
- World Wildlife Fund (WWF) (Hg.) (2022): Das „Modell Deutschland Circular Economy“. Online verfügbar unter <https://www.wwf.de/zusammenarbeit-mit-unternehmen/circular-economy/modell-deutschland-circular-economy>, zuletzt aktualisiert am 25.11.2022, zuletzt geprüft am 03.12.2022.
- Zahavi, Dan (2010): Phänomenologie für Einsteiger. 1. Aufl. Paderborn: Fink (UTB Philosophie, 2935).
- Zahrnt, Heinz (2002): Die Sache mit Gott. Die protestantische Theologie im 20. Jahrhundert. 4. Aufl. München: Piper.
- Zalasiewicz, Jan (2017): Die Einstiegsfrage: Wann hat das Anthropozän begonnen? In: Jürgen Renn und Bernd Scherer (Hg.): Das Anthropozän. Zum Stand der Dinge. Zweite Auflage. Berlin: Matthes & Seitz, S. 160–180.
- ZDF (Hg.) (2019): Mondlandung als Medienereignis. Millionen Fernsehzuschauer waren fasziniert. ZDF. Online verfügbar unter <https://www.zdf.de/nachrichten/heute/der-adler-ist-gelandet-und-millionen-guckten-zu-100.html>, zuletzt aktualisiert am 21.07.2019, zuletzt geprüft am 16.06.2020 inzwischen nicht mehr verfügbar, 26.02.2024
- Zeit Online (Hg.) (2014): Schlachthof: Fleischindustrie beutet osteuropäische Arbeiter systematisch aus. Online verfügbar unter <https://www.zeit.de/wirtschaft/2014-12/schlachthof-fleisch-industrie-arbeiter-osteuropa-ausbeutung>, zuletzt aktualisiert am 10.12.2014, zuletzt geprüft am 10.11.2022.

- Zoglauer, Thomas (1994): Modellübertragungen als mittel interdisziplinärer Forschung. In: Wolfgang Maier und Thomas Zoglauer (Hg.): *Technomorphe Organismuskonzepte. Modellübertragungen zwischen Biologie und Technik*. Stuttgart-Bad Cannstatt: Frommann-Holzboog (Problemata, 128), S. 12–24.
- Zweig, Stefan (2020): *Die Welt von Gestern. Erinnerungen eines Europäers*. Überarbeitete Neuausgabe. Hg. v. Oliver Matuschek. Frankfurt am Main: FISCHER Taschenbuch (Fischer Klassik).
- Zwiers, Jakob; Hackfort, Sarah; Büttner, Lisa (2020): *Ökonomien der Transformation. Ansätze zukünftigen Wirtschaftens*. Hg. v. WWF Deutschland. Berlin. Online verfügbar unter <https://digital.zlb.de/viewer/metadata/34659137/1/>, zuletzt geprüft am 26.02.2024.