

Ein interdisziplinärer Diskurs  
zum Thema

R E G  
U L A  
T I O N

**Liste der Autoren**

Hermann Auernhammer, Martin Grambow, Michael von Hauff,  
Alois Heissenhuber, Brigitte Helmreich, Werner Lang, Anastassia Makarieva,  
Klaus Mainzer, Holger Magel, Helmut Milz, Wolfram Mauser, Ortwin Renn,  
Yonghui Song, Rao Surampalli, Markus Vogt, Mirka Wilderer, Peter Wilderer

*cover design by carolin*

### **Nota bene**

Für den Inhalt der Beiträge zu dem hier vorliegenden Werk sind die namentlich genannten Autoren selbst verantwortlich.

Im Rahmen der Erarbeitung dieses Werks wurde gezeigt, dass das Dahlem-Konferenzen-Format auch ohne die übliche Präsenzplicht durchführbar ist.

Die persönliche Anwesenheit der Autoren und der unmittelbare Diskurs hätte einen noch tiefgreifenderen Austausch von Wissen und Erfahrungen allerdings wesentlich begünstigt.

# Denkschrift

## Biotischen Selbst-Regulation: Model für anthropogene Systeme?

### Leitmotiv

*Weisheit bedeutet nicht, sich von der Natur abzuwenden,  
sondern sich von ihr leiten zu lassen*

Seneca (58 n.Chr.), in seiner Schrift "Vom glücklichen Leben"

### Wissenschaftlicher Mentor

Wolfgang Haber

### Wissenschaftliche Leitung

Peter Wilderer

Martin Grambow

2024

## Vorwort des Herausgebers

Als Institute for Earth System Preservation (IESP) der Europäischen Akademie der Wissenschaften und Künste (EASA) freuen wir uns, die folgende Denkschrift herauszugeben. Wir danken ausdrücklich Herrn Peter Wilderer, Gründer IESP, für seine Initiative und sein unermüdliches Eintreten für die Entstehung dieser Schrift.

Die Frage, der sich die Denkschrift nähert, nämlich Regulierungsabläufe der Natur als mögliches Vorbild für unseren Umgang mit unserem Planeten in Betracht zu ziehen, ist von fundamentaler Bedeutung für unser Überleben und „ein dickes Brett“. Dies bedarf einer gründlichen intellektuellen Auseinandersetzung unter Beteiligung aller Wissenschaften, und ist damit in der EASA gut verortet.

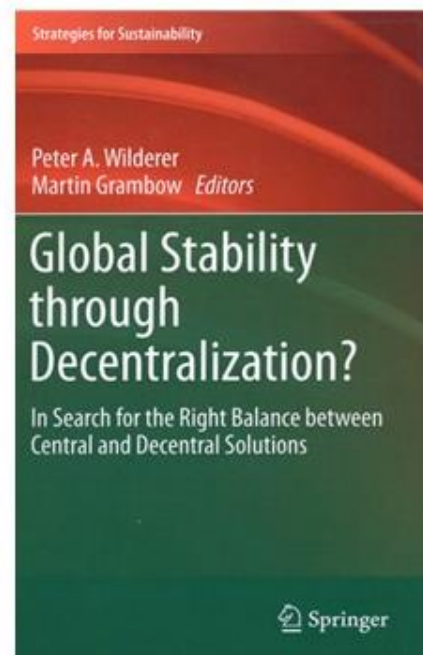
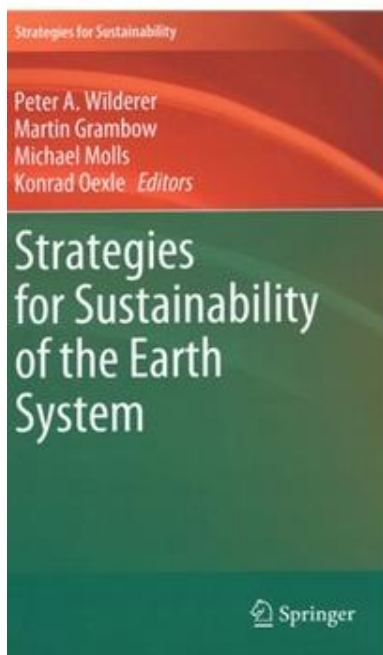
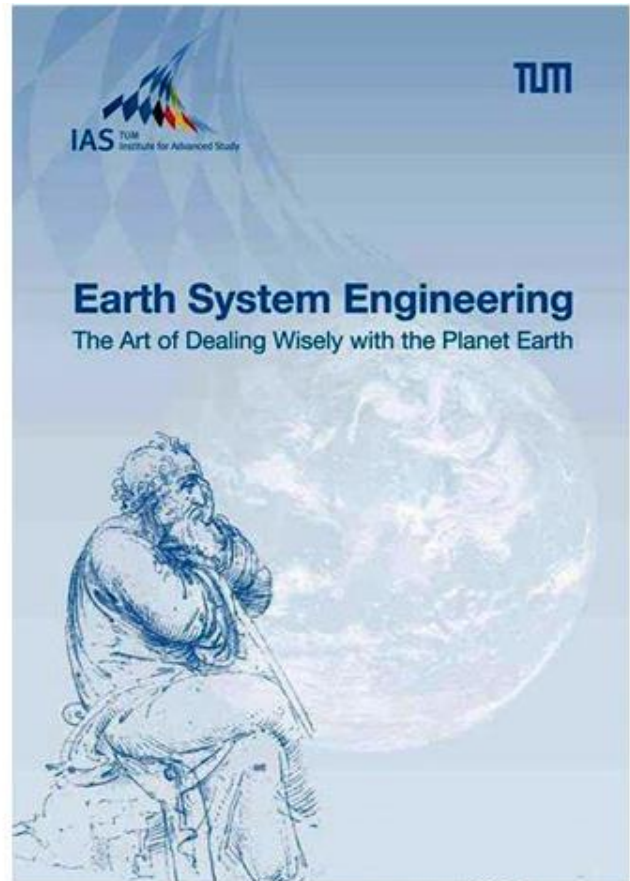
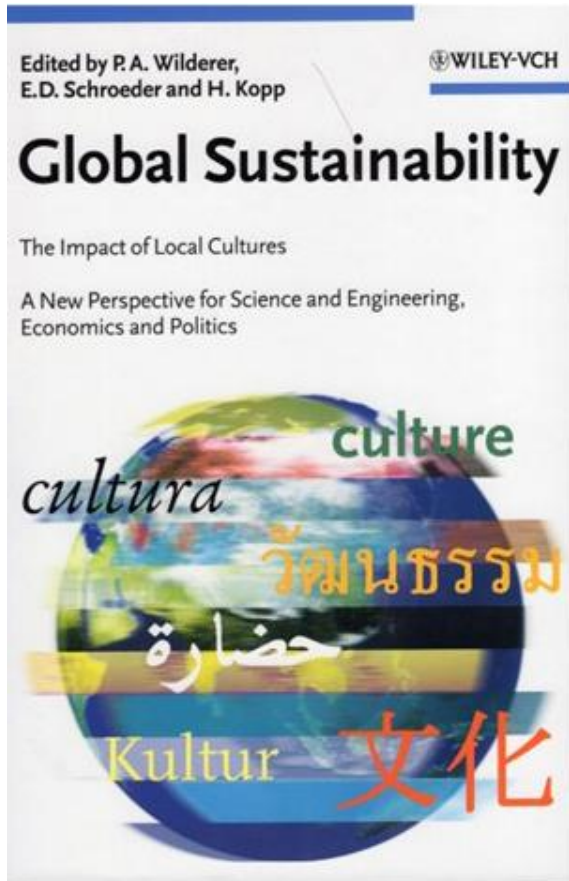
Die Beiträge entwerfen auf hohem Niveau ein erstes Bild von der Dimensionalität des Themas. Wir stehen vor der epochalen Aufgabe, um die angesprochenen, vielen weiteren Aspekte zu einem Gesamtbild des Anthropozäns zu vereinen, und auf Grundlage der Natur auch das Überleben der Menschheit zu sichern.

Ein Anfang ist gemacht! Er macht neugierig, er lädt ein zur Beteiligung, zum Diskurs, zur Vertiefung und zur Kontroverse in der EASA und darüber hinaus.

Der Vorstand des IESP

*Prof. Dr. Michael von Hauff (Vorstandsvorsitzender), Prof. Dr. Klaus Mainzer (ex officio  
Vorstandsmitglied), Dr. Martin Steger, Prof. Dr. Jörg E. Drewes  
Prof. Dr. Wolfram Mauser*

**Auswahl der bisherigen Themen,  
die von IESP in Kooperation mit dem TUM-IAS bearbeitet wurden.**



# Inhaltsverzeichnis

<b>Editorial</b>		8
<b>Beispiele für die biotische Selbst-Regulation</b>		
Einführung	Wilderer, P.	11
Bäume können mehr als nur CO <sub>2</sub> speichern	Rezension	13
Dynamische Möglichkeiten der menschlichen Selbstregulation	Milz, H	15
<b>Leitlinien für die Regulation anthropogener Systeme</b>		
Autopoiesis und die ethische Maxime der Retinität	Vogt, M.	19
Digitale Modellierung der Selbstregulation komplexer dynamischer Systeme: Was können wir daraus lernen?	Mainzer, K.	23
Systemische Risiken und Polykrisen: Die Notwendigkeit für einen integrierten Ansatz	Renn, O.	26
Vielfalt des Denkens zur Regulierung menschlicher Systeme	Wilderer, M.	30
Zu einem besseren Verständnis des Erdsystems durch ein erweitertes Modell des Anthropozäns und die daraus abgeleiteten Regeln für eine angemessene Reaktion.	Grambow, M.	34
Warum es dringend notwendig ist, den Schutz der bestehenden Naturwälder positiv anzugehen	Makariewa A.	39
<b>Erfahrungen aus der Praxis und Vorschläge für ein Umdenken</b>		
Fortschrittsdenken in der Ökonomie	v. Hauff, M.	46
Bedeutung des Gebäudesektors zur Erhaltung der Funktionsfähigkeit des Erdsystems	Lang, W.	49
Nachhaltige Bewirtschaftung von Regenabflüssen in versiegelten Gebieten	Helmreich, B.	54

Gedanken und Vorschläge für eine regelbasierte und nachhaltige Landwirtschaft	Heißenhuber, A.	57
Innovative Ansätze zur Regulierung der modernen Landwirtschaft	Auernhammer, H.	60
Vom Homo destruktor zum Homo constructor: Rezension eines Buchs von Werner Bätzing	Magel, H.	66
Ko-Evolution statt Herrschaft: Nicht die Technik gefährdet das Erdsystem, sondern unser Umgang mit ihm!	Mauser, W.	70
Naturnahe Abwasserbehandlungssysteme für häusliches Abwasser – Eine Botschaft aus Indien	Surampalli, R.	75
Strategische Überlegungen zum Umgang mit Erdkrisen – Eine Botschaft aus China	Song, Yonghui	81
Resilience Thinking und die Bedeutung von Adaptionenzyklen	Wilderer, P.	84
<b>Synthese</b>		<b>88</b>
<b>Handlungsempfehlungen</b>		<b>91</b>
<b>Verzeichnis der Abkürzungen</b>		<b>94</b>

## Editorial

Die Frage, ob die biotische Selbstregulation als Modell für anthropogene Systeme in Frage kommt, kann nach kritischer Betrachtung der in diesem Sammelwerk zusammengestellten Beiträge mit einem "Ja, aber" beantwortet werden.

Der Mensch ist im Prinzip Teil der belebten Natur und gleichzeitig – so unser Verständnis - ein Fraktal der Funktionsweise der Erdsysteme. Unser Körper reagiert auf innere und äußere Anforderungen in einer natürlich selbstregulierten Weise. Es gibt also keinen Grund, nicht davon auszugehen, dass die biotische Selbstregulation auch auf den menschlichen Körper übertragbar ist. Die Übertragung der biotischen Selbstregulierung von Ökosystemen auf soziale oder sogar wirtschaftliche und staatliche Systeme ist jedoch vielschichtiger, als auf den ersten Blick anzunehmen wäre. In der belebten Natur sind gesellschaftliche Systeme, wie zum Beispiel Bienenvölker, ebenfalls selbstreguliert. Aber in den vom Menschen geschaffenen Gesellschaftssystemen beruht die Regulierung auf anderen, nämlich anthropologischen Voraussetzungen. Im Gegensatz zu anderen Lebewesen ist der Mensch in seinem Verhalten durch seinen eigenen freien Willen und durch ein hohes Maß an Gestaltungsfreiheit und Weltoffenheit gekennzeichnet. Hinzu kommt seine Fähigkeit, Wissen zu erzeugen, weiterzugeben und zur Veränderung der Umwelt praktisch einzusetzen.

Der Mensch schafft durch seine Fähigkeit, dem eigenen Handeln Sinn und Bedeutung zuzuschreiben, eigene kulturelle Biotope, wie Städte, Industriearaele, landwirtschaftliche Produktionsstätten, Erholungsflächen und vieles mehr. Diese Biotope hängen zwar von den Leistungen der Natur existentiell ab, sind aber durch künstliche neue Welten dank Wissen, Technik und Kunst überformt. Kulturelle Biotope sind zum einen auf natürliche Vorleistungen angewiesen, bieten aber gleichzeitig naturübergreifende Gestaltungsräume, in denen Menschen wirtschaftliche, soziale und kulturelle Aktivitäten entfalten können. Dabei kann es zu zwei gefährlichen Selbsttäuschungen kommen: zum einen die Illusion, dass die natürlichen Vorleistungen auf Dauer garantiert seien, unabhängig davon, wie sehr Menschen in die Naturkreisläufe eingreifen (technische Hybris), zum anderen die naive Vorstellung, ein „Zurück zur Natur“ würde eine humane und nachhaltige Menschheitsentwicklung wie von selbst auslösen. Die Transformation von natürlichen zu kulturell geprägten Biotopen ist zumindest bei der heutigen Bevölkerungsdichte die einzige Chance, auch in Zukunft humane Lebensbedingungen für die Menschheit zu erhalten. Gleichzeitig sind diese Transformationen aber darauf angewiesen, dass der Ausbau der kulturellen Biotope die existentiellen natürlichen Kreisläufe nicht gefährden. Wichtige Stichworte sind hier: Klimaschutz, Erhaltung der Artenvielfalt, Minimierung von schädlichen Emissionen und Abfall, Ressourcen- und Flächenschonung. Zudem ist auch zu hinterfragen, ob Natur nur als Quelle ökologischer Dienstleistungen für den Menschen zu betrachten ist, sondern auch einen Eigenwert unabhängig von menschlichen Bedürfnissen besitzt. Die Eigendynamik natürlicher Kreisläufe ist daher für die Schaffung von kulturellen Biotopen eine wichtige Orientierung, lässt sich aber nur zum Teil auf die Gestaltung dieser Biotope übertragen.

Diese Einsicht macht es notwendig, in einen tiefgreifenden Diskurs über die Parallelen und Unterschiede zwischen biotischer und kultureller Regulation einzutreten. Ein Umdenken ist dringend erforderlich und zwar in einer neuen Dimension. Zitate von Sophokles, Konfuzius, Sokrates, Seneca und vielen anderen zeigen zwar, dass Philosophen schon in der Antike mit Nachdruck eine aktive, vernunftbasierte Haltung und daraus erwachsende Handlungen des Individuums und der Gesellschaft anmahnten – mit dem Ziel der Gerechtigkeit und der Erhaltung der gesellschaftlichen sowie spirituellen Ordnung; deren äußerer Rahmen war in unserem Denken aber immer von der Natur beziehungsweise der unverrückbaren Schöpfung begrenzt und damit vorgegeben.

Das Anthropozän beschreibt mit seinen Veränderungen des Erdsystems in diesem Licht nicht nur ein neues Erdzeitalter. Die technischen Einflussmöglichkeiten der Menschheit auf diese früher als gottgegeben und damit permanent angesehene Schöpfung beinhaltet inzwischen eine signifikante



Beeinflussung der geophysikalischen und geochemischen Kreisläufe und schließt damit die potentielle Zerstörung der für uns maßgeblichen Leben ermöglichenden und Leben erhaltenden Systeme ein. Damit ist eine neue, alle bisherigen Vorstellungen überragende Verantwortung gegenüber der Menschheit als Ganzes, aber auch der belebten und unbelebten Natur entstanden. Erst die Philosophen des 20. Jahrhunderts, allen voran Hans Jonas, haben diese neue ethische und politische Dimension erkannt und daraus neue Schlüsse wie den ökologischen Imperativ abgeleitet. Technische Überheblichkeit durch holistische Bescheidenheit zu ersetzen, ist ein Ratschlag, der als Prinzip verstanden werden sollte. Nur so kann der fatale Hang zur technischen Hybris überwunden werden.

Im Grunde geht es dabei auch wieder wie seit der Antike bis zur Aufklärung, um die Durchsetzung einer ethischen Grundhaltung des Menschen und menschlicher Gesellschaften, diesmal aber unter neuen planetaren Randbedingungen. Ein nachhaltig wirkendes Gegenstück zu der biotischen Selbstregulation kann insbesondere durch Überwindung destruktiv wirkender Gesinnungen wie Hass, Neid, Gier und Rache entstehen. Es sollte auf diesem Fundament gelingen, der Einhaltung ethischer Normen auch im Verhältnis zur umgebenden Natur zum Durchbruch zu verhelfen. Dazu ist für alle Schichten der Bevölkerung ein hohes Maß an Bildung, Überzeugungsarbeit, empathisches Verstehen und an dem Gegenüber angepasste Kommunikation notwendig. Bildung sollte, um wirkungsvoll zu sein, aber auf den örtlichen, auch indigenen Traditionen aufbauen, und bereits im Kindesalter, besser noch schon im Säuglingsalter einsetzen. Immerhin ist anzunehmen, dass Liebe, und so auch elterliche Führung als Bausteine für die Vermeidung von Hass und Missgunst zu gelten hat. Die Erfahrung von Liebe, Geborgenheit und Wohlstand ist somit eine der Voraussetzungen für ein nachhaltig wirkendes ethisches Verhalten.

Anweisungen zum ethisch-moralischen Handeln sind keine Erfindung des Anthropozäns. Seit der Antike wurden eine Vielzahl von Handlungsanweisungen entwickelt. Manche haben sich durchgesetzt, andere sind in Vergessenheit geraten, viele werden zwar anerkannt, aber in der Praxis nicht gelebt. Vor allem die Auffassung von Überlegenheit menschlichen Wissens gegenüber den aus der Evolution sich herausbildenden natürlichen Regelkreisen hat sich zu einer für die Menschheit und die Natur zerstörerischen Tendenz entwickelt. Entscheidungen und Entwicklungen, die zunächst als vorteilhaft angesehen waren, führten in vielen Fällen zu dramatischen Schäden. Als Beispiel für das Gelingen einer nachhaltigen und ausgewogenen Bilanz zwischen natürlicher und kultureller Evolution können die von Paul Crutzen vorgeschlagenen Maßnahmen gegen die Zerstörung der Ozonschicht in der Stratosphäre gelten. Viele weitere positive Beispiele, Anregungen und Vorschläge sind in dem vorliegenden Sammelband zusammengetragen worden. Einhellig wird ein Überdenken des bisherigen Fortschrittsmythos gefordert. Vor allem geht es darum, die Gestaltungskraft des Menschen in adaptive Zyklen einzubringen mit dem Ziel, eine resiliente, naturnahe und nachhaltige Entwicklung sicherzustellen.

Viele der Beiträge in diesem Band beschreiben die Errungenschaften und Weiterentwicklungen in Fachbereichen wie Wirtschaft, Medizin, Landwirtschaft, Architektur und Wasserwirtschaft. Die enormen Herausforderungen unserer Zeit, ausgelöst durch den Klimawandel, die Überbewertung des Wirtschaftswachstums und den Glauben an die Allmacht der Technik, können nur durch das Infragestellen des Status quo und durch Offenheit für alternative Lösungen bewältigt werden. Die Autoren und Autorinnen fordern die Gesellschaft auf, die Chancen zu nutzen, die mit einer Fülle neuer Erkenntnisse und Methoden aus Wissenschaft und Praxis verbunden sind. Resiliente und nachhaltige Zukunftsvorsorge wird aber nicht durch Romantisierung von Natur, sondern durch gezielten und achtsamen Einsatz von Technik und innovativen Produkten gewährleistet. Dazu zwei Beispiele aus den Beiträgen: Der gezielte Einsatz von Düngemitteln für eine regenerative Landwirtschaft wird als neue Möglichkeit zur umweltfreundlichen Produktion von Lebensmitteln genannt. Die kluge Anwendung von künstlicher Intelligenz in allen Bereichen von Wissenschaft, Wirtschaft und Verwaltung hat auf dem Weg in eine belastbare, nachhaltige Zukunft einen hohen Stellenwert.

Bemerkenswert ist, dass bedeutende Innovationen zunehmend von multidisziplinären und internationalen Arbeitsgruppen geschaffen werden. Dies gilt nicht nur für den wissenschaftlichen Bereich. Die Umsetzung und Bündelung von Wissen aus benachbarten Denkschulen, aber auch von praktischem Erfahrungswissen und indigenen Traditionen, kann der Menschheit die geforderte Balance zwischen Natur und Kultur mithilfe inter- und transdisziplinären Teams näherbringen. Dies erfordert jedoch eine entsprechende übergeordnete Qualitätskontrolle sowie den politischen Willen, diese Aktivitäten mit den dafür notwendigen Ressourcen zu unterstützen.

Bei der Vorbereitung dieses Werkes wurden Wissenschaftler sowie Wissenschaftlerinnen aus verschiedenen Disziplinen und Ländern eingeladen, ihre jeweiligen Erfahrungen, Kenntnisse und Perspektiven zur Beantwortung der im Titel dieses Werkes formulierten übergreifenden Frage einzusetzen. Das Format der Dahlem-Konferenzen diene in abgewandelter Form als Vorbild für den hier praktizierten interdisziplinären Diskurs. Zu diesem Zweck wurden Beiträge mit dem Ziel erarbeitet und für die Diskussion geöffnet, um Handlungsempfehlungen für Wissenschaft, Wirtschaft und Gesellschaft zu entwickeln. Die Auswahl der Empfehlungen ist im letzten Kapitel dieses Bandes abgedruckt und kann als Aufforderung zum Nachdenken, aber auch zur Kritik verstanden werden. Je mehr und intensiver über das Verhältnis von Natur und Kultur nachgedacht und konstruktiv gestritten wird, desto eher wird es gelingen, eine resiliente und nachhaltige Zukunft für Mensch und Natur zu gewährleisten.

## Diskussion

Frage von Ortwin Renn: Was ist unter „Fraktal der Funktionsweise der Erdsysteme zu verstehen“? (siehe oben: erster Satz im zweiten Absatz)

Antwort von Martin Grambow: Die Verwendung von „Fraktal“ ist zunächst ein semantischer Hinweis auf die Chaostheorie nach Küppers und Selbstorganisation nach Maturana. Wir leben in einem sich selbst organisierenden chaotischen System.

Der Begriff ist damit aber auch philosophisch und naturwissenschaftlich aufgeladen: Nach meiner Überzeugung ist der Mensch ein „typisches“ Abbild des Erdsystems, weil er nur selber durch körperinterne symbiotische biologische Prozesse funktioniert und als vernunftbegabtes Holobiont nur in Interaktion mit der „äußeren“ Natur existieren kann.

Peter Wilderer beschäftigt die Frage, ob der Mensch durch seinen Intellekt oder – nach Helmuth Milz – durch seine Sinn- /Denkleistung aus dem nicht-anthropogenen natürlichen Ökosystem untypisch herausragt, also kein typisches Abbild ist oder gar eine Art Gegensatz bildet.

Ich bin jedoch der Überzeugung, dass wir Menschen untrennbarer und „beabsichtigter“ Teil der Schöpfung sind – was wiederum sowohl eine Analogie zu religiösen Auslegungen ist („Abbild des Schöpfers“) als auch - so James Lovelock - einem Plan der Schöpfung (Gaia) entspricht. Also ist der Mensch sowohl Teil der belebten Natur als auch einzigartig. Damit ist er – so mein Verständnis - ein typisches Abbild der Funktionsweise des Erdsystems, das seit einer Million Jahre aus biologisch–chemisch–physikalischen Grundprozessen UND der intellektuellen Leistung des Verstandes von Homo sapiens zusammengesetzt ist. Demzufolge sind wir (Menschen) auch nicht dazu da, um die Erde zu zerstören, sondern im Gegenteil, das lebenserhaltende, stabilisierende Repertoire der Natur zu erweitern.

# Beispiele für die biotische Selbst-Regulation

## Einführung

Seit es Leben auf der Erde gibt, hat die Veränderung des Erdsystems eine existenzielle Bedeutung für das irdische Leben insgesamt und für einzelne Lebewesen im Besonderen. Heute leben wir in einer Zeit, die durch neuartige Veränderungen des Erdsystems geprägt ist, allen voran die Erderwärmung und das Artensterben. So segensreich der Fortschritt ist, den wissenschaftlichen und spirituellen Beobachtern machen sie große Sorge!

Dr.-Ing Peter Wilderer  
TUM Senior Excellence Faculty  
Bio-Engineer and  
Water Scientist  
Fellow of AAAS and EASA  
2003 Stockholm Water Laureate

Paul Crutzen bezeichnet diese Epoche als das Anthropozän, eine Zeit, in der der Mensch selbst das Gesicht der Erde verändert, ja destabilisiert hat. An sich sollte der technische und kulturelle Fortschritt das Leben angenehmer und friedlicher machen. Aber die dazu nötigen Veränderungen haben so viele Änderungen in unser gewohntes Umfeld, in unser Erdsystem gebracht, dass es seine stabilisierende Wirkung zunehmend zu verlieren scheint. Die Polkappen schmelzen, der Meeresspiegel steigt an, immer mehr Gebiete werden zur Wüste, Konflikte und Streit um Rohstoffe einschließlich Lebensmittel und Wasser nehmen zu. Vom ganz Großen bis ins Allerkleinste sieht es so aus, als könnte die Welt aus den Fugen geraten.

Vor diesem Hintergrund wird es dringend notwendig, über konkrete Maßnahmen nachzudenken, die zur Erhaltung der Funktionsfähigkeit des Erdsystems beitragen. Maßnahmen werden in Betracht gezogen, die in den Bereich des „Geoengineering“ fallen. Dazu zählen Vorschläge zu großtechnischen Eingriffen in die Atmosphäre und in die Ozeane. Solche derart weitgehende Eingriffe wirken auf die meisten Menschen bedrohlich. Sie sollten wohl überlegt sein, weil bei der Anwendung von Technik negative Nebenwirkungen in der Regel unvorhersehbar und selten auszuschließen sind.

Die Frage ist also, ob es nicht andere, weniger unsichere und weniger umstrittene Wege gibt, unser Erdsystem in einer stabilen Lage zu halten. Sollten wir dazu die natürlichen Fähigkeiten der Schöpfung zur Selbstregulation nutzbar machen? Mit Antworten auf die Frage beschäftigt sich die hier vorgelegte Broschüre.

Unter dem Begriff „System“ und somit auch unter dem Begriff „Erdsystem“ wird in der Philosophie der Zusammenschluss eines Mannigfaltigen zu einem Einheitlichen und wohlgegliederten Ganzen verstanden, in dem das Einzelne im Verhältnis zu dem Ganzen und zu den übrigen Teilen eine angemessene Stellung einnimmt [1]. Bei der Anwendung von Maßnahmen zur Erhaltung der Funktionsfähigkeit des Erdsystems ist also ein angemessener, systemischer Ansatz eine zwingende Voraussetzung.

Massive Veränderungen des Erdsystems, die in der Vergangenheit beispielsweise durch den Einschlag von Meteoriten hervorgerufen wurden, haben zum wiederholten Aussterben zahlreicher Arten von Lebewesen einschließlich der Dinosaurier geführt, nicht aber zum Aussterben des Lebens als solchem. Grund dafür war unter anderem die Fähigkeit des Lebens zur Selbsterhaltung. Diese Existenz sichernde Eigenschaft des Lebens ist im Kleinen jeder lebenden Zelle mitgegeben, im Großen jedem Lebewesen, auch dem Menschen. Gorshkov et al. [2] bezeichneten diesen das Leben erhaltenden Prozess als „biotische Regulation“, umgangssprachlich auch Selbsterhaltungstrieb, Selbstregulation oder autonome Regulation bezeichnet.

Nun bezieht sich in der Bezeichnung „System“ der Begriff „Mannigfaltigkeit“ nicht nur auf das Erdsystem. Ebenso mannigfaltig sind die verschiedenen geographischen, orographischen, klimatischen und durch Traditionen geprägten Regionen der Erde. Der oben beschriebene Systembegriff gilt für jede

einzelne Regionen individuell, und erfordert spezielle angepasste Lösungen zur Erhaltung der Funktionsfähigkeit der jeweiligen Region samt der Bewahrung der naturgegebenen Selbstregulationsfähigkeit.

Die Menschheit ersetzt in großem Stil das Phänomen, die biotische Selbstregulation durch eine willentliche, auch kognitiv begründete Regulation des Erdsystems und seiner Teilsysteme. In den jüdisch/christlich geprägten Ländern (und auch im Islam) wird dieser Anspruch aus dem alttestamentarischen Gebot abgeleitet, wonach sich der Mensch die Erde und damit die Umwelt untertan machen darf oder sogar soll.

Wie Yuval Harari [3] in seinem wortreichen Bericht über die Geschichte der Menschheit eindrucksvoll darlegt, hat im Anthropozän der Anspruch auf Nutzung, oft auch die Übernutzung von lebensnotwendigen Ressourcen wie Luft, Wasser, Boden, Wälder mittlerweile ein Ausmaß angenommen, das für das Leben auf der Erde bedrohlich erscheint.

Dazu ein Beispiel: Es war Carl von Carlowitz [4], der in seiner 1713 veröffentlichten Schrift über die „Naturmäßige Anweisung zur wilden Baum-Zucht“ gefordert hat, dass sich zu einer nachhaltigen Nutzungsmöglichkeit von Kohle und Eisenerzen das Fällen von Bäumen am Wachstum der Bäume orientiert werden muss.

Der Begriff „Wachstum“ hat bekanntlich eine zeitliche Dimension. Ein Baum benötigt mehrere Jahrzehnte, bis er für profitable Gewinne reif ist. Und so hat auch das Nachhaltigkeitsgebot, das von Carlowitz angestoßen wurde, eine zeitliche Dimension. Diese geht oft über den Vorstellungshorizont des Menschen und seiner Repräsentanten in Wirtschaft und Politik hinaus. Geduld ist gefragt. Geduld aufzubringen, ist allerdings eine noch schwierigere Aufgabe als die Einhaltung nachhaltig wirksamer Maßnahmen.

Die dominierenden Lebens- und Produktionsformen wurden in den zurückliegenden Jahren kritisch hinterfragt. Dazu hat sich die Völkergemeinschaft 1991 mit der Deklaration zur Nachhaltigen Entwicklung auf ein völlig neues Paradigma verständigt. Es kann festgestellt werden, dass eine Zustimmung zu dem Nachhaltigkeitsparadigma heute global gesehen gegeben ist. Wichtig ist, dass wir die Chance der Zusammenführung von Ökologie, Ökonomie und gesellschaftlichen Herausforderungen unter Berücksichtigung der weltweiten Tragkapazität bzw. der ökologischen Leitplanken konsequent nutzen.

Ein weiteres konstitutives Element des Nachhaltigkeitsparadigmas ist die Gerechtigkeit. Analysiert man die nationalen Nachhaltigkeitsstrategien der Industrieländer, so gibt es hier noch große Potenziale zur weiteren Umsetzung und Beschleunigung des Transformationsprozesses. Noch deutlich größer sind die Potenziale in den meisten Ländern des globalen Südens. Dabei haben sich die Industrieländer verpflichtet, die Entwicklungsländer bei ihren Bemühungen zu fördern.

Die Forderung nach einem nachhaltigen Wirtschaften mit Wirkungen über den Tag hinaus ist als Wendepunkt hin zu einem vernunftgeprägten Überlebensmodell zu verstehen. Eine konsequente regionale und planetare Anwendung kann auch zur Überwindung des reinen Profitstrebens beitragen. Ob diese Zielvorgabe durch die Weiterentwicklung der Digitalisierung und künstlichen Intelligenz (AI) erleichtert und unterstützt wird, ist eine Frage, der ernsthaft nachgegangen werden muss. Konkreter noch: Ist AI ein Ersatzmodell für die biotische Regulation? Das hängt auch davon ab, wie die Agenda 2030 mit den 17 SDGs interpretiert wird. Bisher stehen die 17 SDGs in den nationalen Nachhaltigkeitsstrategien oft einzeln nebeneinander. Dabei sollten vielmehr Nachhaltigkeitsbereiche definiert werden, bei denen Ziele zusammengeführt werden. Hierbei könnte sowohl die Digitalisierung als auch die künstliche Intelligenz (AI) einen wichtigen Beitrag leisten.

## Literaturverzeichnis

- 1 Philosophisches Wörterbuch, Alfred Kröner Verlag, 1957
- 2 Gorshkov, V, Gorshkov V., Makarieva M. (2000) Biotic Regulation of the Environment, Key Issue of Global Change, Springer, Chichester, UK
- 3 Yuval Harari (2011) Penguin Random House Publisher
- 4 Hanns Carl von Carlowitz (1713) Natural Instructions on Wild Tree Breeding, Sylvicultura Oeconomica, Johann Friedrich Braun Verlag.

## **Diskussion**

Hermann Auernhammer merkt an: Offen bzw. unvollständig bleibt für mich (und sicher auch für Kollegen Wolfgang Haber) der in Rio 1998 definierte Begriff der Nachhaltigkeit mit Ökonomie, Ökologie und Sozialem.

Antwort von Peter Wilderer: Diese Bemerkung gibt mir die Gelegenheit, auf die dem Inhaltsverzeichnis vorangestellte Seite hinweisen. Gezeigt werden die Einbände der Bücher, die unter der Schirmherrschaft des EASA aufgrund von Workshops entstanden sind.

Der erste dieser Workshops wurde im Jahr 2003 in den Räumen des Klosters Banz durchgeführt. Die Veranstaltung stand unter dem Titel „Global Sustainability – The Impact of Local Cultures“. Eingeleitet wurde der Workshop mit einer Grußbotschaft des damaligen Präsidenten des Club of Rome, Prinz El Hassan bin Talal, dem heutigen König von Jordanien. Mit Verweis auf unser aktuelles Thema möchte ich zwei Sätze herausgreifen: „*As Moderator of the World Conference on Religion for Peace I call for a global code of conduct while promoting solemn respect for the various faiths and their interaction*“ und weiter: „*In the Club of Rome we added in addition to social, ecological and economic culture as the fourth pillar sustainability. Human values and global sustainability mean that an alternative must be found to the imagined and feared hegemonic and homogenetic processes*“.

Erwähnen möchte ich zudem, dass Wolfgang Haber im Rahmen des Workshops on „Global Stability through Decentralization“ sein breites Wissen über die Bedeutung natürlicher Ökosysteme eingespeist hat. Seine Gedanken und Empfehlungen finden sich in dem hier vorgelegten Band fortgeführt.

## **Bäume können mehr als nur CO<sub>2</sub>-speichern**

### **Eine Rezension eines Artikels in Nature Water (2023) verfasst von Peter Wilderer**

In der Oktoberausgabe der Zeitschrift Natur Water (Seite 820 – 823) findet sich unter dem Titel „More Than Carbon Sticks“ ein Essay, das von Erica Gies<sup>1</sup> verfasst wurde. In beeindruckender Weise kann diese Arbeit als Spiegel der Beiträge gewertet werden, die in dem vorliegenden Sammelband zusammengefasst sind.

Gleich zu Beginn ihres Essays unterstreicht die Autorin die Wichtigkeit des gegenseitigen Austauschs von Wissen über Disziplingrenzen hinweg, um hoch-komplexe Prozesse nicht nur besser zu verstehen, sondern auch in nachhaltig wirksames praktisches Handeln umzusetzen. Die derzeit rasch fortschreitende Klimaänderung ist ein klassisches Beispiel für das Ergebnis hoch-komplexer Zusammenhänge. Klassisches Silo-Denken mag das Renommee von Wissenschaftlern und Wissenschaftlerinnen steigern und schlussendlich zu politischen Entscheidungen führen. Dass damit aber

---

<sup>1</sup> Erica Gies ist eine frei schaffende Journalistin und Autorin aus Victoria, Kanada, deren Arbeiten in zahlreichen namhaften Wissenschafts-Journalen abgedruckt wurden.

Fehlentscheidungen nicht auszuschließen sind, zeigt die Autorin an einer Vielzahl von Beispielen. Die Überschätzung der Bedeutung von CO<sub>2</sub> als Ursache für die Klimaänderung sei dafür nur ein Beispiel unter vielen.

Das Zusammenführen von Fachwissenschaftlern wie beispielsweise aus der Mathematik, Physik, Chemie, Biologie, Ökologie, Medizin, Hydrologie, Gesellschaftswissenschaften bietet die Chance, auf die Herausforderungen unserer Zeit wirkungsvoll zu reagieren. Dafür gibt es zahlreiche Entwicklungen, die durch den vermeintlichen Alleinvertretungsanspruch klassischer Disziplinen erst angefeindet, dann gehemmt, aber schlussendlich akzeptiert wurden und werden.

Als Beispiel dafür beschreibt die Autorin die anfängliche Unterschätzung von Wasser in seiner Bedeutung als Beitrag zur Minderung der Auswirkungen des Klimawandels. In diesem Zusammenhang gewinnt der Wald, genauer die Waldökosysteme eine herausragende Bedeutung. Die Autorin weist dabei indirekt auf die selbstregulativen Prozesse hin, die in der Wurzelzone beginnen und an der Blattoberfläche nicht enden.

Zahlreiche Forschungsteams haben erkannt, dass die Verdunstung von Baumblättern einen direkten Einfluss auf den atmosphärischen Wassergehalt sowie auf den atmosphärischen Wassertransport und den terrestrischen Wasserkreislauf hat. Die von Anastassia Makarieva und ihrem internationalen Expertenteam über Jahrzehnte hinweg geleistete Arbeit wird ausführlich beschrieben.

Gleich zu Beginn der Ausführungen der Autorin wird Anastassia Makarieva mit den Worten zitiert: *"Beim Klimaproblem geht es nicht nur um Kohlenstoff. Es geht vor allem um den Wassertransport, der stark von der Vegetationsdecke beeinflusst wird. Dies spielt eine große Rolle bei Wetterveränderungen und Wetterextremen"*. Sie fährt fort: *"Eine Million Bäume zu pflanzen ist falsch und irreführend. Vielmehr sollte das Ziel darin bestehen, die Funktionsfähigkeit des Ökosystems zu erhalten und gegebenenfalls wiederherzustellen. Genauso wie ausgewachsene Bäume mit intaktem Boden größere Mengen an Kohlenstoff speichern als junge Baumplantagen, sind ausgewachsene, vom Menschen unberührte Wälder äußerst effektiv bei der Regulierung von Wasser und Klima."*

Die durch Kapillarkräfte und durch die Photosynthese initiierte Evaporation und in der Folge die Emission von Wasser in die Atmosphäre sind Prozessketten, die im Prinzip auch in Gräsern und Ackerpflanzen ablaufen. Nur ist die auf den Quadratmeter bezogene Fläche der Blätter eines Baums wesentlich größer als die Fläche der Grashalme auf einer Wiese.

Die Autorin weist darauf hin, dass es notwendig ist, Maßnahmen zur Regulierung aus der Kenntnis der örtlichen Gegebenheiten abzuleiten. Dazu gehören auch Kenntnisse über den kulturellen und historischen Hintergrund in der jeweiligen Region. In diesem Zusammenhang wird der Hydroklimatologe Dettinger mit den Worten zitiert: „Ich glaube fest an das, was wir in unserem eigenen lokalen und regionalen Umfeld tun können, aber ich werde nervös, wenn Leute lokale bis regionale Erfolge auf die ganze Welt übertragen“.

## Dynamische Möglichkeiten der menschlichen Selbstregulation

Der menschliche Organismus kann sich dynamisch an das jeweilige Umfeld, in dem er lebt, anpassen. Er kann so sein inneres, biologisches Milieu ins Gleichgewicht regulieren. Diesen Prozess nennt man Homöostase (1). Dabei existieren für die Körpersysteme funktionale Grenzwerte, welche kurzfristig überschritten werden können. Grenzwerte existieren sowohl physikalisch, wie etwa für Blutdruck, Flüssigkeitshaushalt, Körpertemperatur, Herzfrequenz, Atemrhythmen, etc., als auch biochemisch für Blutzucker, Elektrolyte, Blutgase, etc.

Prof. Dr. med. Helmut Milz

Medicine / Health Promotion

Marquartstein, Germany

Vorübergehende Ungleichgewichte ergeben sich beispielsweise bei Belastungen wie Wachstums- oder Heilungsphasen. Längerfristige Verschiebungen erfordern besondere Bewältigungsmöglichkeiten (Coping). Bei dauerhaft hohen Anforderungen (Distress) können sich die Sollwerte einzelner Systeme verschieben und gegebenenfalls Krankheiten befördern. Hinsichtlich der Anpassungs-, Regulations- oder Widerstandsfähigkeit menschlicher Organismen sprechen wir von Resilienz.

Für die Bewältigungsmöglichkeiten, die ein konkreter Organismus jeweils zu leisten in der Lage ist, spielen viele Faktoren eine Rolle. Dazu zählen etwa die genetische Konstitution, persönliche Lebensgeschichte, soziale Mitwelt, Alter oder auch geografische und klimatische Bedingungen der Umwelt. In ihrer Summe entscheiden sie darüber, inwieweit sich ein Organismus akklimatisieren, adaptieren und die Belastungen tolerieren kann. Bei größerer Vulnerabilität sind die Grenzen der Anpassungsfähigkeit vermindert.

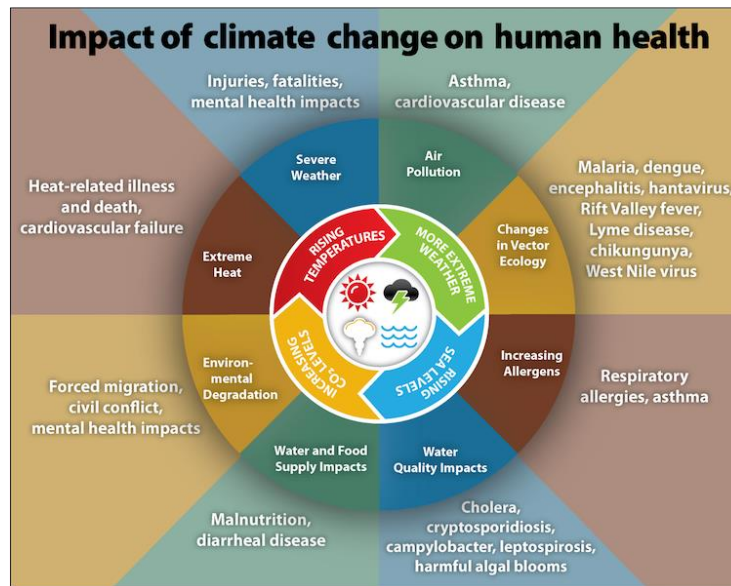
Zum Spektrum der menschlichen Anpassungsmöglichkeiten gehören auch die individuellen oder sozialen und politischen Schutzmaßnahmen, Verhaltensänderungen und Präventionsleistungen. Diesen Möglichkeiten können aber ablehnende, verweigernde Einstellungen und Haltungen gegenüberstehen, die sich durch Rationalisierungen, Negierungen oder Vermeidungsverhalten gegenüber der Mitverantwortung für Wohlergehen auszeichnen.

Biologische Selbstregulationsmöglichkeiten sind nicht von psychischen, mentalen oder gar spirituell geprägten Dynamiken zu trennen. Diese Domänen durchdringen und vermischen sich vielfach. Menschen sind mit persönlichem und kollektivem Gedächtnis und Wissen ausgestattet. Sie können dadurch auch vieles über die Komplexität und Bedrohungen des aktuellen Klimawandels erfahren. Sie werden unterschiedlich emotional ergriffen und antizipieren verschiedene Bedrohungsszenarien.

Darüber hinaus können politische, soziale oder auch geographische Machtverhältnisse die jeweils individuellen Anpassungsmöglichkeiten erheblich vermindern oder gar verhindern. In Zeiten des globalen Klimawandels können manche erhebliche, lokale Belastungen, welche durch grenzüberschreitende Einflüsse bedingt sind, nicht individuell bzw. allein vor Ort verändert werden., Dies kann dann nur in größerem Maßstab geschehen.

### Klimawandel und gesundheitliche Gefährdungen

Über das Ausmaß an potenziellen Gesundheitsgefährdungen durch den Klimawandel existieren seit Jahren viele differenzierte Erkenntnisse. Diese werden in wachsendem Maße auch in den Medien veröffentlicht. Das untenstehende Diagramm (2) zeigt die Hauptdimensionen der Gesundheitsbedrohungen durch den Klimawandel: CO<sub>2</sub>-Anstieg, steigende Durchschnittstemperaturen, vermehrte extreme Wetterlagen und ansteigende Meeresspiegel. Diese führen zu steigenden Belastungen der Grundelemente allen organischen Lebens: der Erde, der Luft, des Wassers und der Wärme. Wenn diese Grundelemente extreme Dauerbelastungen oder Mangelerscheinungen erfahren, dann befördern sie eine breite Palette von Erkrankungen, die verstärkt werden durch Nahrungsmangel, Flüssigkeitsmangel, sowie Schadstoffe in der Luft und im Boden.



Manche Bevölkerungsgruppen, wie alte Menschen, schwangere Frauen, kleine Kinder, chronisch erkrankte Menschen, unterernährte Bevölkerungsgruppen oder in schlechten Wohn- und Lebensbedingungen lebende Menschen, sind überproportional gefährdet.

### Möglichkeiten der erweiterten Selbstregulation zur Überwindung von Auswirkungen des Klimawandels

Aus der Fülle von möglicher Handlungsaspekten, um diese Gefährdungen besser zu regulieren, seien nur einige, weniger prominente Beispiele herausgegriffen:

1) In der Folge der technologisch-basierten Machbarkeitsvorstellungen (s. d. auch die Debatten zum Anthropozän) glauben viele Menschen, dass sie jenseits der überall gegebenen natürlichen Zeitrhythmen existieren können. Die modernen Forschungen zur Chronobiologie (3,4) zeigen jedoch, dass alle Organismen, inklusive uns Menschen, sich, von den Molekülen bis zum Bewusstsein, in relativ eng gefassten, rhythmisch-wechselnden Zeitstrukturen, wie Tag/Nacht, Aktivität/Ruhe, tageszeitlichen Schwankungen, Minuten- oder Sekundenoszillationen bis zu Jahreszeiten, bewegen. Diese Rhythmen der natürlichen, „biologischen Uhren“ werden jedoch durch Mechanisierung, Computerisierung, artifizielle Beleuchtung, konstante Klimatisierung, 24/7 Takte<sup>2</sup> der Wirtschaft, des Handels, Verkehrs oder Konsums, etc. permanent ignoriert und überschritten. Dies bewirkt erheblich zunehmende Schlafstörungen, Erschöpfungszustände, Konzentrationsmängel, Unfallgefahren, etc. Durch eine bessere Reintegration der globalen und lokalen Lebensweisen in natürliche Rhythmen könnten diese Probleme gemindert und die allgemeine Resilienzfähigkeit des menschlichen Organismus dauerhaft gestärkt werden.

2) Neben dem ausreichenden Wasser-, Wärme- und Luftaushalt sind der Stoffwechsel und die Ernährung von fundamentaler Bedeutung für das menschliche Leben. Diese betrifft aber nicht nur die ausreichende Deckung des täglichen Kalorienbedarfs, bei möglichst wenig Schadstoffen oder ausgeschlossener Toxizität. Wie die modernen Forschungen zum Mikrobiom zeigen, sind darüber hinaus die Zusammensetzung und die Verstoffwechslung der Nahrungsmittel im Kontext von symbiotischen Mikroorganismen in der menschlichen Darmflora gesundheitlich mitentscheidend (5,6). Hierbei zeigen sich deutlich Zusammenhänge zwischen den zunehmenden Bodenveränderungen durch extensive Landwirtschaft oder Überdüngung (7), der rückläufigen CO<sub>2</sub>-Bindungsfähigkeit von

<sup>2</sup> Ständige Verfügbarkeit täglich 24 Stunden, 7 Tage die Woche



Ackerflächen (8) und den zunehmenden Tendenzen zur Ausbreitung von Stoffwechselerkrankungen (z.B. Diabetes 2) oder chronischen Entzündungen. Dabei spielen zu großen Mengen tierischer Nahrungsmittel sowie „Ultra-processed Foods (UPF)“ eine negative Rolle (9). Dem könnte durch behutsamere Anbaumethoden sowie den Verzehr von mehr pflanzlichen Nahrungsmitteln positiv entgegengewirkt werden. Entsprechende wissenschaftliche Empfehlungen liegen vor (10).

3) Eine einseitig-negative Berichterstattung über die potenziellen Gefahren des Klimawandels auf die menschliche Gesundheit (neben den vielen Meldungen zur Politik-Krise) befördern, vor allem bei jüngeren Menschen, erhebliche emotionale Belastungen (11,12). In der psychotherapeutisch-psychosomatischen Fachliteratur werden diese, etwas unscharf, unter dem Begriff: „climate emotions“ (13) zusammengefasst. Eine Herausforderung für die allgemeinen Medienberichterstattung, insbesondere in der beratend-therapeutischen Arbeit mit vulnerablen Gruppen und Individuen, besteht darin mitzuhelfen, ein erträgliches Maß von Informationen zu finden und positives Engagement zu ermöglichen, welche sowohl einer Leugnung der Problematiken als auch einer verängstigenden Überforderung entgegenwirken. Damit können unnötige Ängste, Trauer oder Niedergeschlagenheit ebenso verringert werden wie wachsende Rückzugstendenzen vor der Klimaproblematik. Notwendige Veränderungen brauchen eine positiv ansteckende, eher optimistische Einstellung und Haltung und keinen Klimadefätismus.

4) Konstruktive Beiträge zur Verbesserung des betriebs- oder familieninternen Gesprächs- und Aktionsklimas zu Fragen wie Nachhaltigkeit, Energiebilanz, Ernährungsangebot, Transportmittel, notwendigem/überzogenem ökologischen Fußabdruck, gesündere und heilsame Stadt- und Landschaftsplanung (14), etc. sind weitere Aspekte möglicher (zwischen-)menschlicher Selbstregulierung.

Empfohlene Websites:

**Deutsche Allianz Klima und Gesundheit (KLUG)** <https://www.klimawandel-gesundheit.de/>

**Robert-Koch-Institut, Klimawandel und Gesundheit:**

[https://www.rki.de/DE/Content/GesundAZ/K/Klimawandel\\_Gesundheit/Klimawandel\\_Gesundheit\\_node.html](https://www.rki.de/DE/Content/GesundAZ/K/Klimawandel_Gesundheit/Klimawandel_Gesundheit_node.html)

**Center For Planetary Health Policy:** <https://cphp-berlin.de/DE/>

**The Lancet countdown on health and climate change:** <https://www.thelancet.com/countdown-health-climate>

Literaturverzeichnis

1. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK559138/>
2. <https://www.cdc.gov/climateandhealth/effects/default.htm>
3. <https://www.sg.tum.de/chronobiology/startseite/>
4. <https://magazine.hms.harvard.edu/articles/health-disease-and-chronobiology>
5. <https://www.med.lmu.de/aktuell/2021/mikrobiom/index.html>
6. <https://www.nature.com/collections/pbcbgmkdtl#editorial>
7. <https://www.newyorker.com/magazine/2023/03/06/phosphorus-saved-our-way-of-life-and-now-threatens-to-end-it>
8. <https://www.theguardian.com/environment/2023/jul/04/improving-farming-soil-carbon-store-global-heating-target>
9. <https://www.theguardian.com/food/2023/sep/06/ultra-processed-foods-the-19-things-everyone-needs-to-know>

10. <https://www.thelancet.com/action/showPdf?pii=S2542-5196%2818%2930206-7>
11. <https://www.sinus-institut.de/media-center/studien/barmer-jugendstudie-2021>
12. <https://researchportal.bath.ac.uk/en/publications/climate-anxiety-in-children-and-young-people-and-their-beliefs-ab> (2021)
13. <https://www.newyorker.com/news/annals-of-a-warming-planet/what-to-do-with-climate-emotions>
14. <https://static1.squarespace.com/static/5e8d84f94c43ec3e0646ff95/t/63b29b9b4784523e897c37e6/1672649629462/HEILSAME+ARCHITEKTUR+%E2%80%93+Flaneurin+23.10.2020.pdf>

# Leitlinien für die Regulation anthropogener Systeme

## Autopoiesis<sup>3</sup> und die ethische Maxime der Retinität<sup>4</sup>

### Naturphilosophische Basis der Nachhaltigkeit

Die naturphilosophische Basis des Konzepts der Nachhaltigkeit ist der Paradigmenwechsel von linear-kausalmechanischen zu systemischen Denkmodellen. Diese gehen von der biotischen Selbst-Regulation in komplexen, adaptiven und autopoietischen Systemen aus. Gesellschaftstheoretisch wird daraus das Konzept einer sozialen Kybernetik abgeleitet, das zum Ziel hat, die vielschichtigen Wechselwirkungen zwischen ökologischen und sozialen Systemen besser zu verstehen und zu kontrollieren. Denn ohne eine Berücksichtigung der Wechselwirkungen bleiben die ethisch-politischen Steuerungsmodelle auf der Symptomebene stehen und werden immer wieder neu von den oft unerwarteten Nebenwirkungen der Maßnahmen überrascht. Das ethische Prinzip der Nachhaltigkeit meint nach diesem Ansatz nicht die Summe der ökologischen, sozialen und ökonomischen Ziele, sondern deren systemische Korrelation. Andernfalls wäre es kein normativ gehaltvolles Prinzip, sondern ein maximalistischer Fehlschluss, der nahezu alle denkbaren Ziele umfasst und deshalb nichts definiert, also abgrenzt. Nachhaltigkeit ohne ein besseres Verständnis der biotischen und sozialen Selbst-Regulation degeneriert zum konzeptionslosen Versprechen allgemeiner Weltverbesserung. Ethisch gefordert ist vielmehr das Erlernen von systemischem Denken hinsichtlich der Naturauffassung sowie der ökosozialen Steuerung der Gesellschaft.

Dr. Markus Vogt

Professor of Christian Social Ethics

Ludwig-Maximilians University,  
Munich

Environmental & Economic Ethics

Centesimus Annus Pro Pontifice  
Prize

Der Diskurs um Nachhaltigkeit ist der politische Ausläufer eines lange zuvor in den Naturwissenschaften begonnenen und bis heute keineswegs abgeschlossenen Umbruch im Naturbild. Ohne diesen Hintergrund kann man den vielschichtigen Streit um die ethisch-konzeptionellen Grundlagen von Nachhaltigkeit nicht verstehen. Ein zentraler Ausgangspunkt dieses Paradigmenwechsels sind die veränderten Begriffe von Zeit, Kausalität und Materie in der Quantenphysik sowie der Relativitätstheorie. Dabei verlagert sich der Fokus der Aufmerksamkeit von Einzelobjekten auf Prozesse. Die Konsequenzen daraus für Naturphilosophie und Schöpfungstheologie sowie Ethik und Gesellschaft wurden in der von Alfred North Whitehead angeregten Prozessphilosophie entfaltet. Inzwischen sind viele natur- und sozialwissenschaftliche Entwicklungen hinzugekommen, z.B. die Theorien autopoietischer Systeme, wie sie Maturana und Varela angeregt haben, oder die Bionik, die durch Jack Steele sowie Werner Nachtigall begründet wurde.

Der Begriff „Autopoiesis“ wurde 1972 von Maturana geprägt, um damit die Autonomie und die zirkuläre Selbstorganisation lebender Systeme begrifflich zu charakterisieren. Der Begriff soll als Schlüssel zum Verständnis aller biologischen Phänomene dienen, insofern Leben nicht durch einzelne Eigenschaften definiert wird, sondern grundlegend durch die Fähigkeit, sich selbst erzeugen, organisieren und regenerieren zu können. Autopoietische Systeme sind operational geschlossen und metabolisch, d. h. in Bezug auf den Stoffwechsel offen. Autopoiesis ist die am intensivsten interdisziplinär rezipierte Varianten der Selbstorganisationstheorien. So ist etwa Niklas Luhmanns Ansatz wesentlich von Maturana und Varela geprägt, insbesondere hinsichtlich der Konzentration auf die Differenz zwischen System und Umwelt als energetisch offen, aber informatorisch geschlossen.

---

<sup>3</sup> Prozess der Selbsterschaffung und Selbsterhaltung eines Systems, verstanden als spezifische Form der emergenten Selbstorganisation sowie eines entsprechenden ontologischen Konzeptes.

<sup>4</sup> Retinität meint systemisches Denken und Handeln, schließt an das Leitbild der „Nachhaltigkeit“ an und zielt insbesondere auf die synergetische Vernetzung der Bereiche Umwelt, Wirtschaft und Soziales.

Luhmann kennt drei Arten der Autopoiesis: die des Lebens (biotisch), die des Erkennens (kognitiv) und die des Sozialen (kommunikativ). Die autopoietische Wende von Luhmann hat die Soziologie revolutioniert und einen weitreichenden Einfluss auf die Sozialethik entfaltet.

### **Ökosoziale Bionik**

Bionik ist ein neuer Typ wissenschaftlicher Forschung, der die Natur nicht primär als Warenlager für menschliche Produkte betrachtet, sondern als Anregung für die Entdeckung neuer Weisen zu denken. Sie will die Erfolgsgeheimnisse der Natur in der Organisation des Lebens aufspüren und „biomimetisch“ nachahmen. In dreieinhalb Milliarden Jahren Evolutionsgeschichte sind so viele geniale Anpassungen entstanden, dass die Natur zu einer nahezu unerschöpflichen „Schatzkiste“ manchmal überraschend einfacher und robuster Lösungen für komplexe Probleme geworden ist. Aus dieser können „disruptive Innovationen“ abgeleitet werden, also Innovationen, die nicht wohlbekannte Modelle von Technik ein wenig schneller und effizienter machen, sondern ganz neue, vorher ungeahnte Lösungen anstreben. Es geht darum, jenseits der ausgetretenen Pfade bekannter Denkmuster radikal neue Verfahren, Prozesse, Materialien und Organisationsformen zu entwickeln. Ein bekanntes Beispiel für eine biomimetische Innovation ist der Klettverschluss: So, wie die Kletten mit kleinen Widerhaken arbeiten, kann man auch Kleidungsstücke verbinden und sich mühsames Zu- und Aufschnüren sparen. Bionik steht für eine neue Generation von Technik, die die Natur nicht grob ausbeutet und zerstört, sondern sensibel auf ihr feines Gewebe achtet und dieses intelligent für Prozess- und Strukturverbesserungen nutzt. Sie will mehr als einzelne materialtechnische Lösungen. Bionik zielt auf grundsätzlich neue Formen des Verhältnisses zwischen Menschen und Natur: weniger ressourcen-, abfall- und energieintensiv, mit weniger Schadstoffen, langlebiger, generationenverträglich.

Ich habe diesen Ansatz in meinem Konzept der Nachhaltigkeit gesellschaftstheoretisch als „Soziale Bionik“ erweitert, beispielsweise hinsichtlich der Zuordnung von Konkurrenz und Kooperation. So war es eine große Einseitigkeit der Evolutionstheorie, deren politische Schlussfolgerungen das 20. Jahrhundert überschattet haben, dass man Höherentwicklung in der Natur allein als Folge von zufälliger Mutation und Selektion verstanden hat und meinte, auch Politik und Wirtschaft als Daseinskampf organisieren zu sollen. In der Natur gibt es jedoch nicht nur Konkurrenz, sondern ebenso Kooperation, „Syngensis“ und eine komplexe Vielfalt der Mechanismen von Höherentwicklung und Ordnungsbildung. Nur wer kooperiert, gewinnt. Das differenzierte Ausbalancieren von Konkurrenz und Kooperation in der Natur genauer zu beobachten und davon für die Gestaltung sozialer und wirtschaftlicher Prozesse zu lernen, ist heute ein wichtiges Feld der ökosozialen Bionik.

### **Retinität als ethisch-politische Kybernetik**

Kybernetik ist die Erkennung, Steuerung und selbsttätige Regelung ineinandergreifender, vernetzter Abläufe bei minimalem Energieaufwand. Sie verzichtet auf detaillierte Vorprogrammierung zugunsten von Impulsen für Selbstregulation und versucht damit möglichst, vorhandene Energien zu nutzen. Kybernetische Modelle gehen davon aus, dass in der Mehrzahl menschlicher Handlungsbereiche keine lineare Beziehung zwischen Ursache und Wirkung besteht und Handlungsfolgen deshalb oft verzögert und in unerwarteten Bereichen auftreten. Folglich achten sie besonders auf Nebenwirkungen in anderen Bereichen, auf Schwellen- und Grenzwerte sowie Schwingungs- und Umkippeffekte, die die eigentliche Schwierigkeit bei der Steuerung komplexer Systeme ausmachen.

Die kybernetische Steuerung der komplexen, nichtlinearen Systeme in Natur und Gesellschaft erfordert eine politische Ethik, die der Vielfalt unkalkulierbarer Nebenfolgen und damit den Grenzen der

Planbarkeit Rechnung trägt. Sie strebt nicht nur danach, einzelne Größen zu maximieren, sondern hat das vernetzte Gesamtgefüge im Blick. Dafür hat der Sachverständigenrat für Umweltfragen (SRU) auf der Basis der sozialetischen Forschungen von Wilhelm Korff und mir das Konzept der Retinität entwickelt und es als Schlüssel der Umweltethik bezeichnet. Ich möchte Retinität hier vor dem Hintergrund der biotischen Selbstregulation sowie deren gesellschaftstheoretischer Ausdeutung als eine politisch-ethische Kybernetik interpretieren: als eine Steuerungskunst für eine risikominimierende Vernetzung sozialer, ökonomischer und ökologischer Entwicklung.

Der dem Retinitätsgedanken zugrundeliegende Begriff des Netzwerkes greift eine zentrale Metapher der Ökologie auf: Organismen sind auf netzwerkartige Weise durch Ernährungsbeziehungen miteinander verbunden. Lebende Systeme sind auf allen Ebenen Netzwerke, die vielschichtig ineinander verwoben sind. Daraus folgt, dass die Natur nicht einfach ein passives Materiallager für menschliche Zwecke ist, sondern – so beispielsweise die Akteur-Netzwerk-Theorie von Bruno Latour – ein systemisch agierendes Netzwerk von mehr oder weniger eigendynamisch wirkenden Elementen. Vor diesem Hintergrund betrachtet Retinität Koevolution und Resilienz als neue Fortschrittmuster. Sie apostrophiert Nachhaltigkeit als Querschnittsthema und zielt dementsprechend auf die evolutionäre Ermöglichung von Synergien zwischen unterschiedlichen Bereichen. Leitmaxime ist nicht die Maximierung bestimmter Indikatoren, sondern resiliente und risikoaverse Robustheit in multiplen Krisen.

### **Operationalisierung der Ethik durch systemisches Denken**

Die primäre Relevanz der verschiedenen Systemtheorien für die Sozialethik liegt nicht in neuen Begründungsansätzen, sondern darin, dass sie auf der Ebene der Operationalisierung der Ethik für komplexe Handlungs- und Organisationszusammenhänge hilfreich sein können.

- Dadurch wird das aus ethischer Sicht entscheidende Problem des *naturalistischen Fehlschlusses* vermieden: Von biotischen Selbst-Regulationen kann nicht unmittelbar gefolgert werden, dass diese auch für anthropogene Systeme normativ verbindlich sein sollen. So kennt die Natur beispielsweise (wenn man einmal von der kontroversen Debatte um das Sozialgefüge einiger höherer Säugetiere absieht) keine Gerechtigkeit. Aus Sicht der Bakterien, die für radioaktive Strahlung unempfindlich sind, wäre ein Atomkrieg möglicherweise wünschenswert. Deshalb ist er noch lange nicht „gut“ zu nennen. Die Maximen der praktischen Philosophie sind nicht deduktiv aus der Natur ableitbar.
- Ethik braucht eine *kulturelle Definition der wünschenswerten Ziele und Normen*. Die wichtigste Basis dafür sind die Menschenrechte sowie die Kriterien der Gerechtigkeit und des Gemeinwohls, das heute als auch künftige Generationen einschließendes Weltgemeinwohl zu fassen ist.
- Das heißt aber keineswegs, dass die Prinzipien der biotischen Selbst-Regulation deshalb ethisch belanglos wären. Ihr Status ist jedoch nicht der einer alternativen Begründung der Ethik, sondern derjenige einer Anregung für eine *konditionale Operationalisierung und Implementation der Ethik*.
- Sie antworten nicht auf die Frage, warum ich etwas tun soll, sondern auf die Frage: *Wie soll ich es tun?* Wie erreiche ich meine ethischen Ziele? Wie gelingt eine nachhaltige Transformation?

Gemäß der am Leitbild der Nachhaltigkeit orientierten Maxime der Retinität ist Umweltethik nicht als Bereichsethik zu konzipieren, sondern als ein umfassendes Integrationskonzept für die komplexen

Entwicklungsprobleme spätmoderner Gesellschaft. Orientierungsmaßstab ist dabei nicht das Paradigma der Natur als absolut vorgegebener Wachstumsgrenze, sondern das Leitbild einer dynamischen Stabilisierung der komplexen Mensch-Umwelt-Beziehungen.

### Literaturverzeichnis

Bösch, Stephan/Binder, Claudia/Rathgeber, Andreas/Vogt, Markus (Hg.): Resilienz. Analysetool sozialer Transformationen?, GAIA 26 (Sonderheft 1/2017).

Frankenreiter, Ivo: Prozessontologische Transformationsethik. Versuch einer Epistemologie des Wandels in Natur, Umwelt und Gesellschaft, Marburg 2024.

Gebetshuber, Ille: Eine kurze Geschichte der Zukunft. Und wie wir sie weiterschreiben, Freiburg 2020.

Latour, Bruno: Eine neue Soziologie für eine neue Gesellschaft. Einführung in die Akteur-Netzwerk-Theorie, Frankfurt 2007.

Luhmann, Niklas: Die Gesellschaft der Gesellschaft (2 Bände), 2. Auflage Frankfurt 1999.

Luhmann, Niklas: Ökologische Kommunikation. Kann die moderne Gesellschaft sich auf ökologische Gefährdungen einstellen? 3. Aufl. Opladen 1990.

Maturana, H./Varela, F.: Der Baum der Erkenntnis. Die biologischen Wurzeln des menschlichen Erkennens, 3. Aufl. München 1991.

SRU [Der Rat von Sachverständigen für Umweltfragen]: Umweltgutachten 1994. Für eine dauerhaft-umweltgerechte Entwicklung, Stuttgart 1994.

Vogt, Markus: Christliche Umweltethik. Grundlagen und zentrale Herausforderungen, Freiburg 2021 [2. Auflage 2022, englisch 2024: Christian Environmental Ethics].

Vogt, Markus: Prinzip Nachhaltigkeit. Ein Entwurf aus theologisch-ethischer Perspektive, München 2009 [3. Aufl. München 2013; russisch 2015: Принцип устойчивости].

Vogt, Markus: Sozialdarwinismus, in: Staatslexikon Bd. V, 8. Auflage Freiburg 2021, 199-201.

# Digitale Modellierung der Selbstregulation komplexer dynamischer Systeme: Was können wir daraus lernen?

## Einführung

Seit vielen Jahrzehnten beschäftige ich mich mit den (mathematischen) Grundlagen komplexer dynamischer Systeme, die als Modelle für Selbstorganisation in Natur und Gesellschaft verwendet werden. Mit Computersimulation und KI eröffnen sich neue Möglichkeiten der Simulation und Prognose für Frühwarnsysteme kritischer und chaotischer Entwicklungen. Dieser Beitrag ist ein Plädoyer für Technikgestaltung: Modellierung der Selbstregulation muss sich als Dienstleistung für Resilienz und Nachhaltigkeit in Natur und Gesellschaft bewähren. Das wird insbesondere am Beispiel einer nachhaltigen Kreislaufwirtschaft deutlich.

Dr. Klaus Mainzer  
Philosopher of Science  
TUM Senior Excellence Faculty  
Carl Friedrich-von-Weizsäcker  
University Tübingen  
President of EASA

## Komplexe Dynamik des Erdsystems

Das Erdsystem ist Beispiel eines komplexen dynamischen Systems mit Mechanismen der Selbstregulation. Komplexe Systeme bestehen aus vielen Elementen, deren Wechselwirkungen kollektive Ordnungen und Muster, aber auch Chaos und Turbulenz erzeugen. Die Gesetze dieser dynamischen Prozesse untersucht die Komplexitätsforschung – von komplexen atomaren, molekularen und zellulären Systemen in der Natur bis zu komplexen sozialen und wirtschaftlichen Systemen in der Gesellschaft (Mainzer 2007). Komplexitätsforschung beschäftigt sich fachübergreifend mit der Frage, wie durch die Wechselwirkung vieler Elemente eines komplexen Systems (z.B. Moleküle in Materialien, Zellen in Organismen oder Menschen in Märkten und Organisationen) Ordnungen und Strukturen entstehen können, aber auch Chaos und Zusammenbrüche. Man spricht dann von „emergenten“ Eigenschaften komplexer Systeme, die nicht auf Verhalten der einzelnen Systemelemente zurückgeführt werden können. Komplexitätsforschung hat das Ziel, solche emergenten Eigenschaften in komplexen Systemen zu erkennen. Dazu werden neue Grundbegriffe, Messmethoden, Modelle und Algorithmen eingeführt. So lassen sich kollektive Ordnungen durch Ordnungsparameter charakterisieren. Ordnungen entstehen ebenso wie Chaos und Zerfall in kritischen Zuständen, die von Kontrollparametern eines Systems empfindlich abhängen oder sich selber organisieren. Diese ausgezeichneten Zustände werden häufig auch Attraktoren genannt, da die dynamischen Entwicklungen eines Systems quasi wie in den Wasserstrudel eines Abgusses hineingezogen werden. Komplexe Muster von Zeitreihen und anderen Kriterien dienen dazu, im Vorfeld kritische Situationen aus Prozessdaten zu erkennen und rechtzeitig Vorkehrungen zu treffen. Dabei spielen Computermodelle eine entscheidende Rolle. Die dynamischen Prozesse komplexer Systeme in Natur und Gesellschaft lassen sich in Simulationsmodellen analysieren, die durch die gesteigerten Rechenkapazitäten von Computern möglich wurden. Organe wie Herz und Gehirn sind sich selbst regulierende komplexe Systeme aus Zellen. Populationen sind ebenso komplexe Systeme von Organismen. Ökologische Systeme bestehen aus Populationen und vielen anderen Klima- und Umweltbedingungen. Während der Evolution hat sich ein komplexes System von Gleichgewichten zwischen Umwelt, Tier- und Pflanzenpopulationen entwickelt. Lokale Störungen (z.B. Aussterben von Tier- und Pflanzenarten) können resilient bewältigt werden oder sich im Sinn des Schmetterlingseffekts zu globalen Veränderungen (z.B. Störung der Nahrungskette) aufschaukeln.

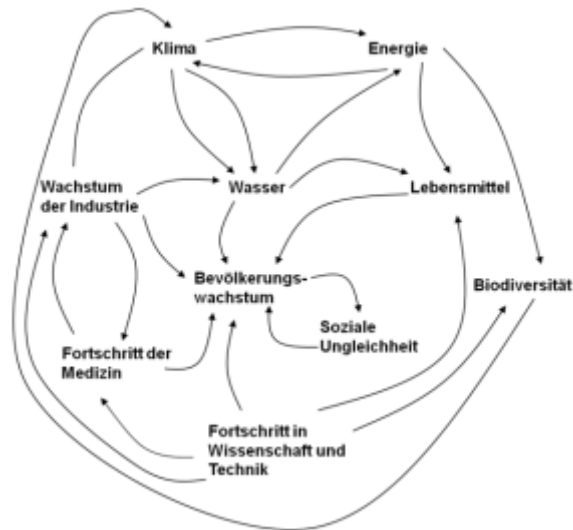


Abb.1. Komplexe Rückkopplungen des Erdsystems

Ökologische Systeme sind Teil des gesamten Erdsystems, in dem Klima und natürliche Ressourcen mit der menschlichen Zivilisation verbunden sind (Abb. 1). Wachsende Erdbevölkerung, Anpassung der Lebensstile auch in Schwellen- und Entwicklungsländern führen zu einer immer stärker werdenden Übernutzung der Ressourcen und Verschmutzung von Wasser, Boden und Atmosphäre. In diesem komplexen System von Rückkopplungsschleifen lösen extreme lokale Störungen (z.B. Erdbeben, Tsunami, Nuklearkatastrophen) eine kaskadenhafte Ausbreitung von Effekten aus, die das gesamte System erschüttern (Abb. 2). Wir benötigen daher Frühwarnsysteme für Krisen und Katastrophen im komplexen Erdsystem. Natur, Umwelt und Leben lassen sich zwar aufgrund ihrer Komplexität nicht total berechnen und kontrollieren. Wir können aber ihre Systemgesetze analysieren und verstehen, um die Selbstorganisation nachhaltiger Entwicklungen zu ermöglichen.



Abb. 2. Extreme lokale Störungen lösen in komplexen Systemen globale Krisen aus



## **Chaos und Komplexität in Wirtschaft und Gesellschaft**

Menschen agieren heute in komplexen Organisationen und Gesellschaften. Was wissen wir über deren Dynamik? Wie ist Handeln und Entscheiden in solchen komplexen Systemen möglich? Menschen verhalten sich in Gruppen und erzeugen dabei typische Verhaltensmuster, bauen soziale Ordnungen auf oder lassen das ganze System instabil werden und stürzen ins Chaos ab.

Bei sozialem Verhalten von Menschen stellen sich zwar bemerkenswerte Analogien mit Modellen der Natur (z.B. Schwarmintelligenz) heraus, die aber in anderer Hinsicht völlig verschieden sind. So sind bereits Börsendaten Messungen von subjektiven Glaubensannahmen, Meinungen und Hoffnungen, die Wirtschaftsdynamik beeinflussen, d.h. etwas verändert sich messbar, weil wir es wünschen, glauben, hoffen oder befürchten. Dabei kommt es zu charakteristischen Rückkopplungen zwischen Handelnden, ihren Absichten und Modellen sozialer Wirklichkeit.

Märkte und Unternehmen sind Beispiele für komplexe ökonomische Systeme, in denen Menschen in vielen ökonomischen Funktionen interagieren. In der Tradition des klassischen Liberalismus und analog zur klassischen Physik des 18. und 19. Jahrhunderts wurde häufig eine lineare Gleichgewichtsdynamik angenommen, nach der die freie Selbstorganisation ökonomischer Kräfte automatisch zum „Wohlstand der Nationen“ führt. Im Zeitalter der Globalisierung liegt den Finanz- und Wirtschaftsmärkten tatsächlich eine Nicht-Gleichgewichtsdynamik zugrunde, deren Phasenübergänge mit Turbulenzen und Chaos, aber auch neuen Innovationsschüben verbunden sind. Attraktoren komplexer Dynamik entsprechen wieder Ordnungsparametern und Potenzgesetzen zwischen Zufall und starrer Regularität. Damit kann Komplexitätsforschung Signale erkennen, um sich rechtzeitig auf wirtschaftliche Umbrüche und Chancen vorzubereiten.

## **Von komplexen Systemen zur Künstlichen Intelligenz**

Künstliche Intelligenz (KI) beherrscht längst unser Leben, ohne dass es vielen bewusst ist. Smartphones, die mit uns sprechen, Armbanduhren, die unsere Gesundheitsdaten aufzeichnen, Arbeitsabläufe, die sich automatisch organisieren, Autos, Flugzeuge und Drohnen, die sich selbst steuern, Verkehrs- und Energiesysteme mit autonomer Logistik oder Roboter, die ferne Planeten erkunden, sind technische Beispiele einer vernetzten Welt intelligenter Systeme. Sie zeigen uns, wie unser Alltag von KI-Funktionen bestimmt ist. Turing definierte 1950 in dem nach ihm benannten Test ein System dann als intelligent, wenn es in seinen Antworten und Reaktionen nicht von einem Menschen zu unterscheiden ist (Turing 1950). Der Nachteil dieser Definition ist, dass der Mensch zum Maßstab gemacht wird. Auch biologische Organismen sind nämlich Beispiele von „intelligenten“ Systemen, die wie der Mensch in der Evolution mehr oder weniger zufällig entstanden und mehr oder weniger selbstständig Probleme effizient lösen können. Der derzeitige Hype der Künstlichen Intelligenz wird durch die gestiegene Rechenkapazität von Computern möglich, die Machine Learning realisieren kann. Im Machine Learning spielen neuronale Netze nach dem Vorbild der Selbstorganisation im menschlichen Gehirn eine dominante Rolle. Der Durchbruch der KI-Forschung in der Praxis hängt wesentlich mit der Fähigkeit neuronaler Netze zusammen, große Datenmengen (Big Data), z.B. bei der Mustererkennung, beim autonomen Fahren, in der Robotik und in Industrie 4.0 mit effektiven Lernalgorithmen anzuwenden. Obwohl die technische Zivilisation zunehmend von diesen KI-Algorithmen abhängt, sind sie mit erheblichen Sicherheitsrisiken verbunden. Daher sind Verifikationsverfahren erforderlich, mit denen Sicherheitsstandards von neuronalen Netzen berechnet und garantiert werden können (Mainzer 2020). Sie sind eine notwendige Bedingung für Fragen der Sicherheit, Ethik und Verantwortung.

## **Chaos und Komplexität in Kommunikations- und Versorgungssystemen**

Eine zentrale Forderung für nachhaltiges Wirtschaften ist die Umwandlung in eine Kreislaufwirtschaft, in der alle Produktions- und Verbrauchsgüter energie- und umweltschonend wieder in den Güterkreislauf zurückgeführt werden. Dabei wird eine nachhaltige Lösung des Energieproblems zur

Voraussetzung von Digitalisierung und Künstlicher Intelligenz, die enormen Energieverbrauch voraussetzen. Insofern muss eine nachhaltige Kreislaufwirtschaft den Energieverbrauch der Digitalisierung zunächst sichern. Umgekehrt lässt sich aber eine nachhaltige Kreislaufwirtschaft wegen der Komplexität ihrer Wechselwirkungen nur durch IT und KI effektiv realisieren. Zusammengefasst gilt also: Digitalisierung durch nachhaltige Kreislaufwirtschaft und nachhaltige Kreislaufwirtschaft durch Digitalisierung!

### **Was lernen wir aus der Dynamik komplexer Systeme?**

Zusammenfassend stellen wir fest: Die Theorie komplexer dynamischer Systeme untersucht Selbstregulation in nichtlinearen Prozessen von Natur und Gesellschaft. Als Beispiele seien die Herausforderungen der Globalisierung, von Umwelt und Klima, Life Sciences und Informationsflut genannt. Veränderungen, Krisen, Chaos, Innovations- und Wachstumsschübe werden durch Phasenübergänge in kritischen Zuständen modelliert. Ziel sind Erklärungen und Prognosen dieser Prozesse, aber auch Frühwarnsysteme für extreme Störungen. Selbstorganisation ist zwar notwendig, um die zunehmende Komplexität dieser Entwicklung zu bewältigen. Sie kann aber auch zu unkontrollierbarer Eigendynamik und Chaos führen. In komplexen dynamischen Systemen bedarf es daher Monitoring und Controlling. Die Natur hat uns das in der Evolution der Organismen gezeigt. Das gilt auch für technische, soziale und ökonomische Systeme. Ziel sind nachhaltige Infrastrukturen als Dienstleistung für uns Menschen, die helfen, eine immer komplexer werdende Welt zu bewältigen und lebenswerter zu gestalten. Dazu werden wir eine verantwortungsvolle KI benötigen.

#### Literaturverzeichnis

- K. Mainzer, Thinking in Complexity. The Computational Dynamics of Matter, Mind, and Mankind, Springer: New York 5th extended edition 2007
- K. Mainzer, Artificial Intelligence. When do Machines take over, Springer: Berlin 2nd edition 2019

## **Systemische Risiken und Polykrisen: Die Notwendigkeit eines integrativen Ansatzes**

Die deutsche Gesellschaft war in den letzten Jahren einer Reihe schwerer Krisen ausgesetzt. Risikoforscher nennen sie Polykrisen (Homer-Dixon et al. 2021; Homer-Dixon und Rockström 2024). Zuerst kam Corona, dann kamen die wie eingehenden Erscheinungsformen des Klimawandels, zum Beispiel Überschwemmungen, Dürren und Waldbrände, der Krieg in der Ukraine, Nahrungsmittelkrisen in der Welt, Inflation, galoppierende Energiepreise, und es werden täglich mehr. Kennzeichnend für Polykrisen ist die gegenseitige Verstärkung verschachtelter, miteinander verbundener Risiken.

So wurden beispielsweise die Lieferketten durch die politischen Maßnahmen zur Bekämpfung der Corona-Pandemie unterbrochen. Darüber hinaus kommt es zu so genannten Dominoeffekten, wenn beispielsweise der Ukraine-Krieg Engpässe bei der Getreideversorgung auslöst. Der Einmarsch Russlands in die Ukraine stürzte die Weltwirtschaft aus dem beginnenden Aufschwung in die Inflation und droht, einen Krieg zwischen den beiden größten Atommächten der Welt auszulösen. Jetzt verstärken sich die Auswirkungen von Kriegen, Pandemien und extremen Wetterbedingungen in

Prof. Dr. Dr. h.c.mult Ortwin Renn  
Research Institute for Sustainability –  
Helmholtz Center Potsdam (retired)  
Risk Governance, Technology  
Assessment, Public Participation  
Member of Leopoldina, Acatech and  
EASA

Indien, China, Afrika und Europa gegenseitig und führen zu Engpässen in der Nahrungsmittelversorgung und zunehmendem Hunger auf dem gesamten Planeten (Trabucco 2022).

Jede Krise - ob politisch, epidemiologisch, militärisch, wirtschaftlich oder ökologisch - zwingt die Gesellschaft dazu, ihre alltäglichen Vorstellungen davon, was normal und was in naher Zukunft zu erwarten ist, neu zu definieren und umzugestalten. In einem Moment erschüttert eine Pandemie die Grundfesten der Gesellschaft, im nächsten ist der Fortbestand der liberalen Demokratien ernsthaft in Frage gestellt, und dann sind es wieder politische Krisen.

Wesentliche Merkmale der heutigen Polykrisen sind (WPKS 2023):

- Mehrere parallele Krisen, die sich gegenseitig beeinflussen und verstärken. Die Klimakrise ist nur eine unter vielen, aber eine besonders starke,
- Das Fehlen von dominanten Lösungen, die in allen Kriterien besser abschneiden als alternative Handlungsmöglichkeiten,
- Die Notwendigkeit eines umfassenden systemischen Verständnisses der Wechselwirkungen zwischen sozialen, natürlichen, technologischen und kulturellen Bereichen,
- Die Notwendigkeit, Zielkonflikte klar zu erkennen und angemessene und ethisch vertretbare Kompromisse zu schließen, die ein hohes Maß an Widerstandsfähigkeit aufweisen, insbesondere gegenüber bestehenden und künftigen Krisen,
- Verzicht auf eindimensionale Optimierungen, da diese in der Regel mit unverhältnismäßigen Verlusten bei anderen (ebenso wichtigen) Kriterien verbunden sind,
- Die Notwendigkeit einer ungeschminkten Kommunikation, die die Zielkonflikte anspricht,
- Die Notwendigkeit der Einbeziehung von Interessenvertretern und der betroffenen Bevölkerung in die Abwägung von Zielkonflikten und die Suche nach gemeinsamen Lösungen, ohne wertvolle Zeit zu verlieren.

### **Das analytische Instrument zum Verständnis von Polykrisen: das Konzept des systemischen Risikos.**

Betrachtet man die globalen ökologischen, ökonomischen und soziokulturellen Transformationsphänomene, die wir oben mit der Einführung des Begriffs Polykrise charakterisiert haben, genauer, so entdeckt man eine Reihe von miteinander verknüpften und sich gegenseitig beeinflussenden Risiken, denen nicht genügend Aufmerksamkeit geschenkt wird und die die relevanten Akteure wie Regierungen, Wirtschaftsunternehmen oder zivilgesellschaftliche Gruppen weltweit vor große Probleme stellen, zu regeln und auf ein akzeptables Maß zu begrenzen.

Diese schleichenden Risiken, die das Wohlergehen der Menschen bedrohen, lassen sich mit dem Begriff der systemischen Risiken umschreiben (Renn et al. 2021; Renn 2020). Die bisher üblichen Ursache-Wirkungs-Modelle greifen in einer Welt, die durch systemische Wechselwirkungen zwischen vermeintlich unabhängigen Risikoquellen gekennzeichnet ist, immer weniger. Dies gilt für die Welt als Ganzes, aber ebenso für ihre zahlreichen Subsysteme. Alltägliche Phänomene in Natur, Technik und Gesellschaft können deshalb nur verstanden werden, wenn sie als dynamische Prozesse in komplexen Systemen betrachtet werden. Statt der linearen Vervielfältigung einzelner Datensätze rücken zunehmend systemische Zusammenhänge in den Mittelpunkt der Analyse. Dies gilt prinzipiell für alle Systeme und Prozesse, sei es in Natur, Technik, Medizin, Wirtschaft oder Gesellschaft. In besonderem Maße ist die systemische Sichtweise für die Risikoforschung relevant, bei der technische, natürliche und sozioökonomische Prozesse mit gesellschaftlichen Reaktions- und Diskursprozessen interagieren.

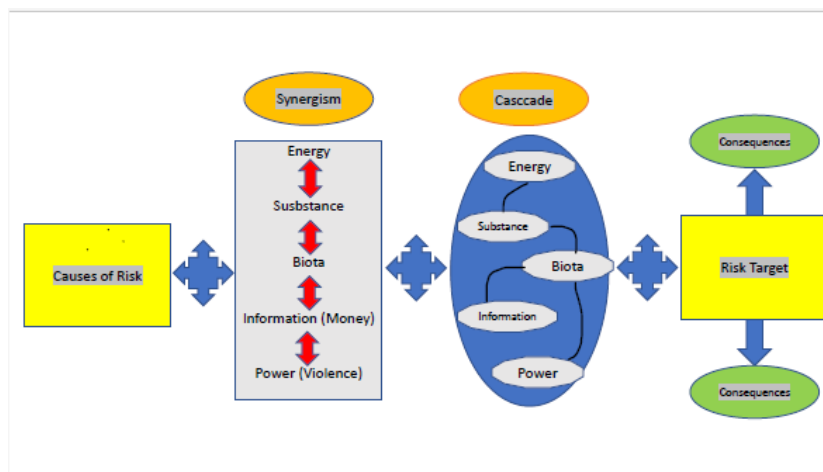
Dementsprechend werden diese Risiken in der Literatur als "systemische Risiken" bezeichnet und umfassen unter anderem die globale Erwärmung und die damit verbundene Häufung von Extremereignissen, den Ausbruch von Zoonose-Krankheiten, den Rückgang der biologischen Vielfalt, die zunehmende wirtschaftliche Ungleichheit, die Instabilität des Finanzsystems, ideologischen Extremismus, Cyberangriffe, zunehmende soziale und politische Unruhen und geopolitische

Ungleichgewichte (Schweizer 2021). Die meisten dieser systemischen Risiken sind schwerwiegender, störender und gefährlicher geworden als in früheren Jahrzehnten. Die Risikoforschung hat dies als Risikoverstärkung bezeichnet. (Kasperson et al. 1988) Und in den meisten Fällen nehmen auch die Wahrscheinlichkeit und das Ausmaß dieser Risiken heute schneller zu als in der Vergangenheit.

### Das Zusammenspiel der Risikoträger: eine weitere Abstraktionsebene

Die Notwendigkeit, die Interdependenzen zwischen systemischen Risiken in verschiedenen globalen Kontexten abzubilden, kann leicht zu den üblichen Spaghetti-Diagrammen führen, die versuchen, komplexe Kausalzusammenhänge zu veranschaulichen, aber möglicherweise einige entscheidende Verbindungen übersehen, die bei genauerer Untersuchung einen dominanten Einfluss haben, andere überbetonen, die in der realen Welt nur schwache Verbindungen aufweisen, oder Kausalzusammenhänge vorschlagen, die alle plausibel sind, aber letztlich alles mit allem verbinden. Um sich besser auf die Art solcher Zusammenhänge konzentrieren zu können und analytisch präzise zu sein, kann es hilfreich sein, die wichtigsten Akteure zu identifizieren, die das Potenzial haben, Schaden zu verursachen, und sich darauf zu konzentrieren, wie sie mit anderen interagieren.

Im Rahmen der systemischen Risiken wurde ein solcher Ansatz der Isolierung der Hauptrisikoträger in mehreren Veröffentlichungen vorgeschlagen und untersucht (Renn et al. 2022, SAPEA 2022, Renn 2020, Schweizer et al. 2021). Der Grundgedanke ist, dass sich die potenziell zerstörerische Kraft eines Risikos, unabhängig von seiner Ursache, in drei physischen und zwei sozialen Agenten (Trägern oder Medien) manifestiert. Die physischen Agenten sind: Energie (in all ihren Formen), Substanz (insbesondere toxische Substanzen für Menschen oder Schadstoffe für Ökosysteme) und Biota (Viren, Bakterien, Pilze, etc). Die beiden sozialen Agenten sind: Information (einschließlich Geld) und Macht (einschließlich Gewalt). Der Ablauf einer Polykrise kann im Prinzip in einem einfachen Kausaldiagramm dargestellt werden, das mit den Risikoauslösern beginnt und mit den Folgen in verschiedenen physischen und sozialen Bereichen endet (siehe Abbildung):



Durch irgendeinen Auslöser (Ereignisse wie Erdbeben oder Überschwemmungen und Aktivitäten wie Umweltverschmutzung oder Kriegsführung) wird einer oder mehrere dieser Stoffe freigesetzt. Ein Erdbeben würde kinetische Energie freisetzen, ein technischer Unfall in einer Chemiefabrik giftige Stoffe oder die enge Kopplung von Tieren und Menschen könnte zum Auftreten einer neuen Pandemie führen. Neue Gerüchte (Informationen) über die Leistung eines Unternehmens können dessen Wert verändern und sich auf die Verteilung des Reichtums auswirken, oder die Macht eines autokratischen Systems kann mit gewaltsamen Mitteln ein unabhängiges Land erobern. Diese eindimensionalen Begegnungen zwischen einem Risikoerreger und einem Risikoziel (oder einem risikoabsorbierenden System, wie es in den Veröffentlichungen des IRGC (2018, 2019) genannt wird) stellen vertraute Fälle für herkömmliche Risikobewertungen dar, die die Wahrscheinlichkeit, dass diese Erreger freigesetzt werden, mit dem Ausmaß der Folgen verknüpfen, die diese Erreger bei den exponierten Zielen

verursachen. In einer Polykrisensituation interagieren alle diese Agenzien und verstärken oder schwächen sich gegenseitig.

Es gibt zwei mögliche Wege der Interaktion (Lawrence et al. 2022). Der erste Weg ist die Risikokaskade: Das Erdbeben kann zur Explosion der Chemiefabrik führen, wodurch giftige Stoffe freigesetzt werden, die nicht oder falsch an die gefährdete Öffentlichkeit kommuniziert werden, mit der Folge, dass die verantwortlichen Kommunikatoren ihre Macht verlieren und in dem darauffolgenden Chaos neue Gefahren freigesetzt werden, die z. B. den Klimawandel mit seinen eigenen Folgen verschärfen. Die fünf Agenten interagieren alle auf eine sequenzielle Weise, oft mit mehreren parallelen Sequenzen, die wiederum miteinander interagieren.

Der zweite Weg ist der Risikosynergismus: Zusammenhängende oder nicht zusammenhängende Auslöser setzen gleichzeitig mehrere dieser Agenzien frei, die sich gegenseitig unmittelbar beeinflussen und den potenziellen Schaden verschlimmern. So können beispielsweise das Risiko des Klimawandels und das Risiko des Glaubwürdigkeitsverlustes angesichts des russischen Einmarsches in der Ukraine gleichzeitig zur Freisetzung von Stoffen führen, die zu höheren globalen Temperaturen führen (z. B. CO<sub>2</sub>, das bei der Verwendung von Flüssiggas zum Heizen von Häusern freigesetzt wird), und zu einer verzweifelten Kommunikationsstrategie, um den offensichtlichen Widerspruch zwischen dem Kauf von klimaempfindlichem Flüssiggas aus autokratischen Ländern außerhalb Russlands und der Beibehaltung einer Politik des strikten Klimaschutzes zu erklären. Diese wahrscheinlich zum Scheitern verurteilte Kommunikationsstrategie könnte einen Glaubwürdigkeitsverlust der Regierung, eine Machtverschiebung im öffentlichen Diskurs und einen neuen Trend zu populistischen Bewegungen auslösen.

Sowohl Risikosynergismen als auch -kaskaden überschneiden sich und bilden spezifische Interaktionsmuster, die identifiziert, manchmal in mathematischen Modellen formalisiert und, wenn dies nicht möglich ist, in kohärente Erzählungen eines Polykrisenzyklus übertragen werden können. Die begrenzte Anzahl von Akteuren erleichtert den Vergleich verschiedener Zyklen oder sogar Zyklustypen und bietet ein leistungsfähiges Instrumentarium für die Entwicklung einer abstrakteren und allgemeineren Taxonomie der Polykrise. Zum gegenwärtigen Zeitpunkt sind diese konzeptionellen Ideen noch nicht weiter getestet oder auf empirische Fallstudien angewandt worden. Der Ansatz bietet jedoch ein vielversprechendes Potenzial zur Verbesserung unseres Verständnisses von Polykrisen sowie unserer Fähigkeit und Kapazität, Polykrisen wirksamer zu steuern.

### Literaturverzeichnis

Homer-Dixon, Thomas und Rockström, Johan (2022): What Happens When a Cascade of Crises Collide? *The New York Times*, November 13.

Lawrence, Michael; Homer-Dixon, Thomas; Janzwood, Scott; Rockstöm, Johan; Renn, Ortwin & Donges, Jonathan F. (2024): Global Polycrisis: The Causal Mechanisms of Crisis Entanglement. *Global Sustainability*. 2024:1-36. doi:10.1017/sus.2024.1

IRGC - International Risk Governance Center (2018): *IRGC Guidelines for the Governance of Systemic Risks*. Lausanne: EPFL: International Risk Governance Center

IRGC- International Risk Governance Council (2019): *Introduction to the IRGC Risk Governance Framework. Revised Edition*. Lausanne, EPFL International Risk Governance Center

Kasperson, Roger E.; Renn, Ortwin; Slovic, Paul; Brown, Halina. S.; Emel, Jody; Goble, Robert; Kasperson, Jeanne X. und Ratick, Samuel (1988): The Social Amplification of Risk. A Conceptual Framework, *Risk Analysis*, 8 (2): 177-187

Lawrence, Michael; Janzwood, Scott und Homer-Dixon, Thomas (2022): *What Is a Global Polycrisis? And How Is It Different from a Systemic Risk?* Discussion Paper 2022-4. Version 2.0. Cascade Institute.

Renn, Ortwin (2021): New challenges for risk analysts: systemic risks. *Journal of Risk Research*, 2, <https://doi.org/10.1080/13669877.2020.1779787>

- Renn, Ortwin; Laubichler, Manfred; Lucas, Klaus; Schanze, Joachim; Scholz, Roland und Schweizer, Pia-Johanna: Systemic Risks from Different Perspectives. *Risk Analysis*, 42 (9): 1902-1920
- Renn, Ortwin; Lucas, Klaus; Haas, Armin und Jaeger; Carlo (2019): 'Things Are Different Today: The Challenge of Global Systemic Risks'. *Journal of Risk Research* 22 (4):401–15. doi: 10.1080/13669877.2017.1409252.
- SAPEA - Science Advice for Policy by European Academies (2022): *Strategic crisis management in the European Union*. Berlin: SAPEA, <https://doi.org/10.26356/crisismanagement>
- Schweizer, Pia-Johanna (2021): Systemic Risks – Concepts and Challenges for Risk Governance. *Journal of Risk Research* 24 (1):78–93. doi: 10.1080/13669877.2019.1687574.
- Schweizer, Pia-Johanna; Goble, Robert und Renn, Ortwin (2021): Social perception of systemic risks. *Risk Analysis*, 3, <https://doi.org/10.1111/risa.13831>
- Trabucco, D. (2022): The European Union Beyond the Polycrisis? Integration and Politicization in an Age of Shifting Cleavages. *TECHNE-Journal of Technology for Architecture and Environment*, 283-284, <file:///Users/ortwinrenn/Downloads/12922-Article%20Text-40022-1-10-20220518.pdf>
- WPKS-Wissenschaftsplattform Klimaschutz (2023): Resilienz und Klimaschutz: Herausforderungen für Wissenschaft und Politik. Hintergrundpapier der Wissenschaftsplattform Klimaschutz. WPKS: Berlin, [https://www.wissenschaftsplattform-klimaschutz.de/files/WPKS\\_Hintergrundpapier\\_Resilienz\\_Klimaschutz.pdf](https://www.wissenschaftsplattform-klimaschutz.de/files/WPKS_Hintergrundpapier_Resilienz_Klimaschutz.pdf)

## Vielfalt des Denkens zur Regulation menschlicher Systeme

In Gesellschaften rund um die Welt greifen Menschen bewusst oder unbewusst in den Planeten und seine Umwelt ein und verändern deren natürliche Systeme und deren Fähigkeit zur Selbstregulierung. Der heutige rasche Klimawandel ist eines der Ergebnisse der menschlichen Eingriffe. Angesichts der geografischen, klimatischen, kulturellen und sozialen Komplexität auf der Welt müssen innovative Ansätze zur Erhaltung des Lebens auf der Erde die Vielzahl der Dimensionen des Erdsystems widerspiegeln. Innovation erfordert Vielfalt im Denken, um Selbstregulierung zu ermöglichen.

Dr. phil. Mirka Wilderer  
 CEO & President of  
 Aqueous Vets, USA  
 Business/leadership/water  
 Member of YPO, GenCEO, IWF

Der Klimawandel ist zwar allgemein anerkannt, doch viele der derzeitigen Bemühungen, eine Trendumkehr zu erwirken, werden in eindimensionalen Anstrengungen innerhalb der etablierten Silos der einzelnen Sektoren vorangetrieben und bleiben hinter den Erwartungen zurück, nachhaltige Verbesserungen zu erzielen. Das überrascht nicht im Geringsten: Da wir immer wieder den gleichen Leuten die gleichen Fragen stellen, erhalten wir natürlicherweise auch die gleichen Antworten und Lösungen. Um unser derzeitiges Denken zu durchbrechen und bahnbrechende Innovationen für den Klimaschutz zu verwirklichen, müssen wir beide Teile dieser Gleichung angehen und Menschen mit unkonventionellem Hintergrund, ungewöhnlichen Erfahrungen und alternativen Perspektiven befähigen, neue Fragen zu stellen. Da das neue Business-as-usual-Umfeld dynamisch, unerwartet und ständig in Bewegung ist, müssen wir an unkonventionellen Orten nach Inspiration suchen. Und es ist erwiesen, dass Innovation in Organisationen entsteht, die sich durch Vielfalt auszeichnen. Dies erfordert aktives Zuhören, die Bereitschaft zu mutigen Gesprächen, kühnes Experimentieren mit ungewohnten Ideen und eine unbegrenzte Neugier, zukünftige Ansätze neu zu überdenken.

## Was sind die Vorteile von Vielfalt?

In den letzten Jahren sind Programme zur Förderung von Vielfalt, Chancengleichheit und Integration (Diversity, Equity and Inclusion, DEI) en vogue geworden und gehören zum erwarteten Fokus aller Organisationen. Bei Anlässen wie dem Internationalen Frauentag ist es sehr erfreulich, die vielen Beiträge und Veranstaltungen zu sehen. Gleichzeitig ist es aber auch ernüchternd zu beobachten, wie schnell so viele dieser öffentlichen Erklärungen in den Feeds durch die nächste Modeerscheinung ersetzt werden, so dass das beunruhigende Gefühl entsteht, dass es sich nur um Lippenbekenntnisse handelt. Meiner Meinung nach geht dies am Sinn von DEI vorbei: DEI ist keine Branding-Möglichkeit, sondern eine entscheidende Voraussetzung für die Schaffung einer Mentalität der Widerstandsfähigkeit, Anpassungsfähigkeit und kontinuierlichen Innovation.

Angesichts dieser Fehldarstellung frage ich mich, wie wir DEI nicht mehr nur als Gelegenheit für Werbe- und Reputationsaktivitäten sehen, sondern wie wir die wahren Vorteile und den Geschäftsnutzen für Unternehmen und Organisationen nutzen können. Was sind die wirtschaftlichen Vorteile von Vielfalt? Im Folgenden finden Sie eine Zusammenfassung der von ChatGPT vorgeschlagenen Fakten und Ergebnisse:

- **Breiterer Talentpool:** Durch die aktive Suche nach vielfältigen Kandidaten für offene Stellen können Unternehmen auf einen größeren und vielfältigeren Talentpool zurückgreifen und erhalten so Zugang zu talentierten und klugen Köpfen.
- **Erhöhtes Einfühlungsvermögen:** Wenn Menschen mit anderen zusammenarbeiten, die anders sind als sie selbst, sind sie gezwungen, alternative Standpunkte und Erfahrungen in Betracht zu ziehen, was zu mehr Empathie und Verständnis führen kann. Dies wiederum kann innovativere Lösungen ermöglichen, die ein breiteres Spektrum an Bedürfnissen und Perspektiven berücksichtigen.
- **Erhöhtes kulturelles Bewusstsein und Verständnis:** Wenn Menschen mit Mitmenschen aus anderen Kulturkreisen interagieren, gewinnen sie ein größeres Verständnis und eine höhere Wertschätzung für andere Sichtweisen.
- **Breiteres Spektrum an Erfahrungen und Wissen:** Wenn Menschen mit unterschiedlichen Hintergründen und Erfahrungen zusammenarbeiten, können sie auf ein breiteres Spektrum an Fachwissen und Kenntnissen zurückgreifen, was zu umfassenderen und effektiveren Lösungen führen kann.
- **Mehr Kreativität:** Wenn Menschen mit anderen zusammenarbeiten, die anders sind als sie selbst, werden sie mit neuen Ideen und Vorschlägen konfrontiert, die sie zu kreativeren Denkweisen und Ansätzen inspirieren können.
- **Verbesserte Problemlösungsfähigkeit:** Menschen mit unterschiedlichen Hintergründen und Erfahrungen können Probleme auf einzigartige Weise angehen, was zu einer effektiveren und effizienteren Problemlösung führt. Ihre Zusammenarbeit kann neue Lösungsansätze hervorbringen, die sonst vielleicht nicht in Betracht gezogen worden wären.
- **Bessere Entscheidungsfindung:** Wenn eine vielfältige Gruppe von Menschen beteiligt ist, ist es wahrscheinlicher, dass sie ein breiteres Spektrum von Optionen und Perspektiven in Betracht ziehen, was zu einer besseren Entscheidungsfindung führt.
- **Gesteigerte Innovation:** Wenn Menschen mit unterschiedlichen Hintergründen und Erfahrungen zusammenkommen, bringen sie eine Vielzahl von Perspektiven und Denkweisen ein, was zu neuen Ideen und innovativen Lösungen für komplexe Herausforderungen führen kann.
- **Bessere Kommunikation und Zusammenarbeit:** Diverse Teams können eine Reihe von Kommunikationsstilen und -ansätzen einbringen, was zu einer effektiveren Zusammenarbeit und Teamwork führen kann.
- **Verbessertes Engagement:** Wenn sich Teammitglieder wertgeschätzt und einbezogen fühlen, ist die Wahrscheinlichkeit größer, dass sie sich für ihre Arbeit engagieren und einsetzen. Dies kann zu höherer Produktivität und Arbeitszufriedenheit führen, was wiederum dem gesamten Unternehmen zugutekommt. Ein vielfältiger Arbeitsplatz kann ein Gefühl der Zugehörigkeit und der Inklusion schaffen, was zu einer höheren Mitarbeiterzufriedenheit und einem größeren

Engagement führt. Er berücksichtigt die besonderen Bedürfnisse und Anliegen der verschiedenen Gruppen.

Insgesamt sprechen viele Argumente für Vielfalt, wie z. B. ein breiterer Talentpool, mehr Einfühlungsvermögen und kulturelles Bewusstsein, mehr Kreativität und Innovation, bessere Entscheidungsfindung und Problemlösung, bessere Kommunikation und Zusammenarbeit sowie mehr Engagement.

Es scheint, dass die künstliche Intelligenz die wirtschaftlichen Vorteile von Vielfalt, Gleichberechtigung und Integration voll und ganz erfasst hat. Wie können wir sicherstellen, dass die menschliche Intelligenz diesem Beispiel folgt?

### **Was ist Vielfalt?**

Bei der Reflektion über Vielfalt ist es wichtig, die große Vielfalt an Perspektiven zu berücksichtigen, die erforderlich sind, um den Wandel voranzutreiben, von der generationenübergreifenden über die geschlechtsspezifische und interkulturelle bis hin zur funktionsübergreifenden Vielfalt. Dies verdeutlicht die verschiedenen Aspekte der Vielfalt. Im Zusammenhang mit Organisationen bezieht sich Diversität auf die Vertretung verschiedener Gruppen von Menschen innerhalb der Belegschaft. Zu einer vielfältigen Belegschaft gehören Menschen mit unterschiedlichen Hintergründen, Erfahrungen und Perspektiven, die einzigartige Stärken und Talente in das Unternehmen einbringen. Ein Engagement für Vielfalt bedeutet, diese Unterschiede zu schätzen und zu respektieren und ein integratives Umfeld zu schaffen, das die einzigartigen Talente aller Mitarbeiter ungeachtet ihrer Unterschiede unterstützt und nutzt.

Es gibt viele Faktoren, die zur Vielfalt in der Belegschaft beitragen. Dazu gehören:

- Demografische Faktoren: Vielfalt kann durch die Einstellung von Mitarbeitern aus verschiedenen demografischen Gruppen wie Rasse, ethnischer Herkunft, Geschlecht, Alter und sozioökonomischem Status geschaffen werden.
- Ausbildung und Erfahrung: Unterschiedliche Bildungs- und Berufshintergründe können einzigartige Perspektiven und Fähigkeiten an den Arbeitsplatz bringen.
- Geografischer Standort: Die Rekrutierung von Teammitgliedern aus verschiedenen Regionen oder Ländern kann das Team vielfältiger machen und unterschiedliche kulturelle und religiöse Perspektiven und Erfahrungen einbringen.
- Persönliche Merkmale: Vielfalt kann durch die Wertschätzung und Förderung von unterschiedlichen Denkweisen, Kommunikationsstilen und Problemlösungsansätzen geschaffen werden, unabhängig vom demografischen Hintergrund.
- Eingliederung: Eine integrative Politik, Praxis und Kultur tragen dazu bei, die Vielfalt zu erhalten und ein Gefühl der Zugehörigkeit für die verschiedenen Mitarbeiter zu schaffen.

Vielfalt umfasst sowohl sichtbare als auch unsichtbare Unterschiede und kann als Spiegelbild der komplexen und vielschichtigen Natur menschlicher Erfahrungen gesehen werden. Um ein vielfältiges Team zu bilden, muss man sich dazu verpflichten, Unterschiede zu schätzen und zu fördern, aktiv nach Kollegen mit unterschiedlichem Hintergrund zu suchen und diese einzustellen und ein unterstützendes und integratives Umfeld für alle Mitarbeiter zu schaffen.

### **Diversität als Praxis**

Schließlich ist das Führen von disruptiver Innovation durch Vielfalt auch eine Führungspraxis mit den drei Elementen Mut, Neugierde und Gelassenheit.

- Neugierde bezieht sich auf die aktive Entscheidung, unsere eigenen Annahmen zu überwinden und zuzugeben, dass wir nicht alle Erkenntnisse haben.
- Sich auf andere Sichtweisen und Perspektiven einzulassen, erfordert den Mut, sich mit dem Unbequemen anzufreunden.



- In Anbetracht der emotionalen Reaktionen von uns selbst und anderen müssen wir uns bewusst dafür entscheiden, ruhig und gelassen zu sein, insbesondere wenn andere nicht sofort auf unsere Vorschläge eingehen.

Um Vielfalt zu praktizieren, müssen wir uns unserer eigenen Vorurteile und Annahmen bewusst sein, nach unterschiedlichen Perspektiven und Erfahrungen Ausschau halten und unsere Emotionen aktiv steuern, wenn wir uns dafür entscheiden, Inklusivität und Respekt für alle Menschen zu fördern. Innovation durch Vielfalt für eine verbesserte Selbstregulierung erfordert aktives Zuhören, die Bereitschaft zu mutigen Gesprächen, kühnes Experimentieren mit ungewohnten Ideen und eine unbegrenzte Neugier, zukünftige Ansätze zu überdenken.

### **Aufruf zum Handeln**

Anerkannt als eine der 20 einflussreichsten Frauen in der globalen Wasserwirtschaft, stelle ich fest, dass ich zunehmend "bewusst voreingenommen" gegenüber Menschen aus den unterschiedlichsten Lebensbereichen bin. Ich bin mir bewusst, dass ich eine Rolle dabei spielen muss, Chancen zu bieten und eine Welt zu fördern, die Vielfalt wertschätzt. Ich bin der festen Überzeugung, dass sich die Vielfalt der geografischen Gegebenheiten, der gesellschaftlichen Anforderungen und der menschlichen Erwartungen in der Zusammensetzung der Lösungen widerspiegeln muss, die wir zum Schutz unseres Blauen Planeten anbieten.

Die inspirierende Botschaft von Michelle Obama in ihrem Buch "The Light We Carry" (Das Licht, das wir tragen) hat mich sehr beeindruckt. In einer Welt, in der sich so viele von uns als anders und immer noch als "Einziges" in unserer Umgebung fühlen, betont sie, dass jeder von uns ein inneres Licht in sich trägt, etwas ganz Einzigartiges und Individuelles, eine Flamme, die es wert ist, geschützt zu werden. Sie ermutigt uns, eine Gemeinschaft zu suchen, in der "ein Licht das andere nährt" und "eine engagierte Gemeinschaft die anderen entzünden kann". Gemeinsam können wir Lösungen entwickeln, die über unsere individuellen Fähigkeiten und die Reichweite eindimensionaler Perspektiven hinausgehen. Angesichts der geografischen, klimatischen, kulturellen und sozialen Komplexität der Welt müssen innovative Ansätze zur Erhaltung des Lebens auf der Erde die Vielzahl der Dimensionen des Erdsystems widerspiegeln. Innovation erfordert Vielfalt im Denken, um Selbstregulierung zu ermöglichen.

# **Zu einem besseren Verständnis des Erdsystems durch ein erweitertes Modell des Anthropozäns und die daraus abgeleiteten Regeln für eine angemessene Reaktion.**

## **Die anthropozäne Überformung ist für die Umwelt des Menschen**

So wunderbar unsere Erde ist – immer mehr besorgniserregende Veränderungen vom Klimawandel über die Verschmutzung der Ozeane bis zu wachsendem Streit und Krieg belasten unsere Seelen. Der für diese Phänomene der Moderne verwendete Begriff „Anthropozän“<sup>5</sup> bezieht sich zunächst einmal auf die Zeitspanne, in der der Mensch sein Umfeld signifikant prägt. Er beschreibt gleichzeitig neben dem Zustand auch die Wirkungen ubiquitären menschlichen Handelns auf unser biologisch – physisches, wie auch im gesellschafts-politischen Umfeld. Es entsteht so ein Verständnismodell oder auch Weltbild, das dazu beiträgt, Folgewirkungen („Lieferketten“) des Handelns zu erkennen und vor allem auch Handlungen vorzuschlagen, um die kritischen Auswirkungen zu überwinden.

Prof. Dr.-Ing. Martin G. Grambow  
Bavarian State Ministry for the  
Environment and Consumer Protection  
Director of the division on  
water management and geology  
International water management  
and water ethics

Die Veränderungen der Welt, die zum Zeitalter des Anthropozäns geführt haben, setzen sich aus beabsichtigten Entwicklungen sowie unbeabsichtigten Nebenwirkungen zusammen. Die beabsichtigten Entwicklungen sind die durch unseren Erfindungsgeist geschaffenen technischen Möglichkeiten vom Bau, der Urbarmachung der Landschaft bis zur Produktion von Gütern. Sie sind in der Summe Ausdruck unserer Kultur und Zivilisation<sup>6</sup>. Die daraus entstandenen negativen Nebenwirkungen, deren prominenteste Vertreter die Emission von Klimagasen und der damit induzierte Klimawandel sind, bedrohen allerdings inzwischen die positive Entwicklung unserer Zivilisation.

Eine Herleitung von drei grundlegenden Wirkmechanismen (primäre, sekundäre und tertiäre Folgen), die in der Summe zu den als Anthropozän beschriebenen Auswirkungen für das Erdsystem führen, soll uns den Weg zu den dringend erforderlichen Antwortstrategien eröffnen. Zu entscheiden sind unter anderem die Fragestellungen, ob wir das Erdsystem aggressiv durch noch weitergehende technische Eingriffe stabilisieren können, ob es genügt, im Sinne der konsistenten und suffizienten Verhaltensänderung den weiteren Einfluss auf das Erdsystem zu verringern oder ob wir aktiv den kritischen menschlichen Einfluss auf das gesamte Ökosystem beziehungsweise das Erdsystem einschließlich seiner Subsysteme soweit zurückzunehmen müssen, dass sich die Systeme wieder selber stabilisieren können (vgl. Theorie der Resilienz<sup>7</sup>).

## **Primäre Auslöser und Folgen für unser Umweltsystem**

Primärauslöser des Anthropozäns werden an jedem Ort der Erde, wo Menschen leben, mehr oder weniger direkt verursacht und sind eben dort zu beobachten. Es handelt sich um die zielgerichteten,

<sup>5</sup> P.J Crutzen 2011, „Die Geologie der Menschheit“ (Suhrkamp): Das Anthropozän ist nach dem Nobelpreisträger Paul Crutzen die „...gegenwärtige, vom Menschen geprägte geologische Epoche...“, die erdgeschichtlich dem Holozän folgt. Crutzen weiter: „Solange es nicht zu einer globalen Katastrophe kommt – einem Meteoriteneinschlag, einem neuen Weltkrieg oder einer verheerenden Pandemie etwa - wird die Menschheit auf Jahrtausende hinaus einen maßgeblichen ökologischen Faktor darstellen. Wissenschaftler und Ingenieure stehen vor einer gewaltigen Aufgabe: Sie müssen der Gesellschaft den Weg in Richtung eines ökologisch nachhaltigen Managements des Planeten im Zeitalter des Anthropozäns weisen in Richtung eines ökologisch nachhaltigen Managements des Planeten im Zeitalter des Anthropozäns weisen“

<sup>6</sup> Im christlichen Kulturkreis legitimiert durch die zeitweise Bibelauslegung, „Seid fruchtbar und mehret euch, füllt die Erde und unterwerft sie [...] „mach dir die Erde untertan“ (Genesis 1, 28s), vgl. in diesem Zusammenhang René Descartes, 1637, Menschen sind „*mâtres et possesseurs de la nature*“, Discours de la méthode et Essais. Charles Adam und Paul Tannery (Hrsg.), Léopold Cerf, Paris 1902, S. 62.

<sup>7</sup> B. Walker und D. Salt (2006), Resilience thinking, Island Press

also durchaus gewollten Kulturleistungen der Urbanisierung, der Landschaftsgestaltung und der Produktion – jeweils einschließlich ihrer ungewollten oder in Kauf genommenen unangenehmen Nebenwirkungen.

Physikalische Veränderungen der Landschaft: Die Landschaft in größten Teilen Europas ist zur Kulturlandschaft hin verändert. In Europa sind durch die Urbarmachung 2/3 der Wälder<sup>8</sup> und ca. 84 % der Feuchtflächen<sup>9</sup> in landwirtschaftliche Nutzfläche oder Siedlungs- und Verkehrsflächen verwandelt worden. U.a. gibt es kaum noch Oberflächengewässer von Bedeutung, die nicht vom Menschen verändert – begradigt, eingedeicht, ausgebaut, gestaut – wurden. Ein Rückversetzen in ursprüngliche (holozäne) Zustände ist weder wünschenswert noch realistisch. Es scheint allerdings, dass wir ein Optimum zwischen wirtschaftlicher Nutzung und ökologischer Verträglichkeit erreicht und inzwischen überschritten haben<sup>10</sup>. Damit einher geht die Veränderung der Biozöosen: Die Biozöosen der Landschaft haben durch diese und andere menschliche Einflüsse eine sehr weitreichende Wandlung vollzogen. Viele Lebensräume, vor allem auch im Untergrund und den Gewässern, sind nachhaltig verändert und damit auch die Biomatrix („Artensterben“). Zusätzliche Beeinflussung erfolgt durch den Einfluss synthetischer (Schad-)Stoffe: Die Entropievergrößerung durch Chemikalien (Produktion und Konsum sowie Abfallprodukte) belastet die regionalen Ökosysteme, mittlerweile aber auch die globalen Ökosysteme zunehmend.

### **Mittelbare- oder sekundäre Auslöser und Folgen**

Als *Sekundärauslöser und -folgen* (des Anthropozäns) sollen all jene Phänomene verstanden werden, die

- aus der Aufsummierung flächiger und langanhaltender Folgen (impact) der primären Auslöser entstehen, die
- überörtlich, d.h. auch außerhalb der ursprünglichen Entstehungsgebiete und
- nachhaltig auf parallel und übergeordnete Systeme wirken und damit
- für das Erdsystem und relevante Subsysteme ihrerseits wiederum maßgebliche Auswirkung haben.

Solche Effekte sind insbesondere der Klimawandel und das diffuse Artensterben und deren jeweilige weitere Konsequenzen wie Wassermangel, Resilienzverlust durch Zusammenbruch stabilisierender Biotop (Wälder, Riffe). Die Übergänge zwischen Primär- und Sekundärfolgen können fließend sein.

### **Tertiäre Effekte: Dynamischer Wissenszuwachs und Respekt vor komplexen Systemen**

(οἶδα οὐκ εἰδώς)<sup>11</sup>

Eine vernünftige Einschätzung des Anthropozän und eine adäquate Strategie zur Abwehr ungewollter Veränderungen erfordert wegen des inzwischen stattgefundenen tiefen Eingreifens in das riesige, komplizierte und komplexe Erdsystem neben dem Verständnis der primären und sekundären Auslöser und Folgen auch noch eine Reflexion über unseren (Un-)Wissensstand und die Risiken komplizierter und komplexer Entwicklungen. Hier haben wir mit drei Phänomenen zu kämpfen:

1. Wir haben unsere vitalen Systeme und ihr komplexes Zusammenwirken bei weitem nicht vollständig verstanden. Damit fehlt teilweise das Wissen über deren positive Effekte auf das

---

<sup>8</sup> H.-R. Bork et al., Umweltgeschichte Deutschlands, 2020

<sup>9</sup> E. Fluet-Chouinar et al.: *Extensive global wetland loss over the past three centuries*, Zahlenwert bezogen auf Deutschland, Nature Vol. 614, Seite 281 ff., 2023

<sup>10</sup> Indikatoren sind der Artenschutz und der gute Zustand der EU-Wasserrahmenrichtlinie.

<sup>11</sup> Sokrates' "ich weiß, dass ich nicht weiß", also bekanntes Nicht-Wissen“ als wichtiger Teil des Wissens

gesamte Ökosystem und wächst das Risiko, dass beschädigte Systeme Folgelasten auslösen.

2. Wir haben die negativen Wirkungen unserer primären und sekundären Auslöser höchstens zum Teil verstanden. Deshalb tauchen alle paar Monate wieder neue Bewertungen lange existierender chemischer Substanzen oder Wirkzusammenhänge in biologischen Prozessen auf.
3. Die Wechselwirkung aus mangelhaftem Verständnis der bestehenden Systeme und fortschreitenden anthropogenen Veränderungen mit den primären und sekundären Folgen potenziert die Wahrscheinlichkeit nicht-resilienter Entwicklungen.

### **Grundlegende Vorschläge zum vernünftigen Umgang mit der Erkenntnis des Anthropozäns**

Im Anthropozän haben wir nicht nur die Entwicklung der Welt maßgeblich beeinflusst, sondern implizit die Verantwortung für die Zukunft geerbt. Mutter Natur kann uns nicht mehr durch ihre Selbstregulationskräfte „retten“, die Spielregeln für unser Überleben hängen zunehmend von unserem Verhalten ab. Mit jedem unserer kollektiven Eingriffe wird die Systemresilienz geschwächt und es wächst die Gefahr von Nebenwirkungen. Die weitere Entwicklung dieses aus anthropogenen Interessen überformten Erdsystems muss inzwischen als kritisch eingeschätzt werden. Das kann – siehe den Klimawandel - fatal enden und ist aus ethischer Sicht wohl unverantwortlich.

Diese Erkenntnis führt nun bei einigen Charakteren zu einer erneuten Hybris, man (homo sapiens) sei schöpfergleich und könne mit weiteren technischen Maßnahmen die Erde aktiv steuern (großflächiger Einsatz von Geoengineering). Nicht viel besser ist die mental schlichte Erwartung, das Ökosystem oder auch der Schöpfer müsse sich unter diesen Umständen halt etwas einfallen lassen oder hätte längst einen Plan B.

Sowohl die Wissenschaft<sup>12</sup> als auch die Ethik<sup>13</sup> kommen zu einer anderen Erkenntnis: Wir müssen dadurch Verantwortung übernehmen, dass wir unser Handeln im Rahmen der ökologischen Grenzen gestalten! Maßstäbe für die Zukunftssicherheit ist die Nachhaltigkeit und die Systemresilienz.

Im jetzigen Zustand scheinen wir diese Resilienz überfordert zu haben. Um eine Zerstörung des Systems durch exponentielle Verschlechterung zu verhindern, ist zu raten:

- a. Wir sollten die unzähligen Zeichen für kritische Systemveränderungen endlich ernst nehmen. Gerade das Wissen um unsere unvermeidbaren Unsicherheiten oder Unwissen verlangt einen verantwortungsvollen Umgang mit den daraus resultierenden Risiken. Ein „Weiter wie Bisher“ ist unter Risikoaspekten ethisch und ökonomisch unverantwortlich<sup>14</sup>.
- b. Unsere technischen Entwicklungen und ihre ubiquitäre Anwendung haben zu einer Art unbeabsichtigten, „induzierten Geoengineering“ geführt. Die rein technischen Antworten zur Systemstabilisierung durch global angewandtes Geoengineering sind denkbar, aber nach heutigem Wissen weder sicher wirksam noch sicher beherrschbar. Dennoch sind dazu die vorhandenen Techniken einer kritischen Diskussion zu unterziehen und schnell verbindliche nationale und internationale Regeln aufzustellen<sup>15</sup>.
- c. Die deutlich kohärentere Reaktion liegt darin, die anthropogenen Einflüsse auf das Ökosystem soweit zurückzufahren, dass sich das System wieder selber stabilisieren kann.

---

<sup>12</sup> Insbesondere James Lovelock, *The Revenge of Gaia: Earth's Climate Crisis & The Fate of Humanity*, 2007 und E.U. Weizsäcker et al., *Wir sind dran. Club of Rome: Der große Bericht: Was wir ändern müssen, wenn wir bleiben wollen. Eine neue Aufklärung für eine volle Welt*, 2017

<sup>13</sup> Insbesondere Papst Franziskus, *Laudato Si: Gelobt seist du, die Umwelt-Enzyklika des Papstes*, 2015 und *Laudate Deum, An alle Menschen guten Willens über die Klimakrise*, 2023

<sup>14</sup> Hans Jonas, *Das Prinzip der Verantwortung, Versuch einer Ethik für die technologische Zivilisation*, 2020

<sup>15</sup> Institute for Advanced Studies TU München und IESP e. V., *Zugspitze Declaration: Dealing Wisely with the Planet*, Zugspitzerklärung, 2008

- d. Dies ist durch Vermeidung weiterer Eingriffe sowie proaktiv durch flächendeckende Maßnahmen in Stadt und Land zur Landschaftsregeneration zu erreichen.
- e. Positive Beispiele sind die Vorgehensweisen der EU-Umweltpolitik (EU-Wasserrahmenrichtlinie, European Green Deal) oder auch die aktuellen Wasserstrategien in Deutschland (Regenerierung des Landschaftswasserhaushalts).
- f. Die Hoffnung liegt in der flächendeckenden Anwendung und Kombination von technisch bekannten und machbaren Maßnahmen wie erweiterter Abwasserreinigung, Chemikalienvermeidung, Zero-Emission, Klimagasvermeidung, Heckenstrukturen, Uferstreifen, Restwasser, Erosionsverhinderung, Biotoperhaltung, Waldumbau hin zu natürlicheren Wäldern usw., durch die ein „verantwortungsbasiertes Geoengineering“ entsteht.
- g. Dies ist durch Vermeidung weiterer Eingriffe sowie proaktiv durch flächendeckende Maßnahmen in Stadt und Land zur Landschaftsregeneration zu erreichen.
- h. Die Hoffnung liegt in der flächendeckenden Anwendung und Kombination von technisch bekannten und machbaren Maßnahmen wie erweiterter Abwasserreinigung, Chemikalienvermeidung, Zero Emission, Klimagasvermeidung, Heckenstrukturen, Uferstreifen, Restwasser, Erosionsverhinderung, Biotoperhalt, Waldumbau hin zu natürlicheren Wäldern usw., durch die ein „verantwortungsbasiertes Geoengineering“ entsteht.
- i. Besonderes Augenmerk ist auf die Stabilisierung des terrestrischen Wasserhaushalts, des Bodens und der Wälder zu richten<sup>16</sup>.
- j. Parallel müssen im nationalen Interesse die Forschung und Entwicklung auf diesen Gebieten vorangetrieben werden. Dies betrifft insbesondere den Wasserhaushalt, der Grundlage für jedes resiliente Ökosystem ist sowie die Bodenforschung ist.
- k. Investitionen in permanente Erkenntniszugewinne und daraus folgende Korrekturen der systemrelevanten Maßnahmen zur bewussten Steuerung des Anthropozän sind eine Daueraufgabe! Jeder heute als gut angenommene Zustand kann morgen durch Wissenszuwachs wieder herabgestuft sein. Die Effekte des Anthropozän halten an, mit der Folge, dass damit der Belastungsdruck zunimmt.

### Literaturverzeichnis

- Adam, C. und Tannery, P. (Hrsg.) (1902), über René Descartes, 1637, Discours de la méthode et Essais. Léopold Cerf, Paris, S. 62.
- Bork, H.-R. et al. (2020), Umweltgeschichte Deutschlands, <https://doi.org/10.1007/978-3-662-61132-6>, Springer Berlin, Heidelberg
- Crutzen, P. J. (2002): Geology of mankind. – Nature, 415(6867): 23. <https://doi.org/10.1038/415023a>
- Fluet-Chouinar, E. et al. (2023): Extensive global wetland loss over the past three centuries, Zahlenwert bezogen auf Deutschland, Nature Vol. 614, Seite 281 ff.
- Grambow, M.; Feustel, M.; Manz, E.; Arzet, K.; Hafner, T.; Korck, J. (2020): Die Wasserpolitik im Anthropozän; Korrespondenz Wasserwirtschaft; Nr. 7 2020; Deutsche Vereinigung für Wasser- und Abfallwirtschaft, Hennef; Verbandszeitschrift
- Institute for Advanced Studies TU München, IESP e. V. (2008): Zugspitze Declaration: Dealing Wisely with the Planet, Zugspitzerklärung
- Jonas, H. (2020): Das Prinzip der Verantwortung, Versuch einer Ethik für die technologische Zivilisation
- Lovelock, J. (2007): The Revenge of Gaia: Earth's Climate Crisis & The Fate of Humanity, Basic Books

---

<sup>16</sup> So scheint der globale Erhalt der natürlichen Grundwasserstände eine zentrale Bedeutung zu haben.

Lovelock, J. (2009): The Vanishing Face of Gaia: A Final Warning, Basic Books

Papst Franziskus (2015): Laudato Si: Gelobt seist du, die Umwelt-Enzyklika des Papstes

Papst Franziskus (2023): Laudate Deum: An alle Menschen guten Willens über die Klimakrise

Walker, B. , Salt, D. (2006), Resilience thinking, Island Press

Weizsäcker, E. U. et al. (2017): Wir sind dran. Club of Rome: Der große Bericht: Was wir ändern müssen, wenn wir bleiben wollen. Eine neue Aufklärung für eine volle Welt

## Diskussion

Fragen von Peter Wilderer: In seinem Beitrag erklärt Martin Grambow, dass der Begriff „Anthropozän“ nicht nur als Zeitabschnitt im Weltgeschehen zu begreifen ist. Der Begriff steht nach dem Vorschlag des Autors auch für eine philosophische Auseinandersetzung und somit als Aufforderung zum ethisch-moralischen Handeln. Das daraus resultierende verantwortungsvolle Handeln wäre dann als eine grundlegende Verpflichtung der Menschheit mit all ihren Facetten zu verstehen und ist somit auch ein wichtiger Beitrag zur anthropogenen Regulation. Sollte diese Annahme richtig sein, wäre es hilfreich, wenn die doppelte Bedeutung des Begriffs „Anthropozän“ noch etwas genauer erläutert und vertieft würden.

Diese globale Aufforderung zum verantwortungsvollen Handeln wird in dem Beitrag mit einem nachhaltigen „Geoengineering“ in Verbindung gebracht. Dieser Begriff mag griffig erscheinen, passt allerdings nicht so recht in den Kontext, weil „Engineering“ als Anwendung wissenschaftlicher Prinzipien und mathematischen Methoden zur Lösung praktischer Probleme zu verstehen ist. Gehören dazu auch gesellschaftlich, wirtschaftliche und staatliche Problemstellungen? Und sind in Verantwortung und Nachhaltigkeit in dieser Definition a priori verankert in dem Begriff „Geoengineering“? Es wäre also hilfreich, wenn der Autor sich zu diesen offensichtlich widersprüchlichen Sinninhalten mit einer kurzen Klarstellung äußern würde.

Antwort von Martin Grambow: Ich denke, Anthropozän ist zunächst tatsächlich nur eine Zustands- und Prozessbeschreibung: im Anthropozän wurden bestimmte Prozesse (Verschmutzung, Überformung) angestoßen, die zu kritischen Veränderungen führen. Zusammen mit dem Wissen zur Nachhaltigkeit und zu Resilienz ergeben sich aus dem Anthropozän aber tatsächlich auch Imperative zum kollektiven Handeln.

Das führt auch zum zweiten Teil der wichtigen Frage von Peter Wilderer, zur Verwendung und Weiterentwicklung des Begriffes des Geoengineerings. Hier ist meines Erachtens die Diskussion noch nicht abgeschlossen (siehe auch die Ausführungen von Wolfram Mauser). Ich neige dazu, sowohl Kulturtechniken, die, global eingesetzt, signifikante globale Veränderungen (z.B. auf das Erdklima oder die Arten) erzeugen als „unbeabsichtigtes Geoengineering“ zu bezeichnen. James Lovelock dazu: *„If geoengineering is defined as purposeful human activity that significantly alters the state of the Earth, we became geoengineers soon after our species started using fire for cooking, land clearance, and smelting bronze and iron“* (Lovelock, 2009, S. 139ff). So eine Definition stört in zugegebener Weise die reine Lehre des „Engineerings“, die zunächst nur die räumlich begrenzte und beabsichtigte Wirkung im Auge hat. Wenn jedoch bekannt ist, dass die Anwendung einer bestimmter Kulturtechnik letztendlich das Klima negativ beeinflusst, zum Artensterben führt oder den Boden zerstört, und ich es dennoch zulasse – betreibe ich dann nicht doch Geoengineering? Und umgekehrt, wenn wir nun neue oder verbesserte Kulturtechniken entwickeln – z.B. abbaubares Plastik oder öko- und klimawirksamere Waldwirtschaft – mit dem Neben- oder gar Hauptziel, die Auswirkungen des Anthropozäns in eine konsistente, nachhaltige Richtung zu entwickeln – wie nennen wir dann so ein Handeln? Geokonsistent? Natürliches Geoengineering?

Hier sollten wir uns noch auf die richtigen Begriffe einigen. James Lovelock schlägt eine weitere Definition des Geoengineering vor, dem ich mich persönlich durchaus anschließen kann: „*Geoengineering methods fall into three main categories: physical means of amelioration such as the manipulation of the planetary albedo; physiological geoengineering that includes tree planting, the fertilization of ocean algal ecosystem with iron ... and, finally, active or Gaian geoengineering that involves the use of the Earth's ecosystem to power the process, or to change the nature of climate feedback from positive to negative*“ (Lovelock ebenda S 141).

Und ja, selbstverständlich sind diese Fragen mit allen *gesellschaftlichen, wirtschaftlichen und staatlichen Problemstellungen* verknüpft. Wir haben doch nur zum Teil ein Erkenntnisproblem; überwiegend haben wir ein gesellschaftlich, wirtschaftlich, politisch getriebenes Umsetzungsproblem.

Peter Wilderer zu einer ganz anderen Erscheinungsform des Geoengineering: Sind Maßnahmen zur Bekämpfung invasiver Organismenarten als eine andersartige Form des Geoengineerings zu verstehen? Gemeint ist die Bekämpfung von Neophyten und Neozoen mit technischen oder chemischen Mitteln. Im Gegensatz dazu wäre die Einwanderung gebietsfremder Arten als Ergebnis der Selbst-Regulierung hinzunehmen. Beobachtungen wäre in diesem Fall ein Indiz für die natürliche Anpassung an den Klimawandel, der zu begrüßen wäre, auch wenn damit als Folge ein oft als schmerzlicher Zwang zur Abkehr von wirtschaftlichem Gewinn verbunden ist.

## **Es ist dringend notwendig, den Schutz der bestehenden Naturwälder proaktiv anzugehen.**

Vieles von dem, was wir heute über Wälder wissen, wussten schon unsere Vorfahren in grauer Vorzeit. Wälder sind Quellen für Nahrung und Medizin; sie liefern Holz zum Bauen und Heizen von Häusern und Sauerstoff zum Atmen. Der moderne Mensch sollten diese Funktionen des Waldes ebenso gut verstehen - er ist Teil unserer Wirtschaft und unseres Handels. Mit der Entwicklung der Wissenschaft haben die Menschen jedoch grundlegend neue und äußerst wichtige Informationen über den Wald erhalten. Diese neuen Informationen werden nun allmählich zum Allgemeingut. Ihre Verinnerlichung hat aber noch einen langen Weg vor sich.

Anastassia M. Makarieva, PhD  
Theoretical Physics Division, St. Petersburg  
Physical/biological bases of life stability  
Fellow: TUM IAS, Munich  
2008 UNESCO-RAS Prize  
Edit. Board: Journal Atmosphere (ECSA)

Es stellte sich heraus, dass Wälder und andere natürliche Ökosysteme im Vergleich zu den Vorgängen in der unbelebten Natur einen enormen Einfluss auf die Umwelt und das Klima haben. Einer der ersten, der sich zu Beginn des letzten Jahrhunderts intensiv mit diesem Thema befasste, war der, aus der Ukraine stammende Geochemiker Vladimir Vernadskij. Nach Vernadskij sind lebende Organismen eine "riesige geologische Kraft" (oder sogar "die geologische Kraft" schlechthin), die die Bedingungen ihrer eigenen Existenz in der Biosphäre bestimmt (Vernadskij 1998).

Die von Vernadskij erstmals dargelegten Schätzungen der enormen Auswirkungen des Lebens auf die Umwelt wurden später von internationalen Wissenschaftsteams bestätigt, die sich moderner Methoden zur Untersuchung der Erde, einschließlich Satellitendaten, bedienen. So wurde beispielsweise festgestellt, dass terrestrische Ökosysteme, vor allem Wälder, für den größten Teil der Verdunstung an Land verantwortlich sind (Jasechko et al. 2013)<sup>17</sup>. Die gesamte Sonnenenergie, die von

---

<sup>17</sup> Beim Prozess der Photosynthese öffnen sich die Spaltöffnungen der grünen Blätter, um Kohlendioxid aus der Atmosphäre aufzunehmen. Während die Spaltöffnungen geöffnet sind, verdunstet Wasserdampf aus dem inneren feuchten Milieu des Blattes in die Atmosphäre. Dieser

der Landvegetation für die Evapotranspiration genutzt wird, übersteigt die Leistung der modernen Zivilisation um mehr als das Hundertfache (Gorshkov 1995).

Im Allgemeinen kann ein großer Einfluss konstruktiv oder destruktiv, stabilisierend oder destabilisierend sein. Es wurde jedoch festgestellt, dass natürliche Ökosysteme auf nicht zufällige Weise mit ihrer Umwelt interagieren. Der russische theoretische Physiker Victor Gorshkov analysierte die verfügbaren multidisziplinären Beweise für die Wechselwirkung zwischen Leben und Umwelt (von der Geochemie über die Genetik bis hin zur Ökologie) und kam zu dem Schluss, dass es dafür nur eine unumstrittene Erklärung gibt: die biotische Regulierung der Umwelt. Natürliche Ökosysteme regulieren die Umwelt und halten sie in einem für das Leben günstigen Zustand (Gorshkov 1995).

Die gegensätzlichen Prozesse der Synthese und des Abbaus organischer Stoffe dienen als die beiden Hebel der biotischen Regulierung. Pflanzen synthetisieren organische Stoffe, alle anderen Organismen (Bakterien, Pilze, Tiere) bauen sie ab. Aufgrund der enormen globalen Kraft dieser Prozesse hätte schon ein geringes Ungleichgewicht zwischen den Raten der biochemischen Synthese und des Abbaus die lebensfreundlichen Bedingungen auf der Erde in kürzester Zeit zerstören können. Beispielsweise hätte der in der Atmosphäre gespeicherte anorganische Kohlenstoff (Kohlendioxid) in der Größenordnung von 1000 Gigatonnen C (1 Gigatonne entspricht einer Milliarde Tonnen) durch die Biota in nur zehn Jahren um 100 % verändert werden können, denn die globale Synthese- und Abbaurate liegt in der Größenordnung von 100 Gigatonnen C pro Jahr.

Die atmosphärische CO<sub>2</sub>-Konzentration hat jedoch ihre Größenordnung über Dutzende und Hunderte von Millionen von Jahren beibehalten! Das bedeutet, dass die natürlichen Ökosysteme in der Lage sind, diese Konzentration in einem für das Leben geeigneten Zustand zu halten und Abweichungen vom Optimum auszugleichen. Mit anderen Worten: Um die Zusammensetzung der Atmosphäre stabil zu halten, müssen die Synthese und der Abbau organischer Stoffe von den natürlichen Biota streng kontrolliert werden.

Gorshkov (1995) zog die entscheidende Schlussfolgerung, dass die Biota, wenn sie kurzfristig starke biogeochemische Flüsse überwachten und synchronisierten, eine starke kompensatorische Reaktion auf die modernen anthropogenen Störungen des globalen Kohlenstoffkreislaufs ausüben müssen. Diese Schlussfolgerung unterscheidet sich von den Implikationen der Gaia-Hypothese, die davon ausging, dass die stabilisierenden biotischen Auswirkungen auf einer geologischen Zeitskala ausgeprägt sind und "extrem langsam im Vergleich zu den gegenwärtigen menschlichen Sorgen" sein können (Lovelock 1986). Die Gaia-Hypothese erkannte, dass die Zerstörung (einiger) natürlicher Ökosysteme die Homöostase des Planeten beeinträchtigen kann. Sie erkannte jedoch nicht, dass die verbleibenden natürlichen Ökosysteme eine starke kompensatorische Reaktion auf die anthropogenen Umweltbelastungen ausüben. Die Vernachlässigung dieser Reaktion führt zu der irreführenden Schlussfolgerung, dass einige Ökosysteme, wie z. B. die borealen Wälder, für das Wohlergehen des Planeten möglicherweise nicht unverzichtbar sind.

Das Konzept der biotischen Regulierung unterscheidet grundsätzlich zwischen Ökosystemen, die ihre klimaregulierende Funktion beibehalten, und solchen, die über ihre Nachhaltigkeitsschwelle hinaus gestört wurden und ihre klimaregulierende Kapazität verloren haben. Diese Unterscheidung hat es Gorshkov (1995) ermöglicht, das Rätsel der sogenannten "fehlenden Senke" zu lösen, lange bevor diese Lösung in der Mainstream-Literatur anerkannt wurde (Popkin 2015). Die herkömmliche Sichtweise in der Ökologie war, dass natürliche Ökosysteme auf der Grundlage geschlossener biogeochemischer Kreisläufe funktionieren (Odum 1969) und ihre Produktivität nur steigern können, wenn die Konzentration eines limitierenden Nährstoffs zunimmt. Da terrestrische Ökosysteme bekanntermaßen durch Stickstoff und Phosphor begrenzt sind (dieses Wissen stammt aus der Landwirtschaft), konnte niemand erwarten, dass ungestörte Wälder als Reaktion auf die steigenden CO<sub>2</sub>-Konzentrationen ihre Produktivität steigern und eine CO<sub>2</sub>-Senke bilden könnten. Warum sollten sie auch? Wie könnten sie

---

Vorgang wird als Evapotranspiration bezeichnet. Für jedes gebundene Molekül Kohlendioxid verdampfen mehrere hundert Wassermoleküle.



das, wenn es keinen entsprechenden Anstieg von Stickstoff und Phosphor gibt? Und selbst wenn es zu einem Anstieg der Synthese käme, warum sollte dann nicht auch die Zersetzung zunehmen - zumal sich die Böden erwärmen und die Stoffwechselraten von Bakterien und Pilzen steigen?

Als die atmosphärischen Messungen hinreichend genau wurden, um eine genaue Bewertung des globalen Kohlenstoffkreislaufs zu ermöglichen, und sich herausstellte, dass die bekannten Quellen und Senken nicht übereinstimmen und eine große, unbekannte Senke fehlt, wehrten sich Ökologen und Geowissenschaftler hartnäckig dagegen, zuzugeben, dass diese Senke hauptsächlich durch natürliche Wälder gewährleistet wird (Popkin 2015; Makarieva et al. 2023a).

Im Rahmen der biotischen Regulierung war diese Reaktion ohne Weiteres vorhersehbar. Natürliche Ökosysteme müssen auf den übermäßigen atmosphärischen Kohlenstoff reagieren, indem sie ihn der Atmosphäre entziehen und in einer inaktiven organischen Form speichern. Da es keine vergleichbare Zunahme von Stickstoff und Phosphor gibt, sollte der überschüssige Kohlenstoff in Form von Kohlenhydraten entfernt werden, die keinen Stickstoff und Phosphor enthalten (Gorshkov 1986). Aber nur die Ökosysteme, die ausreichend intakt bleiben (am wenigsten gestört sind), sollten in der Lage sein, eine solche stabilisierende Reaktion durchzuführen. Andere Ökosysteme, wie z. B. Ackerböden, sollten eine Kohlenstoffquelle sein, da ihr Regulationsmechanismus unterbrochen wurde. Genau so sehen die Veränderungen im globalen Kohlenstoffkreislauf aus: Es gibt eine Senke, die durch relativ intakte Wälder (und ozeanische Ökosysteme) gewährleistet wird, und eine Quelle, die durch die Landnutzung und die Nettoabholzung entsteht (Gorshkov 1995).

Daher kann man die anthropogene Störung des globalen Kohlenstoffkreislaufs als ein Experiment im planetarischen Maßstab betrachten, das die Vorhersagen zur biotischen Regulierung bestätigt hat. Dies war ein sehr kostspieliges Experiment für unseren Planeten. Seine Ergebnisse sollten sehr ernsthaft durchdacht und praktische Schlussfolgerungen gezogen werden. Kohlenstoff ist ein wichtiger Bestandteil der Umwelt, der für das Leben wichtig ist, aber er ist nicht der einzige. Wasser ist ein Schlüsselfaktor für das Leben an Land. So wie sie in der Lage sind, den Kohlenstoff zu regulieren, sollten natürliche terrestrische Ökosysteme auch in der Lage sein, den Wasserkreislauf zu regulieren. Diese Regulierung hat zwei Aspekte: zum einen die Regulierung der Wolkendecke und zum anderen die Regulierung des atmosphärischen Feuchtigkeitstransports.

Jüngste Forschungen haben gezeigt, dass natürliche Wälder die Fähigkeit besitzen, die Wolkendecke und den Feuchtigkeitstransport zu verändern und den Wasserkreislauf zu stabilisieren (z. B. O'Connor et al. 2021; Cerasoli et al. 2021; Duveiller et al. 2021; Makarieva et al. 2023b). Wir wissen heute, wie schon Vernadsky am Beginn der 20. Jahrhunderts, dass Ökosysteme einen enormen Einfluss auf die Bewölkung der Erde und die atmosphärische Zirkulation haben - also genau die Faktoren, die als größte Unsicherheitsquelle in aktuellen Klimamodellen gelten (Zelinka et al. 2020). Es wird noch einige Zeit dauern, bis der stabilisierende Charakter dieser Auswirkungen quantitativ präzise nachgewiesen werden kann, so wie es für den Kohlenstoffkreislauf bereits geschehen ist. Wir können warten, bis die entsprechenden Veröffentlichungen eine kritische Masse erreichen, um einen Paradigmenwechsel zu beantragen, während weiterhin Naturwälder zerstört werden. Alternativ können wir die Ergebnisse des "globalen Kohlenstoffexperiments" nutzen und die logische Schlussfolgerung ziehen, dass die natürlichen Wälder einen stabilisierenden Einfluss auf die Wasser Aspekte des Klimas entwickelt haben müssen, wie sie ihn für den Kohlenstoff entwickelt haben - und dann dringende Maßnahmen ergreifen, um diese effizienten Klimaregulatoren zu erhalten. Dies erfordert, in den Worten von Nassim Nicholas Taleb (2007), "Intellekt, Mut, Vision und Ausdauer".

Sobald wir uns auf den Standpunkt stellen, dass sich natürliche Wälder zur Klimaregulierung entwickelt haben, erkennen wir sofort, dass diese klimaregulierende Kapazität nicht neben kommerziellen Nutzungen maximiert werden kann. Warum eigentlich? Eine maximale Holzproduktion ist nicht mit den komplexen natürlichen Selektionskriterien vereinbar, unter denen sich die lebenserhaltende Wald-Klima-Homöostase entwickelt hat. Ab einem kritischen Störungsniveau sind Wälder nicht mehr in der Lage, das Klima zu stabilisieren und Wasser über die biotische Pumpe an Land und weiter zu den

terrestrischen Ökosystemen zu bringen. Plantagen und durch Abholzung gestörte Wälder sind anfälliger für Brände und tragen zur Austrocknung der Landschaft bei, nicht zur Befeuchtung (Laurance & Useche 2009; Bradley et al. 2016; Oliveira et al. 2021; Lindenmayer et al. 2022; Wolf et al. 2023).

Ein bestimmtes und ausreichendes Netz intakter natürlicher Wälder muss von der fortlaufenden Nutzung ausgenommen werden, um ihre gewachsene klimaregulierende Funktion in den Vordergrund zu stellen und Wasser zu den terrestrischen Ökosystemen zu bringen. Wälder, die ihre klimaregulierende Funktion noch besitzen (jetzt oder in relativ naher Zukunft), sind von unersetzlichem Wert. Natürliche Wälder stellen ihre klimaregulierende Funktion während der ökologischen Sukzession vollständig wieder her, was mehr als ein Jahrhundert dauert (d. h. mehrere Lebensspannen von Baumarten). In der gegenwärtigen Klimakrise ist der Verlust der Klimaregulierung durch die bestehenden Naturwälder unwiderruflich.



Künstlerische Darstellung eines naturbelassenen tropischen Regenwalds  
(unbekannter Autor)

Ausgewachsene Wälder, bei denen die letzte große Störung lange zurückliegt (alte und altgewachsene Wälder), sind die primären Ziele für eine klimastabilisierende Erhaltung bei gleichzeitigem Schutz anderer wichtiger Werte (proforestation, Moomaw et al. 2019). Regionale, nationale und internationale Zusammenarbeit ist erforderlich, um unser Wohlergehen und das gemeinsame planetarische Erbe der bestehenden klimaregulierenden Wälder zu erhalten. Es ist eine klare und unvoreingenommene interdisziplinäre Zusammenarbeit erforderlich, um Gebiete für die Ressourcenproduktion im Vergleich zu Altwäldern und klimaregulierenden Netzwerken zu identifizieren (Makariewa, Nefiodov & Masino 2023).

Während die Grundlagenforschung vorangetrieben wird, sollte das Vorsorgeprinzip strikt angewendet werden. Jedes Kontrollsystem erhöht seine Rückkopplung, wenn die Störung wächst. Daher sollten die verbleibenden natürlichen Ökosysteme in dem Maße, wie sich die Destabilisierung des Klimas vertieft, eine immer stärkere kompensatorische Wirkung pro Flächeneinheit ausüben. Mit anderen Worten: Der globale Klimapreis für den Verlust eines Hektars Naturwald wächst mit der Verschlechterung der Klimasituation. Wir fordern ein dringendes globales Moratorium für die Ausbeutung der verbleibenden natürlichen Ökosysteme.

## Literaturverzeichnis

- Bradley, C. M., Hanson, C. T., & DellaSala, D. A. (2016). Does increased forest protection correspond to higher fire severity in frequent-fire forests of the western United States?. *Ecosphere*, 7(10), e01492.
- Cerasoli, S., Yin, J., and Porporato, A. (2021). Cloud cooling effects of afforestation and reforestation at midlatitudes. *Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A.* 118, e2026241118. doi: 10.1073/pnas.2026241118
- Duveiller, G., Filipponi, F., Ceglar, A., Bojanowski, J., Alkama, R., and Cescatti, A. (2021). Revealing the widespread potential of forests to increase low level cloud cover. *Nat. Commun.* 12, 4337. doi: 10.1038/s41467-021-24551-5
- Gorshkov, V. G. (1986). Atmospheric disturbance of the carbon cycle: impact upon the biosphere. *Nuov. Cim. C* 9, 937–952. doi: 10.1007/BF02891905
- Gorshkov, V. G. (1995). *Physical and biological bases of life stability: man, biota, environment*. Springer Science & Business Media.
- Jasechko, S., Sharp, Z. D., Gibson, J. J., Birks, S. J., Yi, Y., & Fawcett, P. J. (2013). Terrestrial water fluxes dominated by transpiration. *Nature*, 496(7445), 347-350.
- Laurance, W. F., & Useche, D. C. (2009). Environmental synergisms and extinctions of tropical species. *Conservation Biology*, 23(6), 1427-1437.
- Lindenmayer, D. B., Bowd, E. J., Taylor, C., & Likens, G. E. (2022). The interactions among fire, logging, and climate change have sprung a landscape trap in Victoria's montane ash forests. *Plant Ecology*, 223(7), 733-749.
- Lovelock, J. E. (1986). Geophysiology: a new look at earth science. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 67(4), 392-397.
- Makarieva, A. M., Nefiodov, A. V., Rammig, A., & Nobre, A. D. (2023a). Re-appraisal of the global climatic role of natural forests for improved climate projections and policies. *Frontiers in Forests and Global Change*, 6, doi:10.3389/ffgc.2023.1150191
- Makarieva, A. M., Nefiodov, A. V., Nobre, A. D., Baudena, M., Bardi, U., Sheil, D., et al. (2023b). The role of ecosystem transpiration in creating alternate moisture regimes by influencing atmospheric moisture convergence. *Glob. Change Biol.* 29, 2536–2556. doi: 10.1111/gcb.16644
- Makarieva, A. M., Nefiodov, A. V., Masino S. A. (2023c) How to assess and preserve the climate-regulating function of forests for local and global wellbeing. The Eastern Old-Growth Conference, Geneva Point Center, NH USA, 21-23 September 2023.
- Moomaw, W. R., Masino, S. A., and Faison, E. K. (2019). Intact forests in the United States: proforestation mitigates climate change and serves the greatest good. *Front. For. Glob. Change* 2, 27. doi: 10.3389/ffgc.2019.00027
- O'Connor, J. C., Dekker, S. C., Staal, A., Tuinenburg, O. A., Rebel, K. T., and Santos, M. J. (2021). Forests buffer against variations in precipitation. *Glob. Change Biol.* 27, 4686–4696. doi: 10.1111/gcb.15763
- Odum, E. P. (1969). The strategy of ecosystem development: an understanding of ecological succession provides a basis for resolving man's conflict with nature. *Science* 164, 262–270. doi: 10.1126/science.164.3877.262
- Oliveira, A., Sande Silva, J., Gaspar, J., Guiomar, N., & Fernandes, P. (2021). Is native forest an alternative to prevent wildfire in the WUI in Central Portugal?
- Popkin, G. (2015). The hunt for the world's missing carbon. *Nature*, 523, 20-22.
- Taleb, N. N. (2007). *The black swan: The impact of the highly improbable* (Vol. 2). Random house, p. xxiii
- Vernadsky, V. I. (1998). *The biosphere*. Springer Science & Business Media.
- Wolf, J., Asch, J., Tian, F., Georgiou, K., & Ahlström, A. (2023). Canopy responses of Swedish primary and secondary forests to the 2018 drought. *Environmental Research Letters*, 18(6), 064044.

## Diskussion

Anmerkung von Erica Gies, USA, Wissenschafts-Journalistin: *Es fällt mir schwer zu erklären, inwiefern* intakte Ökosysteme einen überragenden Einfluss auf das Klima haben. Für politische Entscheidungsträger wäre es hilfreich, wenn es eine Möglichkeit gäbe, nicht nur das in Ökosystemen gespeicherte Kohlendioxid-Äquivalent zu quantifizieren, sondern auch die Auswirkungen auf das Klima durch die Kühlung von Pflanzen und Böden, den Wasserkreislauf usw. Mir ist klar, dass es sich hierbei um eine aufstrebende Wissenschaft handelt - darum geht es in meinem Artikel in Nature Water. Aber ich frage mich, ob Anastassia oder jemand anderes auf eine umfassendere Quelle verweisen kann?

Ein allgemeiner Datenpunkt ist, dass etwa 20 Prozent der derzeitigen Treibhausgasemissionen aus Landnutzungsänderungen stammen. Also, aus Abholzung, Bodenbearbeitung usw., die gespeicherten Kohlenstoff freisetzen.

Was die Bindung in natürlichen Ökosystemen betrifft, so gibt es Studien, die zeigen, dass Mangroven in Indonesien dreimal mehr Kohlenstoff speichern als die Wälder des Amazonasgebiets oder ähnliches. Aber gibt es eine globale Buchführung über die gesamte Speicherkapazität? Oder die Fähigkeit wiederhergestellter Ökosysteme, Kohlenstoff zu speichern (im Gegensatz zu teuren, noch nicht erprobten Technologien)?

Und gibt es eine Möglichkeit, die positiven Auswirkungen des Wasserkreislaufs auf das Klima in Zahlen zu fassen und mit diesen Kohlenstoffbilanzen zu vergleichen?

Antwort von Anastassia Makarieva: Es wäre für Wissenschaftskommunikatoren und politische Entscheidungsträger hilfreich, über eine Quelle mit systematischen Beweisen zu verfügen, z.B. dass Primärwälder widerstandsfähiger gegen Dürren sind als Sekundärwälder, dass die einheimische Vegetation verheerende Brände verhindert und kühlende Wolken erzeugt, dass sich intakte Wälder bei der globalen Erwärmung weniger stark erwärmen als nicht intakte, und so weiter.

Damit solche Beweise jedoch in die von Fachleuten überprüfte wissenschaftliche Literatur einfließen können, ist ein Paradigmenwechsel erforderlich. Und dabei geht es nicht um CO<sub>2</sub>. Es geht es darum, wie die moderne Wissenschaft die Wechselwirkung zwischen Leben und Umwelt betrachtet. Das derzeitige Paradigma, das sich auf Anpassung und Begrenzung als Schlüsselkonzepte stützt, sieht solche Beweise nicht vor, sondern widersetzt sich ihnen aktiv, so dass sie verstreut bleiben. (Ein auffälliges Beispiel für einen solchen Widerspruch ist, das "Odum-Paradoxon".)

James Lovelock, der Gaia vorschlug, hatte dank seiner Weltraumstudien und der Möglichkeit, unseren Planeten als Ganzes zu sehen, eine ganzheitliche Sichtweise. Victor Gorshkov, der das Konzept der biotischen Regulierung formulierte, hatte eine umfassende Sichtweise eines Physik-Theoretikers, der Jahre in der russischen Wildnis verbrachte. Richard Dawkins, einer der sichtbarsten Gegner der Idee, dass intakte Ökosysteme das Klima regulieren, ist ein Evolutionsbiologe.

Die moderne Evolutionsbiologie, die auf dem "Überleben des Stärkeren" basiert, ist umweltfeindlich. Das "Überleben des Stärkeren" ist keine Tautologie, wie es scheinen mag ("der Stärkere ist derjenige, der überlebt"). Es enthält eine sehr starke Aussage: Es gibt immer jemanden ("der Stärkste"), der überlebt! Wenn man das Überleben postuliert, braucht man sich nicht mehr um die Umweltzerstörung zu kümmern. Eine gewisse Lebensverträglichkeit ist axiomatisiert.

Die moderne Ökologie beruht auf dem Begrenzungsprinzip, das das Leben als durch äußere Bedingungen begrenzt ansieht. Diese falsche, aber tief verwurzelte Sichtweise geht historisch auf frühe menschliche Beobachtungen zurück, die in landwirtschaftlichen Ökosystemen gemacht wurden. Landwirtschaftliche Systeme sind durch Düngemittel begrenzt. Natürliche Ökosysteme sind es nicht, sie schaffen und erhalten ihre eigene optimale Umwelt.

In einer psychiatrischen Anstalt ist es nicht möglich zu studieren, wie eine gesunde menschliche Psyche funktioniert. Ebenso wenig kann man in einer gestörten Umwelt den Wert natürlicher Ökosysteme beurteilen.

Das Problem, dass die Menschen das Leben durch den schiefen Spiegel unserer gestörten Umwelt und der geschädigten Ökosysteme betrachten, wird noch dadurch verschärft, dass intakte Ökosysteme sehr schnell verloren gehen - was die Chance, dass wir ihre Bedeutung letztendlich verstehen und nutzen, weiter verringert. Wie ich bereits erwähnt habe, ist eine starke und bewusste intellektuelle Anstrengung erforderlich, um diesen gefährlichen Tendenzen entgegenzuwirken.

Intakte Ökosysteme stabilisieren das Klima. Je mehr wir sie stören, desto instabiler wird das Klima, das wir haben.

Nicht alles, was grün ist, ist gleich. Wie ein wütender Geist, der aus der Flasche gelassen wird, kann ein gestörtes, aber sehr produktives biologisches System die Umwelt sehr schnell zerstören.

Frage von Peter Wilderer: Die von Anastassia Makarieva in ihrem Kapitel vorgetragenen Zusammenhänge beziehen sich primär auf Laubwälder. Wie unterscheiden sich die Prozesse in Wald-Ökosysteme, die durch laubabwerfende Bäume gekennzeichnet sind, von solchen, in denen Koniferen dominieren? Ist das „biotic pump“-Konzept nur auf Laubwälder beschränkt, oder haben beispielsweise Fichtenwälder für den Wasserkreislauf eine vergleichbare Bedeutung?

Antwort von Anastassia Makarieva: Der Hauptunterschied in der biotischen Pumpenfunktion besteht nicht zwischen laubabwerfenden oder immergrünen Wäldern, sondern zwischen gestörten und ungestörten Wäldern. In der borealen Zone kann der Primärwald von immergrünen Bäumen wie z. B. Fichte und Tanne dominiert werden. Diese natürlichen Wälder leisten die aktivste biotische Pumpe und sorgen für einen gleichmäßigen Feuchtigkeitszufluss. Insbesondere im Frühjahr, mit den ersten warmen Tagen, kann der immergrüne Wald mit der Evapotranspiration beginnen und den biotischen Pumpentransport einschalten. Das Einströmen kühler, feuchter Luftmassen aus dem Atlantik sorgt für einen reibungslosen Übergang zwischen den Jahreszeiten. Wenn der Primärwald abgeholzt wird, setzt die ökologische Sukzession ein, die von Laubbäumen wie Birke oder Espe dominiert wird. Im Frühjahr haben diese Bäume noch keine Blätter und können nicht transpirieren. Dies führt zu einer zusätzlichen Erwärmung des Bodens, was zu verschiedenen Wetterextremen führt.

# Erfahrungen aus der Praxis und Vorschläge für ein Umdenken

## Fortschrittsdenken in der Ökonomie

### Ausgangssituation

Alle wissenschaftlichen Disziplinen zeichnen sich durch eine ständige Weiterentwicklung mit unterschiedlicher Dynamik aus. Das gilt sowohl für die Sozialwissenschaften (einschließlich der Wirtschaftswissenschaften), die Ingenieurwissenschaften, die Naturwissenschaften, die Geisteswissenschaften als auch für andere Wissenschaften. In diesem Kontext spricht man häufig auch von wissenschaftlichem Fortschritt, der sich beispielsweise in den vielfältigen Teildisziplinen der Wirtschaftswissenschaften aufzeigen lässt. In verschiedenen wissenschaftlichen Disziplinen kam es jedoch zu Kontroversen. Dabei ging es um die Frage der „richtigen Ausrichtung bzw. Qualität des Fortschritts“. Kontroversen dieser Art gab es beispielsweise mehrfach in der Ökonomie. Dabei ging es nicht nur um die großen Kontroversen wie „bürgerliche Ökonomie versus Marxismus“, sondern z. B. um die Kontroverse, die in den 1970er Jahren aufkam: Monetarismus versus Keynesianismus. Entsprechend kam es in den Wirtschaftswissenschaften zu unterschiedlichen Einschätzungen hinsichtlich des Fortschritts, aber auch hinsichtlich eines wirtschaftlichen Gleichgewichts.

Dr. Michael von Hauff  
Prof. University of Kaiserslautern,  
Germany: Chair of Macro-economics  
Ecological, Economic, Social and  
sustainable development  
Fellow of EASA  
Chairman of IESP

Betrachtet man die aktuelle Diskussion im Rahmen der Ökonomie, so lassen sich auch heute unterschiedliche Strömungen beobachten, die zu unterschiedlichen Bewertungen von wirtschaftswissenschaftlichem Fortschritt führen. Ohne den Anspruch auf Vollständigkeit zu erheben, gibt es hierzu verschiedene Beispiele. Einerseits gibt es Vertreter, die den ökonomischen Mainstream insgesamt positiv bewerten und insofern nur einige „Korrekturen“ für notwendig halten. Hier wird der wirtschaftswissenschaftliche Fortschritt insgesamt positiv bewertet. Andererseits haben die vielfältigen wirtschaftlich relevanten Krisen der letzten Dekaden bei einer wachsenden Zahl von Vertretern der Ökonomie zu der Frage geführt, ob sich die Wirtschaftswissenschaften in einer Krise befinden, oder ob sie sogar versagt haben. Die Diskussion wurde besonders durch die weltweiten Finanz- und Wirtschaftskrisen, aber auch durch die sich zuspitzende Klimakrise verschärft. In diesem Zusammenhang fand das Buch von Lesch und Kamphausen mit dem Titel „Die Menschheit schafft sich ab. Die Erde im Griff des Anthropozän“ (Originaltitel: "Mankind aborts itself. The Earth gripped by the Anthropocene.") große Beachtung. Daraus begründet sich die Frage, ob bzw. in welchem Maße man noch von wirtschaftswissenschaftlichem Fortschritt sprechen kann.

### Der Glaube an den Fortschritt bröckelt

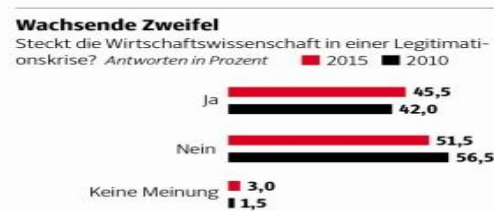
Daher wird der Beitrag der modernen Volkswirtschaftslehre zur Erklärung wirtschaftlicher Vorgänge und zur Lösung der Herausforderungen in jüngerer Vergangenheit zunehmend infrage gestellt. Daraus ergaben sich bei Studierenden der Ökonomie Überlegungen für eine Neuausrichtung der Inhalte der Volkswirtschaftslehre. So artikulierten Studierende in vielen

Ländern in zunehmendem Maße ihr Unbehagen an den Curricula des Mainstreams der Volkswirtschaftslehre. Sie haben sich teilweise zu Initiativen zusammengeschlossen. In Deutschland ist z. B. das „Netzwerk plurale Ökonomik“ zu nennen. Dabei richtet sich die Kritik hauptsächlich gegen die neoklassische Ökonomie als dominantes Paradigma in der Volkswirtschaftslehre das in vielfältiger Weise unser tägliches Leben ganz wesentlich prägt.

Im Jahr 2015 kam es im Rahmen „Neues Denken“ zu einer Befragung von Mitgliedern des Vereins für Sozialpolitik/Deutschland. Die Zielgruppen waren Ökonomen aus Deutschland, Österreich und der Schweiz in Wissenschaft und Praxis, die zumindest promoviert waren. Dabei wurde deutlich, dass es bei vielen Ökonomen ein wachsendes Unbehagen gegenüber der eigenen Disziplin gibt. Während 51,5 % der befragten Ökonomen verneinten, dass sich die Wirtschaftswissenschaft in einer Legitimationskrise befindet, bekannten sich 45,5 % dazu. Auffällig dabei ist, wie aus dem Schaubild hervorgeht, dass in dem Zeitraum von 2010-2015 der Anteil der Befürworter von 42,0 auf 45,5 % anstieg und dementsprechend der Anteil jener, die eine Legitimationskrise verneinen, von 56,5 auf 51,5 sank.

### Befragung von Ökonomen zur Legitimationskrise der Ökonomie

Quelle: Lisa  
Bucher 2015



### Das neue Paradigma der Ökonomie

In den Wirtschaftswissenschaften blieb lange Zeit verborgen, dass sich 1992 die Völkergemeinschaft auf der Konferenz in Rio de Janeiro für das 21. Jahrhundert auf ein völlig neues Paradigma, die nachhaltige Entwicklung, verständigt hat. Es steht der neoklassischen Ökonomie konträr gegenüber, indem die drei Dimensionen Ökologie, Ökonomie und Soziales ausgewogen zusammengeführt werden sollen. Das erfordert ein völlig neues Fortschrittsdenken, indem wirtschaftliche und soziale Prozesse sich im Rahmen der ökologischen Planken sich einzuordnen bzw. unterzuordnen haben. Der Mensch ist langfristig bei einer kontinuierlichen Übernutzung der Natur nicht lebensfähig, wobei für die Natur schon in vielen Bereichen eine Übernutzung festzustellen ist. Daher können ökonomische und soziale Handlungsbereiche alleine nicht nachhaltig sein. Daher hat die Völkergemeinschaft beschlossen, dass alle Mitgliedsnationen der Vereinten Nationen entsprechend der Agenda 2030 bis 2050 eine nationale Nachhaltigkeitsstrategie zu entwickeln haben und diese in einem konsistenten Transformationsprozess bis 2030 umsetzen sollen.

Diese Herausforderung wurde von einigen Ländern angenommen. So gibt es in diesen Ländern Forschungsinstitute für Nachhaltigkeit, Hochschulen die sich in der Lehre und Forschung zunehmend dem Thema zuwenden und Unternehmen, die Herausforderungen nachhaltiger Entwicklung annehmen. Auch in der Politik gibt es in einigen Ländern Ansätze nachhaltige

Entwicklung umzusetzen. Dennoch gibt es auch in diesen Ländern im Rahmen eines nachhaltigen Transformationsprozesses noch große Potenziale in Bildung, Forschung, Politik und Wirtschaft. Die meisten Nationen stehen hinsichtlich des Transformationsprozesses dagegen noch weitgehend am Anfang. Daher muten wir zukünftigen Generationen sich verschärfende Krisen zu, die sich auf ihre Lebensbedingungen bzw. Lebensqualität verheerend auswirken. Die Menschheit hat die Herausforderungen des nachhaltigen Fortschrittsdenkens in der notwendigen Reichweite und Dringlichkeit noch nicht erkannt bzw. verweigert sich diesem.

### Literaturverzeichnis

Bucher, L Quelle (5): Dritte große Ökonomen-Umfrage von Neuwirtschaftswunder.de / SZ, Mai/Juni, 2015.

Hauff, M. von: Nachhaltige Entwicklung, 3. Aufl., München 2021.

Jackson, T.: Prosperity without Growth: Foundations for the Economy of Tomorrow, Routledge 2017

Lesch, H., Kamphausen, K.: Die Menschheit schafft sich ab – Die Erde im Griff des Anthropozän, München 2016.

## Diskussion

Frage von Ortwin Renn: Wie lassen sich die Schulen der institutionellen Ökonomie, der evolutionären Ökonomie und der ökologischen Ökonomie hier einordnen.

Antwort von Michael von Hauff: **Die Schule institutionelle Ökonomie lehrt:** Institutionen sind Spielregeln, mit denen ökonomisches oder gesellschaftliches Handeln strukturiert wird. Ihr Hauptzweck besteht darin, die Unsicherheit in wirtschaftlichen Abläufen und im gesellschaftlichen Zusammenhang zu vermindern, indem sie für eine stabile Ordnung im täglichen Leben sorgen. Daher sind Institutionen „... jegliche Art von Beschränkung ... zur Gestaltung menschlicher Interaktionen.“ (North 1992. S.4, einer der Begründer der Institutionenökonomie). Der Beitrag institutioneller Ökonomie zur nachhaltigen Entwicklung besteht darin, Beschränkungen im Sinne von Grenzen, beispielsweise durch ökologische Leitplanken, aber auch Handlungsspielräume, zu definieren. Bisher wurde jedoch die institutionelle Ökonomie in diesem Sinne in das Paradigma der nachhaltigen Entwicklung noch nicht ausreichend eingeführt.

**Die Schule evolutionärer Ökonomie lehrt:** Die evolutorische Ökonomie, die an den österreichischen Ökonomen Schumpeter anknüpft, ist im Kontrast zur neoklassischen Ökonomie bzw. Theorie einzuordnen. Das Forschungsgebiet der Wirtschaftswissenschaften entstand in den 1980er Jahren und beschäftigt sich mit der Rolle des Wissens, seinem Wandel und seinen Begrenzungen für die Wirtschaft. Mit ihrem Fokus auf Technologie, Lernen und institutionellen Zusammenhänge gibt es bei der evolutorischen Ökonomie Zusammenhänge zur sozialwissenschaftlichen Technikforschung. Es gibt in diesem Kontext Schnittmengen zur nachhaltigen Entwicklung, die jedoch noch klarer herausgearbeitet werden müssen.

**Die Schule ökologische Ökonomie lehrt:** Die ökologische Ökonomie wurde durch Arbeiten von Nikolas Georgescu-Roegen, Kenneth Boulding und William Kapp Mitte der 1970er Jahre eingeführt. Bisher gibt es jedoch noch keine einheitliche Schule bzw. kein geschlossenes Theoriegebäude. Sie steht in absolutem Kontrast zur neoklassischen Ökonomie und entstand auch in diesem Kontext. Eine wesentliche Übereinstimmung mit der nachhaltigen Entwicklung besteht in der Erkenntnis, dass der Mensch ohne stabile ökologische Systeme nicht überlebensfähig ist. Die Existenz des Wirtschaftens und gesellschaftlicher Prozesse ist nur im Rahmen der Natur und ihrer Grenzen möglich. Es gibt jedoch insofern einen Unterschied, als die ökologische Ökonomie die soziale Dimension nachhaltiger Entwicklung vernachlässigt. Lange Zeit wurde wirtschaftliches Wachstum von Vertreterinnen und



Vertretern ökologischer Ökonomie strikt abgelehnt. Hierzu gibt es jedoch bei beiden Disziplinen erste Diskussionen über ein „nachhaltiges Wachstum“.

## **Beitrag des Gebäudesektors zur Erhaltung der Funktionsfähigkeit des Erdsystems**

### **Vorbemerkung**

Um die ökologischen Auswirkungen menschlicher Aktivitäten und die Belastbarkeitsgrenzen unserer Biosphäre verstehen und definieren zu können, wurde 2009 unter der Leitung von Johan Rockström<sup>18</sup>, dem damaligen Direktor des Stockholm Resilience Centre, von einer Gruppe international angesehener Erdsystem- und Umweltwissenschaftlern sowie von Umweltwissenschaftlerinnen das Konzept der planetaren Grenzen vorgeschlagen.

Prof. Dr. Werner Lang TUM Vice President for Sustainable Transformation Chair of Energy Efficient and Sustainable Design & Construction Director of the Oskar von Miller Forum
--

Hierunter werden die neun Sektoren der ökologischen Belastungsgrenzen der Erde bzw. verstanden, deren Überschreiten die Stabilität des Ökosystems der Erde und damit die Grundlage unserer Existenz gefährdet. Hierzu gehören (1) Klimawandel, (2) Unversehrtheit der Biosphäre und Erhaltung der Biodiversität, (3) stratosphärischer Ozonabbau, (4) Aerosolbelastung der Atmosphäre, (5) Versauerung der Ozeane, (6) biogeochemische Kreisläufe (Stickstoff und Phosphor), (7) Süßwassernutzung, (8) Landnutzungsänderungen (z.B. Abholzung), (9) Eintrag künstlich erzeugter Stoffe, Chemikalien sowie radioaktiver Teilchen.

Seither wird die Datenbasis erweitert und vertieft. Entsprechend dem aktuell veröffentlichten Stand der Forschung in diesem Bereich,<sup>19</sup> werden durch menschliche Aktivitäten derzeit sechs von neun ökologischen Belastungsgrenzen bzw. Schwellenwerte überschritten. Dies zeigt sich durch den starken (1) Rückgang der Biodiversität, den weiterhin zunehmenden (2) Eintrag künstlich erzeugter Stoffe, den fortschreitenden (3) Ausstoß von Treibhausgasen, den wachsenden (4) Eintrag von Stickstoff und Phosphor, die anhaltende (5) Veränderung der Landnutzung sowie die übermäßig zunehmende (6) Süßwassernutzung.

Wie bereits dargestellt, beeinträchtigt das Überschreiten der ökologischen Belastungsgrenzen der Erde nicht nur das ökologische Gleichgewicht unseres Planeten, sondern stellt zugleich eine ernstzunehmende Bedrohung für den Fortbestand der Menschheit dar.<sup>20</sup>

### **Die Rolle des Bauwesens zur Stabilisierung des ökologischen Gleichgewichts**

In Anbetracht der Überschreitung der ökologischen Belastungsgrenzen ist das Bauwesen stark gefordert, einen umfassenden Beitrag zur Stabilisierung des ökologischen Gleichgewichts zu leisten. Dies gilt insbesondere für die genannten kritischen Bereiche wie Ausstoß von Treibhausgasen, Rückgang der Biodiversität, Eintrag künstlich erzeugter Stoffe, Eintrag von Stickstoff und Phosphor, Veränderung der Landnutzung sowie Wassernutzung.

<sup>18</sup> <https://www.stockholmresilience.org/research/planetary-boundaries.html>, aufgerufen am 29.10.2023

<sup>19</sup> <https://www.science.org/doi/10.1126/sciadv.adh2458>, aufgerufen am 29.10.2023

<sup>20</sup> <https://doi.org/10.1038/s41586-023-06083-8>, aufgerufen am 29.10.2023

## **Treibhausgase**

Im Jahr 2021 lag der Anteil des Bauwesens am globalen Gesamtenergieverbrauch bei 34% und an den energie- und prozessbezogenen CO<sub>2</sub>-Emissionen bei 37%<sup>21</sup>. In Anbetracht der weiterhin zunehmenden Weltbevölkerung und den Erwartungen in den Schwellenländern im Hinblick auf einen besseren Lebensstandard, sind die bisherigen Maßnahmen zur grundlegenden Minimierung des CO<sub>2</sub>-Ausstoßes und zum Erreichen der im Europäischen Green Deal verankerten Klimaneutralität<sup>22</sup> als nicht ausreichend anzusehen, um den globalen CO<sub>2</sub>-Ausstoß umfassend zu minimieren. So ist davon auszugehen, dass sich der globale Gebäudebestand bezüglich sämtlicher, im Jahr 2017 vorhandenen Geschossflächen bis zum Jahr 2060 verdoppeln wird.<sup>23</sup>

Die im Rahmen des Europäischen Green Deal vorgegebene Weg zur CO<sub>2</sub>-Neutralität ist richtig, dennoch ist aufgrund der Dringlichkeit des Erreichens einer auf globaler Ebene grundlegenden Decarbonisierung aller Wirtschafts- und Gesellschaftsbereiche zu klären, wie Umfang und Geschwindigkeit zur Umsetzung der erforderlichen Maßnahmen optimiert werden können.

Zudem müssen Strategien entwickelt werden, wie sich in Kooperation mit der globalen Staatengemeinschaft die Maßnahmen der EU für eine umfassende Decarbonisierung auf globaler Ebene durchführen lassen.

Die Umsetzung grundlegender Nachhaltigkeitsstrategien, wie die vollständige Umstellung der Energieversorgung auf die Nutzung erneuerbarer Energien und die umfassende Verwendung nachwachsender Rohstoffe sowie die Realisierung einer durchgängigen Kreislaufwirtschaft sind hierbei sowohl im Bauwesen als auch in allen weiteren Wirtschaftssektoren von ausschlaggebender Bedeutung.

## **Biodiversität und Veränderung der Landnutzung.**

Das Errichten von Gebäuden mit den zugehörigen Flächen für Erschließung, Mobilität, Erholung und Infrastruktur verursacht derzeit in Deutschland einen Flächenverbrauch von rund 55 Hektar pro Tag<sup>24</sup>. Die fortschreitende Zerstörung und Fragmentierung von Lebensräumen für Pflanzen und Tiere ist die Folge. Hierzu ist in Anbetracht des weiterhin steigenden pro-Kopf-Flächenbedarfs für Wohnen zu hinterfragen, wie der Grundsatz eines maßvollen Umgangs mit Fläche als Ressource in gesellschaftlicher Hinsicht vermittelt werden kann. In Anbetracht des global stark anwachsenden Flächenbedarfs für das Bauen ist auch hier die Frage zu stellen, wie der der Ansatz eines maßvollen Umgangs mit der Ressource Boden im Sinne des Suffizienzgedankens<sup>25</sup> umgesetzt werden kann. Hierzu kann eine verantwortungsvolle Stadtplanung und -gestaltung dazu beitragen, Flächenzersiedelung zu verhindern, Grünflächen zu erhalten und zu erweitern, um gerade auch in der Stadt Artenvielfalt zu fördern und Ökosysteme zu schützen. Die umfassende Berücksichtigung und Umsetzung von Grüner Infrastruktur in der Stadt- und Gebäudeplanung schafft Lebensräume für Pflanzen und Wildtiere und trägt zur städtischen Artenvielfalt bei<sup>26, 27</sup>.

---

<sup>21</sup> <https://globalabc.org/our-work/tracking-progress-global-status-report>, aufgerufen am 29.10.2023

<sup>22</sup> [https://commission.europa.eu/strategy-and-policy/priorities-2019-2024/european-green-deal\\_de](https://commission.europa.eu/strategy-and-policy/priorities-2019-2024/european-green-deal_de), aufgerufen am 29.10.2023

<sup>23</sup> <http://globalabc.org/sites/default/files/2020-09/2017%20GlobalABC%20GSR%20.pdf>, aufgerufen am 29.10.2023

<sup>24</sup> <https://www.bmuv.de/themen/nachhaltigkeit/strategie-und-umsetzung/reduzierung-des-flaechenverbrauchs>, aufgerufen am 29.10.2023

<sup>25</sup> Diana Mincyte, Gabriela Kütting, David L. Goldblatt & Thomas Princen (2007) Thomas Princen, *The Logic of Sufficiency*, Sustainability: Science, Practice and Policy, 3:1, 79-86, DOI: 10.1080/15487733.2007.11907995

<sup>26</sup> <https://www.zsk.tum.de/zsk/startseite/>, aufgerufen am 29.10.2023

<sup>27</sup> <https://www.lss.ls.tum.de/lapl/forschung/gruene-stadt-der-zukunft/publikationen/>, aufgerufen am 29.10.2023

## **Eintrag künstlich erzeugter Stoffe und Ressourcennutzung**

Die im Gebäudesektor verwendeten Materialien, wie Beton, Stahl, Aluminium und Glas, verursachen derzeit (2022) ca. 9% der gesamten energiebedingten CO<sub>2</sub>-Emissionen. Zudem werden weltweit rund 100 Mrd. Tonnen Abfall durch Bau-, Renovierungs- und Abrissarbeiten verursacht. 35% davon landen als Abfall in Deponien. Entsprechend aktueller Prognosen wird sich der Rohstoffverbrauch im Bauwesen auf globaler Ebene bis 2060 verdoppeln, mit entsprechenden Folgen für den Rohstoffbedarf und die herstellungsbedingten Treibhausgasemissionen<sup>28</sup>. Darüber hinaus ist der Einsatz von Chemikalien im Bauwesen grundlegend zu hinterfragen, um den Eintrag von schädlichen Chemikalien, wie z.B. von flüchtigen organischen Verbindungen (VOC) soweit wie möglich zu reduzieren.

In Anbetracht dieser enormen Herausforderungen ist die Anwendung grundlegend nachhaltiger Baupraktiken zwingend erforderlich. Zukunftsfähiges Bauen basiert daher auf den folgenden Grundprinzipien:

- Suffizienz: Klärung der Frage, wieviel von einem bestimmten Gut im Sinne der Genügsamkeit zwingend benötigt wird. Das Ziel ist die Reduktion des Ressourceneinsatzes für Boden, Wasser, Material, Energie, etc. auf das wirklich Notwendige.
- Konsistenz: Umfassender Einsatz Erneuerbarer Energien, nachwachsender Rohstoffe und Umsetzung geschlossener Stoffkreisläufe. Ziel ist die Vermeidung des Verbrauchs von nicht-erneuerbaren Ressourcen und von negativen Umweltwirkungen, wie Treibhausgas-Emissionen und Abfall.
- Effizienz: Minimierung des Bedarfs von erneuerbaren sowie nicht-erneuerbaren Ressourcen zur Minimierung von Aufwand, Kosten und negativen Umweltwirkungen.

Diese Grundprinzipien müssen im Verbund bereits in der Frühphase der Planung von Bauaktivitäten auf ihre Umsetzbarkeit hin untersucht werden, um die entsprechenden Nachhaltigkeitsziele im Verbund mit allen Akteuren im Planungsprozess verankern und umsetzen zu können.

## **Wassernutzung und Stickstoff- und Phosphorflüsse**

Der globale Süßwasserverbrauch hat sich in den vergangenen 100 Jahren versechsfacht und steigt seit 1980 kontinuierlich um rund 1%/Jahr an. Rund 69% entfallen auf landwirtschaftliche Nutzung, 19% auf Industrieproduktion und Energieerzeugung sowie 12% auf die Gemeinden<sup>29</sup>. Es ist davon auszugehen, dass der Süßwasserbedarf aufgrund der weiterhin anwachsenden Weltbevölkerung bis 2100 weiter stark zunehmen wird<sup>30</sup>, wodurch sich auch die global vorhandenen Herausforderungen, wie ungleich verteilte Verfügbarkeit und z.T. mangelnde Qualität ausweiten werden<sup>31</sup>.

Bezogen auf das Bauwesen ist daher ein wesentlich effizienterer Umgang mit Süßwasser durch den umfassenden Einsatz von wassersparenden Technologien und die Regen- und Grauwassernutzung zur Reduktion des Wasserbedarfs in Toilettenspülungen und zur Bewässerung von Grünflächen von ausschlaggebender Bedeutung. Dies gilt auch für die Entsiegelung von Freiflächen und die Umsetzung einer getrennten Entwässerung von Abwasser und Regenwasser, um durch die Versickerung des Regenwassers vor Ort dazu beizutragen, die lokalen Süßwasserressourcen zu erhalten.

Im Hinblick auf die dringend zu vermeidende Freisetzung von überschüssigem Stickstoff und Phosphor in Ökosystemen (Eutrophierung) ist auf eine entsprechende Abwasserbehandlung zu achten. Dies gilt auch für die Vermeidung des Eintrags von Mikroschadstoffen und Mikroplastik.<sup>32</sup>

---

<sup>28</sup> <https://globalabc.org/our-work/tracking-progress-global-status-report>, aufgerufen am 29.10.2023

<sup>29</sup> <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000375751>, aufgerufen am 29.10.2023

<sup>30</sup> <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1748-9326/9/10/104003>, aufgerufen am 29.10.2023

<sup>31</sup> <https://www.bmz.de/de/agenda-2030/sdg-6>, aufgerufen am 29.10.2023

<sup>32</sup> <https://www.consilium.europa.eu/de/policies/wastewater-treatment/>, aufgerufen am 29.10.2023

## **Lebenszyklusbasierte Ökobilanzierung zur Beurteilung der Umweltwirkungen**

Zur Umsetzung der Nachhaltigkeitsziele ist es erforderlich, in jeder Phase der Planung die Umweltwirkungen alternativer Planungskonzepte beurteilen zu können. In diesem Zusammenhang bietet die Methode der Ökobilanzierung<sup>33</sup> eine Möglichkeit, die umweltbezogenen Einflüsse von Gebäuden über den gesamten Lebenszyklus von Gebäuden zu ermitteln und zu beurteilen. Hierbei werden sämtliche Umweltwirkungen ermittelt, die durch die Herstellung, Nutzung, den Betrieb sowie Rückbau und die Entsorgung eines Gebäudes sowie durch alle vor- und nachgeschalteten Prozesse anfallen. Ein wesentlicher Bestandteil zur Erstellung einer Ökobilanz<sup>34</sup> sind die baustoffbezogenen Umweltproduktdeklarationen (Environmental Products Declaration, EPD)<sup>35, 36</sup>.

Die EPDs enthalten u.a. Kernindikatoren für die Umweltwirkung und Parameter zur Beschreibung des Ressourceneinsatzes und sonstige Umweltinformationen.

### **Indikatoren zur Beurteilung der Umweltwirkungen**

- Globales Erwärmungspotenzial fossil (GWP-fossil)
- Abbaupotenzial der stratosphärischen Ozonschicht (ODP)
- Versauerungspotenzial, kumulierte Überschreitung (AP)
- Globales Erwärmungspotenzial biogen (GWP-biogenic)
- Bildungspotenzial für troposphärisches Ozon (POCP)
- Potenzial für die Verknappung abiotischer nicht fossile Ressourcen (ADPE)
- Eutrophierungspotenzial Süßwasser (EP-freshwater)
- Globales Erwärmungspotenzial luluc (GWP-luluc)
- Eutrophierungspotenzial Salzwasser (EP-marine)
- Wasser-Entzugspotenzial (WDP)
- Eutrophierungspotenzial Land (EP-terrestrial)
- Globales Erwärmungspotenzial – total (GWP-total)
- Potenzial für die Verknappung abiotischer Ressourcen fossiler Brennstoffe (ADPF)

### **Parameter Ressourceneinsatz und sonstige Umweltinformationen**

- Erneuerbare Primärenergie als Energieträger (PERE)
- Erneuerbare Primärenergie zur stofflichen Nutzung (PERM)
- Total erneuerbare Primärenergie (PERT)
- Nicht-erneuerbare Primärenergie als Energieträger (PENRE)
- Nicht-erneuerbare Primärenergie zur stofflichen Nutzung (PENRM)

---

<sup>33</sup> Gemäß den Normen ISO 14040 und 14044 erfolgt die Erstellung einer Ökobilanz in vier Phasen: Zieldefinition und Untersuchungsrahmen, Sachbilanz, Wirkungsabschätzung und Auswertung. Informationen zur Anwendung im Bauwesen finden sich unter: <https://www.bbsr.bund.de/BBSR/DE/forschung/fachbeitraege/bauen/baustoffe-bauprodukte/oekobilanzierung/01-start.html>, aufgerufen am 29.10.2023

<sup>34</sup> <https://www.baunormenlexikon.de/norm/din-en-15804/745a38a4-9230-4d26-ac69-708057a5ea7c>, aufgerufen am 29.10.2023

<sup>35</sup> [https://oekobaudat.de/OEKOBAU.DAT/datasetdetail/process.xhtml?uuid=c8835af8-44d2-47df-a833-8e823e6ee5cd&version=00.01.000&stock=OBD\\_2023\\_I&lang=de](https://oekobaudat.de/OEKOBAU.DAT/datasetdetail/process.xhtml?uuid=c8835af8-44d2-47df-a833-8e823e6ee5cd&version=00.01.000&stock=OBD_2023_I&lang=de), aufgerufen am 29.10.2023

<sup>36</sup> siehe auch: DIN EN 15804 „Nachhaltigkeit von Bauwerken – Umweltproduktdeklarationen – Grundregeln für die Produktkategorie Bauprodukte“

- Total nicht-erneuerbare Primärenergie (PENRT)
- Total erneuerbare Primärenergie (PERT)
- Einsatz von Sekundärstoffen (SM)
- Erneuerbare Sekundärbrennstoffe (RSF)
- Nicht erneuerbare Sekundärbrennstoffe (NRSF)
- Einsatz von Süßwasserressourcen (FW)
- Gefährlicher Abfall zur Deponie (HWD)
- Entsorgter nicht gefährlicher Abfall (NHWD)
- Entsorgter radioaktiver Abfall (RWD)
- Komponenten für die Wiederverwendung (CRU)
- Stoffe zum Recycling (MFR)
- Stoffe für die Energierückgewinnung (MER)
- Exportierte elektrische Energie (EEE)
- Exportierte thermische Energie (EET)

#### **Zusätzliche Umweltwirkungsindikatoren**

- Potenzielle Toxizitätsvergleichseinheit für den Menschen - nicht kanzerogene Wirkung (HTP-nc)
- Potenzielle Toxizitätsvergleichseinheit für den Menschen - kanzerogene Wirkung (HTP-c)
- Potenzielle Wirkung durch Exposition des Menschen mit U235 (IRP)
- Potenzielles Auftreten von Krankheiten aufgrund von Feinstaubemissionen (PM)
- Potenzieller Bodenqualitätsindex (SQP)
- Potenzielle Toxizitätsvergleichseinheit für Ökosysteme (ETP-fw)

### **Fazit**

Obwohl nicht für alle verfügbaren Baustoffe vollständige Informationen zu allen Indikatoren vorliegen, wird deutlich, dass wir bereits heute in der Lage sind, im Bauwesen die Umweltwirkungsindikatoren zu identifizieren, die maßgeblich zur gegenwärtigen Überschreitung der Schwellenwerte der ökologischen Belastungsgrenzen unseres Planeten beitragen.

Alle im Bereich des Bauwesens tätigen Akteure sind daher aufgerufen, vorhandene Methoden, wie die lebenszyklusbezogene Ökobilanzierung konsequent in allen Bereichen des Bauwesens einzusetzen, um die Stellschrauben und die notwendigen Maßnahmen zur Stabilisierung und die Erhaltung der Funktionsfähigkeit des Erdsystems zu identifizieren und umzusetzen.

Alle im Bereich des Bauwesens tätigen Akteure sind daher aufgerufen, vorhandene Methoden, wie die lebenszyklusbezogene Ökobilanzierung konsequent in allen Bereichen des Bauwesens einzusetzen, um die Stellschrauben und die notwendigen Maßnahmen zur Stabilisierung und den Erhalt der Funktionsfähigkeit des Erdsystems zu identifizieren und umzusetzen.

Bereits heute vorhandene Zertifizierungssysteme, wie das Bewertungssystem Nachhaltiges Bauen (BNB)<sup>37</sup> für öffentliche Bauvorhaben sowie das DGNB Zertifizierungssystem<sup>38</sup> für nicht-öffentliche

<sup>37</sup> <https://www.bnb-nachhaltigesbauen.de>, aufgerufen am 31.10.2023

<sup>38</sup> <https://www.dgnb.de/de>, aufgerufen am 31.10.2023

Bauvorhaben bieten wertvolle Ansätze, um nachweislich einen wesentlichen Beitrag zum Erhalt von Biodiversität, der Stabilisierung unseres Klimas, der Süßwasser- sowie Landnutzung, der Minimierung des Eintrags von Stickstoff und Phosphor sowie künstlich erzeugter Stoffe und zur Einschränkung der fortschreitende Verschmutzung unserer Umwelt und Ressourcenausbeutung zu leisten.

## Diskussion

Anmerkungen von Peter Wilderer: Wie passen Vorschläge wie „Schwamm-Stadt“ (Sponge City) in das Konzept der nachhaltigen Stadtplanung und der städtischen Infrastruktur?

Könnte man die Umsetzung solcher Vorschläge als Äquivalent zur biotischen Selbstregulation einordnen?

Antwort von Werner Lang: Das Konzept der Schwamm-Stadt verfolgt das Ziel, in Anbetracht der zunehmenden Häufigkeit von Starkregenereignissen dazu beizutragen, dass Niederschlagswasser zwischengespeichert und zeitversetzt versickert werden kann. Auf diese Weise soll die Überflutungsfahr verringert und der Grundwasserspiegel stabilisiert werden. Wesentliche Maßnahmen zum Erreichen dieser Ziele beinhalten die Flächenentsiegelung und Erhöhung des Grünflächenanteils in Städten, was neben der Bereitstellung von Ökosystemleistungen, wie z.B. Verschattung und Verdunstungskühlung durch Pflanzen zu einer Erhöhung der Biodiversität führt. Im wirkungsvollen Zusammenspiel von grüner und blauer Infrastruktur in der Stadt entstehen so räumlich begrenzte, sich weitgehend selbstregulierende biotische Systeme, die einen sehr wertvollen Beitrag zur Umsetzung nachhaltiger Städte, sowohl in sozio-kultureller als auch ökologischer Hinsicht leisten.

## Nachhaltige Bewirtschaftung von Regenabflüssen in versiegelten Gebieten

Der Mensch hat durch seine Gewohnheit, geschützt in Häusern und Wohnungen zu leben, einen großen Einfluss auf den natürlichen Lebensraum der Erde. Durch den Bau von Häusern und der damit verbundenen Infrastruktur wie Straßen, Plätzen usw. werden immer mehr natürliche Flächen mit undurchlässigen Materialien wie Asphalt, Beton oder Ziegeln versiegelt. Damit verbunden ist eine Störung des lokalen natürlichen Wasserhaushalts, der sich aus Verdunstung, Versickerung und Abfluss des natürlichen Regens zusammensetzt. Verdunstung und Versickerung sind in den meisten Gebieten die wichtigsten Faktoren. Für die Verdunstung ist es wichtig, dass das Regenwasser vorübergehend in Böden und Pflanzen gespeichert wird und dann verdunstet, wie es auf natürliche Weise geschieht.

Prof. Dr. Brigitte Helmreich  
Urban Water Science,  
Technology & Management  
Infiltration of precipitation  
Active member of DWA  
specialist groups

Aufgrund des Bevölkerungswachstums und des demografischen Wandels nimmt jedoch die Verknappung des Wohnraums vor allem in Groß- und Megastädten zu und damit auch der Druck, den ohnehin oft beengten städtischen Raum zu vergrößern oder zu verdichten, um den sozialen Herausforderungen gerecht zu werden. Lange Zeit wurde der Nachhaltigkeit keine Priorität eingeräumt. Bisher lag der Schwerpunkt bei der Planung von Stadtvierteln als Lebensraum. Architekturwettbewerbe haben sich nur sehr rudimentär mit dem Thema Regenwassermanagement beschäftigt. In Zukunft wird es daher wichtig sein, dass alle Akteure aus den Bereichen Architektur, Freiraumplanung,

Landschaftsarchitektur und Siedlungswasserwirtschaft mit den Behörden und den Betroffenen zusammenarbeiten, um von Anfang an eine nachhaltige Lösung zu entwickeln.

Mit der Erkenntnis, dass der Klimawandel bereits jetzt und in Zukunft unser Leben prägt, findet langsam ein Umdenken in Richtung Nachhaltigkeit statt. Doch trotz des beginnenden Umdenkens wird die Umsetzung einer nachhaltigen Entwicklung noch einige Zeit in Anspruch nehmen, vor allem weil alte Strukturen aufgebrochen und verändert werden müssen und es möglicherweise zu spät ist, um menschliche und finanzielle Schäden abzuwenden.

Die Folgen des Klimawandels sind Starkniederschläge, langanhaltende Regenperioden und Trockenheit. In dicht bebauten und versiegelten Stadtgebieten kann das Regenwasser durch die Versiegelung natürlicher Flächen mit Verkehrsflächen und Dächern nicht mehr in den Boden versickern und darin gespeichert werden, und es fehlt an Pflanzen, die die Verdunstung fördern. Bei starken oder langanhaltenden Regenfällen kann die Kanalisation nicht den gesamten Regenwasserabfluss aufnehmen. Es kommt zu Überschwemmungen und die Schäden nehmen zu. Durch die Verhinderung der Versickerung wird auch die natürliche Grundwasserneubildung unterbrochen und damit die Trinkwasserversorgung gefährdet. Wenn es jedoch zu wenig regnet, d.h. wenn es zu Dürreperioden kommt, besteht aufgrund der fehlenden Vegetation in stark versiegelten städtischen Gebieten keine Möglichkeit zur Klimatisierung durch Verdunstungskühlung. Da es oft keine oder nur wenige Bäume gibt, heizen sich auch versiegelte Flächen wie Asphaltstraßen durch die ungehinderte Sonneneinstrahlung auf, was dem Stadtklima ebenfalls schadet. Dies kann zu städtischen Wärmeinseln führen, vor allem wenn es aufgrund der dichten Bebauung keine Frischluftschneisen gibt.

Wirtschaftliche Erwägungen sind oft der Grund für Bauprojekte. Wohnraum soll bezahlbar sein und Investoren wollen eine möglichst hohe Gewinnspanne erzielen. In Zukunft darf dies nicht mehr die Triebfeder für den Wohnungsbau sein; das reine Profitmotiv muss in den Hintergrund treten.

#### **Vorschläge zur Erreichung einer nachhaltigen Resilienz bei technischen Lösungen.**

Aus wasserwirtschaftlicher Sicht können ökologische, ökonomische und soziale Herausforderungen durch die Planung und Umsetzung einer wasserbewussten Siedlungsentwicklung zusammengeführt werden. Es hat sich gezeigt, dass die gezielte Einführung von Elementen der wasserbewussten Stadt wie Dachbegrünung, Fassadenbegrünung, oberirdische Versickerungsanlagen, Feuchtbiotope, Regenwasserspeicher- und -nutzungsanlagen, wasserdurchlässige Oberflächenbeläge und multifunktionale Flächen einen Beitrag zur Erhaltung des natürlichen Wasserhaushaltes trotz der Zunahme der Wohnfläche leisten können.

Die Verwendung von Gründächern anstelle von konventionellen Kies-Flachdächern oder Ziegeldächern kann zum Beispiel den Niederschlagswasserabfluss bei gleichbleibender Fläche deutlich reduzieren. So kann der Ersatz eines bestehenden Kies-Flachdachs durch ein Gründach dazu beitragen, den natürlichen Wasserhaushalt wiederherzustellen. Verbleibendes Niederschlagswasser kann gespeichert und in Trockenperioden zur Bewässerung genutzt oder gezielt versickert werden. Eine vorausschauende Wasserhaushaltsmodellierung und die Anpassung der Gebäude an den natürlichen Wasserhaushalt vor Ort spielen dabei eine wichtige Rolle.

Fassadenbegrünung trägt nicht nur zur Erhöhung der Verdunstung und damit der Stadtklimatisierung bei, sondern auch zur Verschattung der Gebäude und damit zur Senkung der Energiekosten für die Klimatisierung.

Multifunktionale Flächen sind Flächen, die in erster Linie die Funktion von Parks, Sport- oder Spielplätzen etc. haben. Bei starken Regenfällen können sie bei Überschwemmungen des

Entwässerungssysteme die Funktion eines Speichers übernehmen und so die Siedlung vor Schäden schützen.

Zwischen der Begrünung der Siedlung und der Bewirtschaftung des Regenwasserabflusses von versiegelten Flächen können Synergieeffekte entstehen. So können Versickerungsanlagen heute mit einer Vielzahl von Gräsern, Stauden, Sträuchern und Gehölzen bis hin zu Bäumen bepflanzt werden [DWA-A 138-1, 2023]. Das war lange Zeit nicht der Fall. In den Versickerungsmulden wurden Gräser ausgesät. Die Etablierung einer biodiversen Bepflanzung wurde durch die Zusammenarbeit mit Grünplanerinnen sowie Grünplanern und Agrar-Architektinnen sowie Agrar-Architekten und durch wissenschaftliche Studien ermöglicht. Dies erhöht die Akzeptanz der Versickerungsanlagen in dicht besiedelten Gebieten und führt dazu, dass kein weiteres Land "verschwendet" wird. Die biodiverse Bepflanzung trägt zum Wohlbefinden der Menschen in der Siedlung bei, erhöht die Verdunstungskälte und auch die Insektenvielfalt kann gesteigert werden. Dennoch bleibt die Hauptaufgabe der Versickerungsmulde die Entwässerungsfunktion und damit die Grundwasserneubildung.

Bäume spielen eine wichtige Rolle bei der Aufrechterhaltung des lokalen Wasserhaushalts in der Siedlung [Berland et al., 2017], aber der Platz für artgerechte Pflanzgruben ist in der dichten Bebauung begrenzt. Sie sind oft in eine versiegelte Fläche eingebaut und haben daher eine unzureichende Wasserversorgung. Unter Umständen ist die Bewässerung für einen jungen, 10-jährigen Baum noch ausreichend. Im Laufe der Jahre vergrößert sich die Wurzelfläche, und es wird mehr Wasser benötigt. Die optimale Verdunstungsleistung des Baumes kann jedoch nur gewährleistet werden, wenn ausreichend Wasser zur Verfügung steht [Franceschi et al. 2023]. Die gezielte Nutzung des Niederschlagsabflusses von versiegelten Flächen kann langfristig eine optimale Bewässerung sicherstellen. Dabei müssen die Schadstoffe aus dem Niederschlagsabfluss vorher entfernt werden, um den Baum zu schützen und das Grundwasser, in das ungenutztes Wasser versickern kann, nicht zu gefährden. Auch hier ist also interdisziplinäres Denken gefragt.

Unterm Strich kann eine nachhaltige Regenwasserbewirtschaftung einen wichtigen Beitrag leisten, um Ökologie, Ökonomie und soziale Herausforderungen in Einklang zu bringen. Dabei müssen alle an der Stadtentwicklungsplanung Beteiligten von Anfang an an einem Strang ziehen. Die Ausgangsfrage, ob die biotische Selbstregulierung als Modell für anthropogene Systeme in Frage kommt, ist in der Tat mit einem "Ja, aber" verbunden. Denn mit jedem Eingriff, den der Mensch hier nach bestem Wissen und Gewissen vornimmt, greift er wieder in die Natur ein und verändert sie ein weiteres Mal.

### Literaturverzeichnis

Berland, Adam; Shiflett, Sheri A.; Shuster, William D.; Garmestani, Ahjond S.; Goddard, Haynes C.; Herrmann, Dustin L.; Hopton, Matthew E. (2017): The role of trees in urban stormwater management. In *Landscape and Urban Planning* 162, pp. 167-177. DOI: 10.1016/j.landurbplan.2017.02.017

Franceschi, Eleonora; Moser-Reischl, Astrid; Honold, Martin; Rahman, Mohammad Asrafur; Pretzsch, Hans; Pauleit, Stephan; Rötzer, Thomas (2023): Urban environment, drought events and climate change strongly affect the growth of common urban tree species in a temperate city. In *Urban Forestry & Urban Greening* 88. DOI: 10.1016/j.ufug.2023.128083.

DWA-A 138-1: Stormwater infiltration systems - Part 1: Planning, construction and operation. German Association for Water, Wastewater and Waste: Hennef, draft 2023



Anmerkungen von Peter Wilderer: Brigitte Helmreich erinnert in ihrem Beitrag an die Bedeutung einer nachhaltig wirkenden Regenwasserbewirtschaftung im kommunalen Umfeld. Die klimatischen Veränderungen, denen wir heutzutage ausgesetzt sind, erfordert eine Abkehr von der über Jahrzehnte hinweg praktizierten Methode des Umgangs mit Regenwasser in der Stadt- und Siedlungsplanung.

Die Devise war bisher, im Siedlungsgebiet das Regenwasser alleine oder in Mischung mit kommunalem Abwasser zu sammeln und bestenfalls nach Reinigung in ein nahes Fließgewässer einzuleiten.

In nicht besiedelten Gebieten versickert das Wasser naturgemäß und trägt zur Stabilisierung des Grundwasserspiegels bei. Eine extensive Förderung von Grundwasser im Siedlungsgebiet und in den anschließenden landwirtschaftlich genutzten Gebieten führt zwangsläufig zu Mangelsituationen. Ein Direktversickerung von Regenwasser innerhalb der Siedlungen könnte dazu beitragen, solche Mangelsituationen zu vermeiden oder wenigstens zu vermindern. Das Problem ist nur, dass das von Dachflächen und Straßen ablaufende Wasser mit einer Vielzahl an Schmutzstoffen belastet ist. Ohne deren Entfernung vor der Versickerung würden sich diese Schmutzstoffe im Boden und in den darunter liegenden Sedimentschichten akkumulieren. Es würden sogenannte Altlasten entstehen, was mit der Maxime der Nachhaltigkeit unvereinbar ist. Forschung, Entwicklung sowie Überzeugungsarbeit ist zu leisten, um zu nachhaltigen Lösungen zu kommen. Hier schließt sich der Kreis, der zu holistischen anthropogenen Regulierungsansätzen führt.

## **Gedanken und Vorschläge für eine regelbasierte und nachhaltige Landwirtschaft**

### **Folgewirkungen technischer Eingriffe in die natürlichen Ressourcen**

Zur Abschätzung der Folgewirkungen landwirtschaftlicher Produktionsprozesse ist eine frühzeitige Quantifizierung externer Effekte der Landbewirtschaftung auf Wasser, Boden, Klima und Artenvielfalt zwingend notwendig. Die Einflüsse auf die Ressource Wasser nach Menge und Qualität erfordern ein besonderes Augenmerk. Ebenso wichtig ist der Schutz des Bodens vor Erosionen durch Starkregenereignisse und Windverwehungen als Folge der Klimaänderung.

Dr. Dr. h.c. Alois Heissenhuber  
Prof. em. of TUM School of  
Life Sciences at Weihenstephan  
Chair of Agricultural Economics  
Particularly focused on sustainable  
development of rural areas;  
policy impact assessment and more

Einen wichtigen Schritt hin zu einer umfassenden Betrachtung der Landbewirtschaftung stellte für mich und meinen Lehrstuhl die Einrichtung des „Forschungsverbundes Agrarökosysteme München“ (FAM) dar. Dieser wurde von einer Vielzahl von Lehrstühlen und Instituten der TU München-Weihenstephan und der GSF Neuherberg über einen Zeitraum von 12 Jahren auf den Flächen des Klostersgutes Scheyern durchgeführt. Die Ergebnisse wurden 2005 im Buch „Landwirtschaft und Umwelt – ein Spannungsfeld“ veröffentlicht.

In der zeitlichen Abfolge traten vermehrt die Anliegen des Klimaschutzes in den Vordergrund. In diesem Zusammenhang hatte ich die Gelegenheit, mit einem bekannten Klimaforscher ein Projekt zu bearbeiten. Darin ging es um die Reduzierung der durch Rinder verursachten Klimabelastung. Auftraggeber war eine Pharmafirma, die Hormone, z.B. Insulin, gentechnisch herstellen konnte. Ein weiteres Hormon, das bovine Somatotropin (bST), war in der Lage, die Leistung von Milchkühen um etwa 10 % zu steigern. Bei einem ersten Ansatz wäre damit eine Verringerung der Zahl der Milchkühe um 10

% möglich. Damit verbunden wäre auch eine erhebliche Reduzierung der Methanemission. Abgesehen von den ethischen Bedenken, bei den Tieren regelmäßig eine Hormoninjektion durchzuführen, stellte sich bei einer umfassenden Betrachtung heraus, dass die Einspareffekte in dem erwarteten Umfang nicht eintreten. In der EU erfolgte schließlich, im Gegensatz zu den USA, keine Zulassung dieses Hormons.

In der jüngeren Zeit haben wir uns am Lehrstuhl mit einer weiteren Herausforderung beschäftigt, nämlich der Erhaltung bzw. der Förderung der Artenvielfalt. Im Laufe der vergangenen 70 Jahre wurden in Deutschland Flurstücke vergrößert, um eine sinnvolle Bewirtschaftung mit den Maschinen zu ermöglichen. Staatlicherseits wurde die „Flurbereinigung“ gefördert. Hinzu kam die stärkere Spezialisierung der Betriebe. In der Konsequenz verschwanden Strukturelemente (Hecken und Feldgehölze), wurden Felder deutlich vergrößert und von einigen Feldfrüchten (z.B. Mais) deutlich mehr angebaut. Das alles geht zu Lasten der Artenvielfalt. Daneben wird auch die Erosionsgefahr erhöht. Die Herausforderung besteht nun darin, den Schutz der natürlichen Ressourcen und des Klimas zugleich in den Fokus zu nehmen.

In der jüngeren Zeit haben wir uns am Lehrstuhl mit einer weiteren Herausforderung beschäftigt, nämlich dem Erhalt bzw. der Förderung der Artenvielfalt. Im Laufe der vergangenen 70 Jahre wurden in Deutschland Flurstücke vergrößert, um eine sinnvolle Bewirtschaftung mit den Maschinen zu ermöglichen. Staatlicherseits wurde die „Flurbereinigung“ gefördert. Hinzu kam die stärkere Spezialisierung der Betriebe. In der Konsequenz verschwanden Strukturelemente (Hecken und Feldgehölze), wurden Felder deutlich vergrößert und von einigen Feldfrüchten (z.B. Mais) deutlich mehr angebaut. Das alles geht zu Lasten der Artenvielfalt. Daneben wird auch die Erosionsgefahr erhöht. Die Herausforderung besteht nun darin, den Schutz der natürlichen Ressourcen und des Klimas zugleich in den Fokus zu nehmen.

Wir müssen erkennen, dass der Schutz der Ressourcen multifunktional ist. Das ist die aktuelle Herausforderung. In diesem Zusammenhang ist darauf hinzuweisen, dass die Landwirtschaft eine dreifache Rolle spielt, nämlich als Verursacher, als Betroffener und auch als Schützer, z.B. durch vermehrte Speicherung des Kohlenstoffes. Einmal mehr geht es um die Lösung von Zielkonflikten im Sinne einer nachhaltigen Entwicklung, also eines Kompromisses zwischen Ökologie, Ökonomie und Soziales.

### **Vorschläge, wie eine nachhaltige Resilienz technischer Lösungen erreicht werden kann**

Die derzeit in der Praxis angewandte Art und Weise der Landbewirtschaftung kann nicht als nachhaltig bezeichnet werden. Zu diesem Ergebnis kam auch eine vor drei Jahren von der damaligen Bundeskanzlerin Angela Merkel eingesetzte „Zukunftskommission Landwirtschaft“. Die interdisziplinär besetzte Kommission kam einstimmig zu dem Votum zugunsten einer verstärkten Resilienz der Landwirtschaft.

Die zwei Hauptkritikpunkte, die bei den Beratungen der Kommission herausgestellt und begründet wurden, beziehen sich auf die Förderpolitik der EU und auf die von der Landwirtschaft verursachten externen Kosten. Die von einigen Gruppierungen geforderte Ausweitung des Ökologischen Landbaues kann nicht als flächendeckende Lösung angestrebt werden, wenngleich der Ökolandbau bezüglich Ressourcenschutz deutliche Vorteile aufweist. Dem stehen aber niedrigere Erträge und höhere Kosten gegenüber. Das Ziel muss darin bestehen, die herkömmliche (konventionelle) Landwirtschaft ressourcenschonender zu gestalten, so dass schließlich deutlich weniger externe Kosten verursacht werden.

Deutliche Verbesserungen müssen auch im Bereich Tierwohl erreicht werden. Auch Erfolge in diesem Streben werden zur Folge haben, dass Lebensmittel im Preis ansteigen. Seitens der Konsumenten wird sich auch die Nachfrage verändern müssen.

Die Förderpolitik der EU wird auch in Zukunft eine wichtige Rolle spielen. Die jetzige Vorgehensweise einer einheitlichen Flächenprämie, die mit Umweltauflagen verknüpft ist, wird in wissenschaftlichen Kreisen schon seit vielen Jahren als ineffizient bezeichnet. Der EuRH stellte 2018 fest, dass die damals anstehende Reform der Gemeinsamen Agrarpolitik (GAP) den eigenen Zielen nicht gerecht wird. Dennoch wurde eine grundlegende Reform seinerzeit nicht in Angriff genommen. Die nächste Reform steht 2027 an.

Den Empfehlungen der ZKL zur GAP-Reform 2027 kann ich mich vollinhaltlich anschließen, diese lauten: „Insbesondere muss deswegen die Gemeinsame Agrarpolitik (GAP) maßgeblich dazu beitragen, den Übergang zu einem nachhaltigen Ernährungssystem in der EU zu bewältigen und Landwirte und Landwirtinnen auch ökonomisch in die Lage zu versetzen, ihren unverzichtbaren Beitrag zur Erreichung der Klimaschutz-, Tierschutz-, Bodenschutz-, Luft- und Wasserreinhaltungs- sowie Biodiversitätsziele zu leisten und die Umwelt umfassend zu schützen. Dies erfordert, dass die bisherigen flächengebundenen Direktzahlungen aus der 1. Säule der GAP im Laufe der nächsten zwei Förderperioden schrittweise und vollständig in Zahlungen umgewandelt werden, die konkrete Leistungen im Sinne gesellschaftlicher Ziele betriebswirtschaftlich attraktiv werden lassen“. Diese Empfehlungen passen auch gut mit dem von der EU verabschiedeten Green Deal zusammen.

Ein zweiter Ansatz besteht darin, die von der Landwirtschaft ausgehenden externen Kosten zu vermeiden, da die Beseitigung der negativen externen Effekte viel mehr Geld kostet als deren Vermeidung. Die negativen externen Effekte müssen internalisiert werden, so lautet eine gängige Forderung der Umweltökonomie. Die dafür zur Verfügung stehenden Instrumente basieren auf dem Verursacherprinzip, d.h. die Verursacher sind gehalten, ein bestimmtes Niveau an Ressourcenschutz einzuhalten. Über den Marktmechanismus wird dann dafür gesorgt, dass die Verursacher durch Nutzung der technischen Möglichkeiten den kostengünstigsten Weg suchen. Als ein Beispiel ist die präzise, dem Bedarf der Pflanzen angepasste Ausbringung von Düngemitteln zu nennen. Letztlich werden die zusätzlichen Kosten auf den Preis überwälzt. Dieser Vorgehensweise sind Grenzen gesetzt, wenn aus anderen Ländern Erzeugnisse auf den Markt kommen, die nicht mit diesen Kosten belastet sind bzw. wenn man der Ansicht ist, die höheren Kosten seien der Bevölkerung in Form höherer Preise nicht zuzumuten. In diesem Zusammenhang könnten staatliche Zahlungen für die Vermeidung von Umweltbelastungen gewährt werden. Eine entsprechend reformierte GAP würde Zahlungen vorsehen für Leistungen, die über das gesetzlich festgelegte Niveau hinausgehen, vereinfacht gesagt, das wären dann Zahlungen für Gemeinwohlleistungen. Hierbei kommt das Gemeinlastprinzip zur Anwendung.

Abschließend kann festgestellt werden, dass sich die komplexen Herausforderungen bei der Erzeugung von Lebensmitteln nur durch einen inter- und transdisziplinären Ansatz bewältigen lassen. Dazu sind sowohl stark spezialisierte als auch systematisch ausgerichtete Wissenschaftler sowie Wissenschaftlerinnen erforderlich.

## Regulation in der modernen Landwirtschaft

Mit zunehmender Weltbevölkerung wurden zur Erzeugung und Versorgung mit Lebensmitteln der Natur mehr und mehr natürliche Ressourcen abgerungen. Dabei bediente sich der Mensch schon frühzeitig mit Werkzeugen und Energie. Deren Nutzung ermöglichte durch weiterentwickelte handwerkliche Fähigkeiten arbeitswirtschaftliche Erleichterungen und erbrachte zugleich höhere und stabilere Erträge.

Dr. Hermann Auernhammer  
TUM Prof. emeritus  
Ag Systems Technology  
Precision Agriculture  
Fellow of CIGR, Club of Bologna

Die Nutzung fossiler Energie und industrialisierter Fertigung von Maschinen und Geräten führte zu einer enormen Leistungssteigerung in der Feldwirtschaft, während in der Hofwirtschaft und der Nutztierhaltung vergleichbare Veränderungen sehr viel später und zudem in sehr viel kleineren Schritten erfolgten.

Fast gleichzeitig ermöglichten chemische Erzeugnisse in Form von mineralischem Dünger und von Pflanzenschutzmitteln sowie Fortschritte in der Züchtung zuvor nicht vorstellbare Ertragssteigerungen im Pflanzenbau. Ökonomisch führten jedoch parallel dazu die zunehmenden Kosten zu mehr Spezialisierung mit verringerter Maschinenvielfalt und Beschränkung auf weniger Feldfrüchte im Betrieb.

Daran änderte auch die hinzukommende Nutzung von Elektronik, Sensorik und Automatisierung wenig. Vielmehr verursachten sie bei weiter steigenden Investitionskosten eine noch stärkere Konzentration in der Feldwirtschaft mit einer Reduzierung der Kulturpflanzenvielfalt und Monokulturen durch immer stärker eingeschränkte Fruchtfolgen.

Hingegen eröffneten elektronisch gesteuerte Techniken für die Fütterung in der Nutztierhaltung erste tierindividuelle Versorgungen. Bei diesen konnte nun, abweichend von der vom Tierhalter zeitlich gesteuerten Versorgung, das Tier seinen Bedürfnissen entsprechend erstmals, wie in der Natur, über die Futteraufnahme selbst entscheiden.

### Ertrag und Natur – ein Widerspruch?

Aus dieser nur kurz gefassten Entwicklung könnte der Eindruck entstehen, dass der Landwirt seiner Aufgabe entsprechend von jeher alle Maßnahmen ohne Rücksicht auf die Natur alleine auf die Nahrungsmittelversorgung (und den Gewinn) ausgerichtet hätte. Dies würde jedoch sein Handeln in ein falsches Licht stellen.

Schon immer war es ein Ziel aller Maßnahmen im landwirtschaftlichen Betrieb, die Bodenfruchtbarkeit zu erhalten, um dadurch sichere Ernten in den Folgejahren zu erreichen und die Eigentumsflächen in geordnetem Zustand den Nachkommen zu überlassen.

Auch war es trotz vieler baulicher Einschränkungen in der Tierhaltung selbstverständlich, den Nutztieren kein Leid zuzufügen. In einem Kompromiss zwischen Tierschutz vor Unbilden der Witterung und insbesondere der örtlich sehr kalten Winter mit Schnee und Frost musste die tägliche Versorgung rund um das Jahr sichergestellt werden. So ist der sogenannte Anbindestall für Milchkühe eigentlich ein „Melkstall“, um jahreszeitlich unabhängig ohne zusätzlichen Aufwand die täglichen Melkarbeiten als Gegenstand der Tierhaltung unter erträglichen Arbeitsbedingungen zu realisieren.

Zugleich wurden, wenn immer es die betrieblichen Gegebenheiten zuließen, Neuerungen und Fortentwicklungen aufgenommen und umgesetzt. Exemplarisch sei dies an zwei ausgewählten Beispielen von umwälzenden Techniken in der Nutztierhaltung und der Feldbewirtschaftung aufgezeigt.

## **Aus Anbindestall wird Laufstall**

Zugleich wurde mit der Entwicklung von Melkständen eine bis dahin unvorstellbare Arbeitserleichterung für die Betreuungsperson geschaffen. In aufrechter Haltung konnte die zweimal täglich erforderliche Melkarbeit an 365 Tagen des Jahres durchgeführt werden. Dabei war eine gute optische Tierüberwachung ebenso möglich wie die Leistungsüberwachung anhand der ermolkenen Milchmenge. Darauf aufbauend konnte gleichzeitig während des Melkvorganges der Einzelkuh die ihr zustehende individuelle leistungsbezogene Kraftfuttermenge zur Aufnahme zudosiert werden [1, 2].

## **Nicht bekämpfen, sondern regulieren**

Schon seit Beginn der Landwirtschaft vor 12.000 Jahren musste der Landwirt das Gedeihen seiner Nutzpflanzen gegenüber der natürlichen Konkurrenz (Schadpflanzen) sichern (Dornen und Disteln soll er dir tragen. Genesis, 1. Moses, 3, 18). Mit der Saat wurde so ein fortwährender Arbeitsaufwand zur Ertragssicherung initiiert oder, anders ausgedrückt: Der Landwirt war zum immerwährenden Kampf gegen die Natur und die Artenvielfalt gezwungen.

Hier bahnte sich mit der Definition des „Schadschwellenprinzips“ 1957 ein erster gravierender Paradigmenwechsel an. Nur wenn die zu erwartende Ertragsreduzierung größer als der dafür erforderliche Aufwand für Pflanzenschutzmaßnahmen ist, ist eine Bekämpfung erforderlich und sinnvoll. Erstmals führten damit ökonomische Überlegungen und Entscheidungen zu einem geduldeten Miteinander von Nutz- und Konkurrenzpflanzen [3].

Sobald jedoch die Schadschwelle überschritten wurde, konnten dann händisch oder mechanisch mit der Hackmaschine Konkurrenzpflanzen entfernt werden. Bei Pilz- oder Insektenbefall mussten hingegen die nun verfügbaren chemischen Pflanzenschutzmittel mit selektiver Wirkung und präzise arbeitender Ausbringttechnik die Regulierung mit fungizider und/oder insektizider Wirkung übernehmen. Sobald selektiv wirkende Herbizide verfügbar wurden, konnte der chemische Pflanzenschutz auch zur Regulierung der Konkurrenzpflanzen eingesetzt werden, wodurch rein ökonomisch mit nur einer Mechanisierungstechnik der umfassende Pflanzenschutz ermöglicht wurde. Dadurch entfiel der bisherige Arbeits- und Energieaufwand für mechanische Hackmaßnahmen. Mit dem Verzicht auf die wiederholte Bodenöffnung wurden zudem Wasser- und Winderosionen ausgeschaltet und der dadurch induzierte Humusabbau reduziert.

## **Precision Livestock Farming**

Trotz möglicher Bewegungsfreiheit der Milchkuh im Liegeboxen-Laufstallsystem musste sich darin das Tier weiterhin der vom Menschen vorgegebenen Tagesrhythmik für Füttern und Melken unterordnen. Dies änderte sich mit der Entwicklung und Einführung elektronischer Systeme.

In einem ersten Ansatz wurde die Kraftfutter-Abruftechnik entwickelt und eingeführt. Der Leistung entsprechend erhielt nun jede Kuh über eine individuelle RFID-Erkennung [4] in einer Abrufstation die ihr zustehende Kraftfuttermenge in mehreren Portionen je Tag. Damit konnte eine mögliche Pansen-Übersäuerung vermeiden werden, und zugleich wurde der Kuh die Entscheidung zur zeitlich frei wählbaren Kraftfuturaufnahme überlassen. Dass dabei nicht aufgenommene Kraftfuttermengen einen Hinweis auf die Tiergesundheit u.a. ermöglichten, war ein wertvoller Zusatzeffekt dieser Technologie.

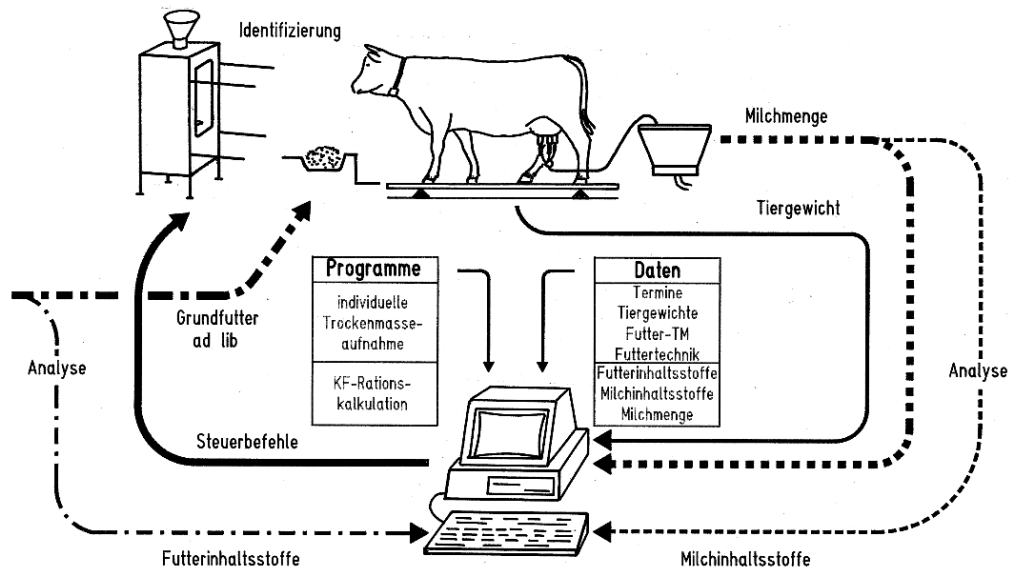


Abb. 1 Elektronischer Regelkreis im Precision Livestock Farming  
(<https://mediatum.ub.tum.de/?id=707636>)

In einem weiteren Schritt wurde dann der erforderliche Grundstock für das Precision Livestock Farming gelegt (Abb. 1).

Kraftfuttermenge an die Milchleistung und das Tiergewicht gekoppelt und ein erstes elektronisch gesteuertes Regelsystem aufgebaut. Verändert sich im Hinblick auf die Milchleistung das Körpergewicht, dann muss bei gleichbleibender Grundfutterqualität die erforderliche Kraftfuttermenge angepasst und/oder ein Gesundheitsmonitoring eingeleitet werden [5, 6]. Schon 1985 wurde damit nahezu parallel mit der Entwicklung der Melkrobotik der Kuh auch die Entscheidung für die selbständig gewählte Milchabgabe übertragen, wodurch wie beim natürlichen Saugvorgang durch die Kälber ein tierindividuelles Tierverhalten gewährleistet wurde [7].

Dass mit all diesen Technologien immer mehr und immer präzisere tierindividuelle Daten generiert werden, eröffnet vielfältige neue Möglichkeiten zur einzeltiergerechten Nährstoffversorgung und zur Gesundheitsüberwachung. Sozial entbindet sie den Landwirt von seinen bisherigen manuellen Routinearbeiten mit neuen Möglichkeiten im sozialen Umfeld der Familie und Gesellschaft.

### Precision Farming

Vergleichbar zur Milchviehhaltung mit dem Ertrag Milchleistung ist im Ackerbau der Ertrag der angebauten Feldfrüchte und damit die N-Düngung als Ertragsbildner die wichtigste Zielgröße der Bewirtschaftung. Verständlich, dass deshalb im Wachstum erkennbare Mängel durch eine erhöhte Stickstoffmenge bedacht wurden, um letztlich auf einem Feldstück einen homogenen hohen Ertrag zu gewährleisten.

Weil im manuell-mechanischen System ein Feldstück eine Behandlungseinheit darstellte, erfolgte dort eine uniforme Applikation anhand der darin enthaltenen Teilflächen mit der niedrigsten Ertragsleistung. Überwiegend führte dies zu einer Überdüngung mit unvermeidbarem Eintrag von Stickstoff in das Grundwasser. Hier ermöglichte Elektronik erstmals eine stärker an die natürlichen Gegebenheiten angepasste Nutzung in der Verteiltechnik für Dünger und Pflanzenschutzmittel. Mit der „Plus-/Minusschaltung“ konnte nun auf die vom Auge des Fahrers erfasste „Grünfärbung der Pflanzen“ lokal reagiert werden [8]. Bei zu hell wurde mehr, bei dunkel hingegen weniger dosiert. Rein ökonomisch konnte so der Mitteleinsatz verringert werden, während die weiterhin verfolgte Erzielung eines homogenen hohen Ertrags die Umweltbelastung nur in geringem Maße reduzierte. Allerdings

konnte damit auch die ökologische Komponente berücksichtigt werden, wenn der Fahrer aus Erfahrung der vorhergehenden Ernten wusste, dass an weniger fruchtbaren Stellen im Feld trotz hoher Düngung immer Mindererträge erzielt wurden und deshalb eine Aufdüngung nur Kosten und Umweltbelastungen verursachen würde.

Und vergleichend zur Milchviehhaltung konnte mit der lokalen Ertragsermittlung im Mähdrescher [9] ein weiterer Baustein für einen ökologisch ausgerichteten Regelkreis erstellt werden (Abb. 2). Dabei erbrachte GPS im Sekundenabstand den Standort der Maschine, während ein installierter Ertragsmesssensor den Gutfluss erfasste [10]. Aus diesen Daten entstanden erstmals lokalen Ertragskarten, welche die Variabilität innerhalb von Flurstücken im Hinblick auf örtlichen Gegebenheiten dokumentierten [11, 12].

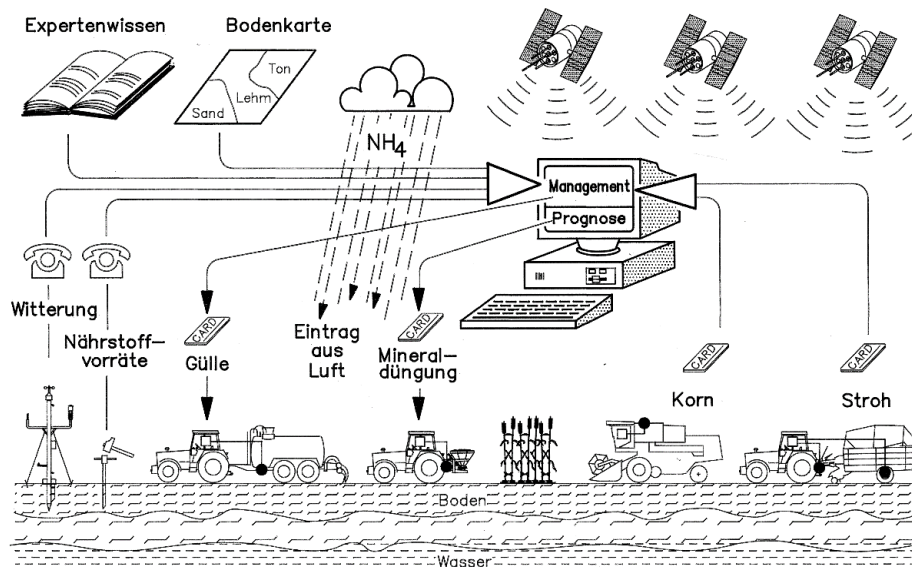


Abb. 2: Elektronischer Regelkreis im Precision Farming  
(<https://mediatum.ub.tum.de/?id=710617>)

Zudem konnte die Nah-Infrarot-Spektroskopie (NIR) bei der Düngung online die „Grünheit“ des Pflanzenbestandes erfassen [13], wodurch im „Map-Overlay-System“ mit den aus Düngungsversuchen abgeleiteten erforderlichen Applikationsmengen mit den Vor-Ort erfassten Wachstumsbedingungen und den historischen Ertragsdaten eine völlig neue Düngungsstrategie entstand [14,15, 16]. Mit weiter verfeinerten Algorithmen wurde es möglich, damit auf das einzelne Feldstück bezogene Strategien zu verfolgen, um aus der Vergangenheit entstandene Überversorgungen abzubauen und letztlich die verabreichte Düngermenge so zu dosieren, dass sich diese nahezu vollständig im entstandenen Ertrag wiederfand.

Aber letztlich war dieses auf Ertrag und Umwelt ausgerichtete System nur umzusetzen, weil schon Mitte der 80er des letzten Jahrhunderts von Deutschland und einigen Nachbarstaaten ausgehend eine Standardisierung der elektronischen Kommunikation zwischen Betriebsführung, Traktor und Gerät geschaffen wurde [17, 18, 19]. Über diese weltweit akzeptierte ISO-Norm konnte so die nun mögliche, auf die Umwelt ausgerichtete Bestandsführung mit Maschinen unterschiedlicher Hersteller den Wünschen und Vorzügen des Einzellandwirts entsprechend weitgehend problemlos umgesetzt werden. Und dieser Standard ermöglicht ohne größere Probleme auch die Integration weiterer Sensoren und weiterer Informationen wie z.B. aus der Satellitenüberwachung, verfeinerter Technologien der Bodenuntersuchung und von Wetterdaten.

Auf ähnlichen Ansätzen beruhend wurden zudem verfeinerte Methoden im Pflanzenschutz entwickelt. Dort wird neben der Grünheit des Pflanzenbestandes nun sehr stark auf die Einzelpflanzenerkennung gesetzt [20]. Damit könnte eine lokale Einschränkung von Pestizid-Applikationen ermöglicht werden,

welche basierend auf dem Schadschwellenprinzip eine bisher nicht vorstellbare Pflanzenvielfalt im Feld ergeben würde, ohne wiederum eine signifikante Ertragsminderung in Kauf nehmen zu müssen. Auch dabei werden Satellitendaten und vor allem Informationen aus der Nutzung von Drohnen zum Bestandsmonitoring weitere, umweltfreundliche Erweiterungen und Verbesserungen ergeben.

Und schließlich werden diese technisch und elektronisch weiter entwickelten Systeme zu spezifisch arbeitenden Feldrobotern führen [21]. In ersten Ansätzen wenden sich diese der Eliminierung von Herbiziden zu und versuchen mit der althergebrachten Hacktechnik ohne manuelle Unterstützung ein weitgehend ungestörtes Wachstum der Nutzpflanzen zu ermöglichen. Inwieweit dort mit Drohnen Ergänzungen oder andere System generiert werden können ist derzeit eine offene Fragestellung. Und gleiches gilt für erste Ansätze einer autonomen Feldbewirtschaftung.

### **Technik und Daten in der Landnutzung von morgen**

Beide Beispiele demonstrieren durch die bisherige Entwicklung die gleichen systematischen Ansätze zu mehr Tierwohl mit erweiterter Freiheit des Einzeltiers auf der einen und zum weniger umweltbelastendem Ackerbau durch Teilschlagtechnik bis hin zur Einzelpflanzenführung auf der anderen Seite. Beide stützen sich dabei auf neue oder adaptierte Sensoren, welche durch Nutzung der Elektronik in die weiterentwickelten Systeme integriert werden.

Precision Livestock Farming und Precision Farming entwickeln sich damit zu technisch getriebenen Formen der Landnutzung, welche trotz der auch weiterhin erforderlichen Ertragsgenerierung und Ertragssicherheit die Natur und Umwelt immer stärker berücksichtigen und integrieren können.

Dabei stehen immer mehr und immer präzisere Daten zur Verfügung, welche durch weiterentwickelte Algorithmen ökonomische, ökologische und soziale Mehrwerte ermöglichen. Von der künstlichen Intelligenz ist dazu ein weiterer wichtiger Beitrag zu erwarten, um dann auch die unterschiedlichen kulturellen Belange wie Offenhaltung der Landschaft oder einen Wandel in den Ernährungsgewohnheiten zu gewährleisten.

Noch weiter vorausschauend wird die Technik sogar in der Lage sein, eine völlige Abkehr von der derzeitigen Landnutzung zu ermöglichen. Pflanzenbau könnte dann in Vertical Farming Systemen mit dauerhaft hoher Energieversorgung unter vollständig kontrollierten Bedingungen realisiert werden. Bei ausschließlich veganer Ernährung erübrigt sich zudem die Nutztierhaltung in der heutigen Form. Dann müssen Wiederkäuer für die Offenhaltung der Landschaft sorgen und für deren Stellung in der Nahrungskette wird die urbanisierte Gesellschaft einen breit akzeptierten Weg finden müssen.

#### Literaturverzeichnis

1. Bigalow, J. P., 1953. A Barn Of The Future At Work Today. Hoard's Dairyman, Vol. 98, Iss. 16, 698-701.
2. Eichhorn, H., 1965. Arbeitswirtschaft, Technik und Gebäude bei der Planung neuer Stallformen für Milchvieh (<https://mediatum.ub.tum.de/?id=992679>).
3. Stern, V. M., Smith, R. F., van den Bosch, R., Hagen, K. S., 1959. The integration of chemical and biological control of the spotted alfalfa aphid. Pt. I. The integrated control concept. *Hitgardia* 29:81-101.
4. Artmann, R., 1976. Ein Identifikationssystem für freilaufende Milchkühe. Vortrag: VDI-Tagung München, 28./29.10.1976.
5. Auernhammer, H., Pirkelmann, H., Wendl, G. (Hrsg.), 1985. Prozeßsteuerung in der Tierhaltung - Erfahrungen mit der Milchmengenerfassung, Tiergewichtsermittlung und Bereitstellung von Managementdaten. Schriftenreihe der Landtechnik Weihenstephan, Heft 2, Weihenstephan.
6. Wenner, H.-L., Zeeb, K., Pirkelmann, H., Schön, H., Boxberger, J., Kirchgeßner, M., Auernhammer, H., et al., 1987. Bericht über das Symposium zum Abschluß des Sonderforschungsbereiches 141 Produktionstechniken der Rinderhaltung. Sonderdruck Bayer. Landwirtschaftliches Jahrbuch 1987, Hrsg. Wenner, H.-L., München-Wolfratshausen: Verlag Hellmut Neureuter, 64, H. 4, 132 S.
7. Rossing, W., Hogewerf, PH, 1997. State of the art of automatic milking systems. In: *Computers and Electronics in Agriculture*, Vol. 17, Iss. 1, 1-17, ISSN: 0168-1699.



8. Matthies, H. J., Meier, F. (Hrsg.), 1988. Jahrbuch Agrartechnik, Bd. 1, S. 63 und S. 73, <http://www.digibib.tu-bs.de/?docid=00056929>.
9. Schueller, J. K., Bae, Y. H., Borgelt, S. C., Searcy, S. W., Stout, B. A., 1987. Determination of spatially variability yield maps. ASAE St. Joseph, Paper No. 87 15 33.
10. Vansichen, R., De Baerdemaeker, J., 1992. Signal processing and system dynamics for continuous yield measurement on a combine. Proceedings of International Conference on Agricultural Engineering, Uppsala, Paper No 92-0601.
11. Auernhammer, H., Demmel, M., Muhr, T., Rottmeier, J., von Perger, P., 2015. Lokale Ertragsermittlung mit GPS in Serien-Mähdreschern 1990. In: Jahrbuch Agrartechnik 2015 (Hrsg. Frerichs, L.). Braunschweig: Institut für mobile Maschinen und Nutzfahrzeuge, 2016, S. 214-224 (<http://www.digibib.tu-bs.de/?docid=00055137>).
12. Auernhammer, H., Demmel, M., Rottmeier, J., et al., 2020. Local Yield Mapping at TUM-Weihenstephan 1990 to 2000. <https://mediatum.ub.tum.de/?id=1544121>, doi:10.14459/2020mp1544121.
13. Reusch, S., 1997. Entwicklung eines reflexionsoptischen Sensors zur Erfassung der Stickstoffversorgung landwirtschaftlicher Kulturpflanzen. Dissertation Universität Kiel: Institut für Landwirtschaftliche Verfahrenstechnik, MEG-Schrift 303.
14. Auernhammer, H., Demmel, M., Maidl, F.-X., Schmidhalter, U., Schneider, T., Wagner, P., 1999. An on-farm communication system for precision farming with nitrogen real-time application. ASAE St. Joseph, Paper No. 99 11 50.
15. Maidl, F.-X., Huber, G., Schächtl, J., 2004. Strategies for Site Specific Nitrogen Fertilization in Winter Wheat. 7th Int. Conf. Prec. Agriculture, pp. 1938-1948.
16. McBratney, A. B., Whelan, B. M., 1999. The null hypothesis of precision agriculture, pp. 947–956. In: J. V. Stafford (ed.), 2nd European Conference on Precision Agriculture. Sheffield Academic Press, Sheffield, UK.
17. DIN 9684/2-5, 1997. Landmaschinen und Traktoren - Schnittstellen zur Signalübertragung. Beuth Verlag, Berlin.
18. International Organization for Standardization, 2009. ISO 11783 Tractors and machinery for agriculture and forestry - Serial control and communications data network, Parts 1–14, Geneva, Switzerland.
19. Oksanen, T., Auernhammer, H., 2021. ISOBUS - The Open Hard-Wired Network Standard for Tractor-Implement Communication, 1987-2020. ASABE: Distinguished Lecture No 42, St. Joseph, MI (USA), doi: 10.13031/913C0121.
20. Herrmann, D., Dillschneider, E.-M., Niemann, J.-U., Tomforde, M., Wegener, J. K., 2021. Innovationen in der Pflanzenschutztechnik. In: Frerichs, Ludger (Hrsg.): Jahrbuch Agrartechnik, Bd. 33, S. 1-13.
21. Noguchi, N., Ishii, K., Terao, H., 1997. Development of an agricultural mobile robot using a geomagnetic

## Vom Homo destructor zum Homo constructor

Rezension eines Buchs von Werner Bätzing

Im Jahr 2023 hat der C. H. Beck -Verlag ein Buch herausgebracht, in dem Werner Bätzing mit tiefgreifendem Fachwissen erklärt, dass die Zerstörung der Umwelt schon mit dem Erscheinen des Homo sapiens ihren Anfang nahm, allerdings noch in begrenztem Umfang. Werner Bätzing ist ein nicht nur den Geographen bekannter Fachmann für Fragen des Alpenraumes und des Landlebens. Er hat mit seinem 463 Seiten starken, fast schon enzyklopädischen Opus Magnum ein Werk geschaffen, das zu lesen und zu verinnerlichen für verantwortungs- und umweltbewusste Vertreter aus Politik,

Prof. Dr.-Ing Holger Magel  
Chair of Land Management in  
Urban and Rural Areas (retired)  
TUM Senior Excellence Faculty  
Honorary President of the  
International Federation of  
Surveyors

Wirtschaft, Wissenschaft, Verwaltung, Planungsbüros und NGOs ein „Muss“ ist. Nicht weil Bätzing nun endlich die ersehnten Wahrheiten zum richtigen Umgang bzw. zur Heilung der gestörten Mensch-Umwelt Beziehung verkünden würde, sondern weil er Zweierlei bietet: einerseits ein schier unendliches und für den Leser vielfach neues Hintergrund- und Zusammenhangswissen über den geschichtlichen Bogen von der Entstehung des Menschen bis zur Jetztzeit über viele Epochen hinweg. Er vermittelt zudem viele sehr eigene oder gar eigenwillige Erklärungen und Meinungen, die sicher zu Widerspruch reizen. Widerspruch ist aber erst dann weiterführend, wenn man sehr genau die exzellenten Begründungen von Bätzing kapiert hat. Denn Bätzings Argumentation verrät stets seine umfassende Bildung und Ausbildung in Philosophie, Didaktik, Naturwissenschaft, Theologie, Handwerk und Literatur.

Wenn man sich diesem gewaltigen Buch nähert, ist man erst einmal überrascht und staunt, welchen Mut der Autor aufgebracht hat, die Geschichte von der Entstehung des Menschen bis in die Jetztzeit zusammenzufassen. Dazu werden immer auch methodische Vorüberlegungen in 9 Kapiteln sehr detailliert, didaktisch hervorragend aufgezeichnet, gespickt mit vielen Querverweisen bis hin z.B. zu Jan Assmanns Achsenzeiten. Man lernt sehr viel und würde es fast jedem Lehrer wünschen, dieses Buch für den Unterricht zu verwenden. Was aber die Leser dieses Buchs besonders interessieren dürfte, ist natürlich seine Haltung zur gewaltigen Umwelt- und Klimaveränderung und zu den Vorschlägen, die er daraus in Kapitel 10 entwickelt. Er räumt dabei u.a. mit den gängigen Rezepten des nachsorgenden Umweltschutzes (end of pipe policy ) ebenso auf , wie er sich auch der populären Idee entgegenstellt, es genüge doch , wenn man (nur) einen bestimmten Prozentsatz von Fläche für den Naturschutz völlig freistelle. Warum ein Nein? Weil man dadurch den schädlichen Intensivierungsdruck auf den restlichen Flächen nur noch erhöhe.

Zu den eher stabilen und umweltfreundlichen Jäger und Sammler - oder zu den egalitären Bauerngesellschaften können wir nicht mehr zurückgehen, aber Grund- oder Überlebensprinzipien aus diesen Epochen sollten wir schon übernehmen bzw. beherzigen: Gemeinschaft statt von der Aufklärung zu stark geförderte Individualität, gemeinschaftliche Werte und Leitideen des Maßhaltens und eine davon beeinflusste aktive Gestaltung (nicht Anpassung) der Natur haben diesen Epochen und den nachfolgenden bis hinauf zur Industriegesellschaft einigermaßen Stabilität verschafft. Der Bruch kam erst mit der global grenzenlosen und unverändert wachstumsorientierten, deshalb auch besonders umweltschädlichen Dienstleistungsgesellschaft. Dazu Bätzing: *„Es liegt am Menschen selbst! Indem er davon ausgeht, dass ihm die gesamte Welt unmittelbar zur Verfügung steht und er all seine Möglichkeiten ins Unendliche perfektionieren kann, wird er zum Homo destructor, und er macht aus seiner lebendigen vielfältigen und attraktiven Lebenswelt eine rein funktionale, sterile und lebensfeindliche Welt, die zugleich alle natürlichen Grundlagen ihrer Existenz zerstört.“*

Als Angehöriger der Nachkriegsgeneration ist man sehr betroffen, dass ausgerechnet ab den 1950er Jahren die Umweltzerstörung besonders maßlos wurde, d.h. dass unser heutiger Wohlstand ab dieser Zeit teuer erkauft wurde.

Ob wir so weitermachen können fragt sich der Leser nach Lektüre dieses Buches? Wohl nein, denn Bätzing legt noch einen drauf riskierend, dass ihm Kassandravorwürfe entgegenhalten werden: *„Die Menschheit führt ein gigantisches Realexperiment mit der gesamten Erde durch, dessen Ausgang völlig ungewiss ist, und bei dem es keinen verantwortlichen Experimentator gibt, der das Experiment abbricht, wenn es problematisch wird.“* Wie wir es ja seit Jahren leidvoll miterleben, sind die Vereinten Nationen zu schwach, hier korrigierend einzugreifen. Bätzing vermutet gar, dass angesichts dieses Vabanquespieles bereits in den nächsten 30 Jahren ein großer Teil der Erde für den Menschen unbewohnbar sein dürfte.

Die Senioren der Nachkriegsgeneration, darunter vor allem die bevölkerungsstarken Baby-Boomer, und die junge Generation (wohl auch die von ihm nicht erwähnte Friday-for-future-Bewegung - oder die Klimaaktivisten) müssen nun gemeinsam die Kraft aufbringen, zu retten, was zu retten ist. Dazu passt, was der Soziologe Heinz Bude in seinem neuen Buch „Abschied von den Boomern“ (so Gustav Seibt in der Süddeutsch Zeitung vom 27./28.Januar 2024) sagt: *„Am Ende hatten es die Boomer bisher gut. Den Übergang von der Industriemoderne des Wirtschaftswunders in die Konsum- und Selbstverwirklichungsgesellschaft haben sie gut genutzt, allerdings um den ungeheuerlichen Preis eines gewaltigen Naturverbrauchs Diese Generation hat eine Spur der ökologischen Verwüstung gelegt. Damit hat sie auch für Kinder und Enkel Zukunft beschnitten und so eine Lage erzeugt, in der Neid auf Frühere statt Hoffnung auf Zukunft Platz greifen kann. Die Boomer haben noch etwas abzuarbeiten und gutzumachen“*

An eine langsame Transformation oder plötzliche Revolution mag Bätzing ebenso wenig glauben wie an Patentrezepte, technokratische Lösungen oder gar Ökoromantik. Er bezieht sich auf große Denker wie Darwin, Marx und Freud und stemmt sich gegen zu viel Vernunftdenken, anstatt zu akzeptieren, dass der Mensch ein Wesen ist, dessen Bedürfnisse weit über zweckrationale und „vernünftige“ Zielsetzungen hinausgehen. Er setzt auf Aktivität statt auf Anpassung, auf den Einzelfall und nicht auf allgemein geltende Prinzipien, auf das richtige Maß als Leitidee der Selbstbegrenzung sowie auf die in bäuerlichen Gesellschaften praktizierte ökologische Reproduktion der Kulturlandschaften.

Abschließend macht Bätzing einige praktische Vorschläge, die schon in seinem Buch „Das Landleben“ für Experten der Landentwicklung bereits bekannt sind und zum Teil nur begrenzt realisierbar erscheinen.

**Fazit:** Das Buch löst einen geistigen (weil fachlich einsichtig) und moralischen (weil jeder mitverantwortlich ist) Appell an den Leser aus, darüber nachzudenken, wie er oder sie in Bürger - und Verantwortungsgemeinschaften in den einzelnen Dorf-, Stadterneuerungs- und Landentwicklungsprozessen einen konstruktiven, realisierbaren Beitrag als Homo constructor und nicht als Homo destructor leisten kann!

### Literaturverzeichnis

Bätzing W. (2023) Homo destructor. C.H.Beck Verlag, München

## Diskussion

Fragen von Peter Wilderer: In der Rezension von Holger Magel wird anfangs darauf hingewiesen, dass das destruktive Handeln der Menschheit eine Tradition ist, die im Homo sapiens fest verwurzelt ist. Das dem Menschen eigene Machtstreben, die Profitgier und die Selbstbezogenheit waren und sind offensichtlich stärker, als die religiösen und philosophischen Ermahnungen zur Übernahme von Verantwortung für das Ganze. Woher nehmen wir also die Zuversicht, unter den heutigen Zwängen destruktives in konstruktives Handeln wandeln zu können? Liegt die Ursache des bisherigen Scheiterns daran, dass wir glaubten, mit einer zentralen Regulation von oben herab Änderungen im Verhalten erzwingen zu können? Wäre es nicht erstrebenswert, den Stiel umzudrehen, und dem „Top Down“ eine „Bottom-Up“-Strategie entgegenzusetzen? Holger Magel weist in seiner Rezension auf das Subsidiaritäts-Prinzip explizit hin. Das würde eine Einschränkung der Macht staatlicher Institutionen und Konzerne bedeuten sowie eine Verlagerung der Verantwortlichkeiten in den örtlichen Bereich. Was müsste geschehen, damit eine solche Verlagerung konsensfähig würde?

Antwort von Holger Magel: Dass zentrale Regulation von oben herab nicht funktioniert, haben wir nicht nur in Deutschland zur Genüge erlebt. Als Beispiel seien die Abstandsregelungen genannt, die in der Zeit der Covid-Pandemie ergriffen wurden, aber aus Unverständnis von Teilen der Bürger zu entschiedenem Widerstand führten. Auch die Verfechter der „grünen“ Basisdemokratie mussten erkennen, dass ihre Suggestivbehauptung: „Wir sind bereit, Ihr doch auch?“ nicht verfangen hat. Das Wahlvolk fühlte sich überrumpelt.

Mir fehlt auch der Glaube, dass religiöse oder sonstige normative Wertegebote bei der Mehrheit unserer längst säkular gewordenen Bevölkerung noch viel bringen. Die von Bätzing zitierten Gottkönige gibt es nicht mehr. Das kann man bedauern, aber nicht mehr ändern.

Ich halte es mehr mit den Fachleuten der Dorf - und Landentwicklung, die wissen, dass es nur mit der Bevölkerung zielführend ist und nicht gegen sie. Nur wenn die Menschen sich selbst aktiv mit ihrer persönlichen und gemeinsamen z.B. dörflichen Zukunft beschäftigen, kann ein tragfähiger Konsens gefunden werden. Die heimische Bevölkerung erkennt besser als die Staatsregierung, was im eigenen Umfeld getan werden muss, ohne dass Traditionen verloren gehen und die Zukunft der Kinder und Enkel gefährdet wird. Vielfach verlieren die Menschen bei dieser aktiven reflexiven Auseinandersetzung mit gestern, heute und morgen ihre Unsicherheit und Angst vor der Zukunft. Sie sind ihrer Lebensumstände bewusst!

Es geht also nicht ums „Mitnehmen“, wie Politiker so gerne, aber falsch formulieren, sondern um die Aktivierung und Selbstermächtigung der Menschen, um das aktive, im Sinne von selbst Nachdenken und sich selbst die Zukunft vorzustellen, um Leitbilder gemeinsam aufzustellen. Das alles ohne Zwang von oben, sondern freiwillig. Wir nennen das: „Mitmachen wollen, mitmachen lassen, mitmachen können“. Es geht um empowerment, enabling, participation, also um diesen Dreiklang, der beispielsweise in Bayern seit Jahrzehnten erfolgreich praktiziert und an den drei bayerischen Schulen der Dorf - und Landentwicklung in Thierhaupten, Plankstetten und Klosterlangheim gelehrt, gelernt und trainiert wird.

Wundert uns da noch, dass Gemeinden, wenn sie im Rahmen einer Integrierten ländlichen Entwicklung gemeindeübergreifend handeln und zukunftsverträgliche und klimagerechte Vorbildgemeinden geworden sind? Beispielhaft sind dazu in Bayern Gemeinden wie Wildpoldsried, Weyarn und das hochinnovative Kirchanschöring, wo erstmals Bürgerräte etabliert wurden. Überall dort hat eine Zukunft begonnen, wo die von Bätzing geforderte kulturelle Selbstbegrenzung und das richtige Maß zu finden keine Fremdwörter mehr sind. Sie alle sind längst Selbstversorger in

erneuerbarer Energie, haben moderne Glasfaserkabel gelegt und haben Nachhaltigkeit und Nahversorgung in allen Prozessen des Wohnens, Bauens und Zusammenlebens durchdekliniert. Das geht aber nur, wenn es gelingt, die Bürger als aktive Partner (und oft auch als Fachleute) ernst zu nehmen und nicht als hilfsbedürftige Untertanen.

Aus dieser Sicht ist auch klar, dass das Ziel mancher Experten und Politiker, den Flächenverbrauch per Gesetz quantitativ zu begrenzen, nicht gelingen kann. Nur mit den jeweils Betroffenen kann ein gemeinsam aufgestellter und diskutierter Leitbildprozess über den qualitativen und quantitativen Umgang mit der begrenzten Ressource „Grund“ und „Boden“ zum Ziel führen. Es ist längst eine Binsenweisheit, dass solche Prozesse bei einer aktiven, Verantwortung übernehmenden Bürgergesellschaft umso besser funktionieren, je fass- und begreifbarer und je übersichtlicher die Räume und Maßnahmen sind. Hartmut Rosa würde dies den dörflichen oder regionalen Resonanzraum nennen.

Das hierfür bestgeeignete Bottom-Up-Prinzip ist für die vielzitierte Transformation zentral wichtig, schließt aber übergeordnete Vorgaben und einen Ordnungsrahmen nicht aus. Für den erhofften und notwendigen Wandel in den Köpfen als Homo constructor zu wirken, dürfen sich Top-Down-Vorgaben aber nicht an die Stelle der lokalen Entscheidungen setzen bzw. diese erdrücken. Sie sollen dienend wirken im Sinne einer subsidiären Hilfe zur Selbsthilfe, also im Sinne eines Versprechens für staatliche Unterstützungen, Förderungen und Beratungen.

Ich fürchte, dass die fundamentale Bedeutung lokaler Bürgerverantwortung und einer aktiven Bürgergesellschaft für die Große Transformation in vielen Bereichen unseres Lebens in Politik, Wirtschaft, Wissenschaft und Verwaltung noch nicht ausreichend erkannt ist. Zu oft folgt man alten Gewohnheiten, von oben durchzuregieren. Dies aber ist exakt das Merkmal autoritärer Staaten und in unserer allerdings leider wieder gefährdeten Bürgergesellschaft nicht akzeptabel. Dazu habe ich mit Alois Glück schon vor 20 Jahren zwei Bücher herausgegeben: „Neue Wege in der Kommunalpolitik. Durch eine neue Bürger- und Sozialkultur zur Aktiven Bürgergesellschaft“ sowie auch zusammen mit Thomas Röbke: „Neue Netze des bürgerschaftlichen Engagements. Stärkung der Familien durch ehrenamtliche Initiativen“. Es lohnt sich, diese Schriften immer wieder in die Hand zu nehmen, wenn wir eine Transformation wollen, eine Transformation mit und nicht gegen den Bürger!

## **Ko-Evolution statt Herrschaft:**

### **Nicht die Technik gefährdet das Erdsystem, sondern unser Umgang mit ihr!**

Seit Anfang der 90er Jahre des letzten Jahrhunderts beschäftige ich mich intensiv mit dem damals aufgekommenen Forschungsthema des Globalen Wandels. Dieses Thema ist entstanden zur Erklärung und nachhaltigen Gestaltung der beobachteten „Großen Beschleunigung“ vor allem nach dem 2. Weltkrieg. Integrative, Disziplinen-übergreifende Forschung zum Globalen Wandel beinhaltet die Verknüpfung von u.a. Bevölkerungswachstum, steigender Ressourcennutzung, Klimawandel, Wasserverknappung als Ausdruck der Einflüsse des Menschen auf das System Erde. Entstanden sind

Prof. Dr. Wolfram Mauser  
Ludwig-Maximilians-Universität  
Fakultät für Geowissenschaften  
Geographie und Fernerkundung  
Fellow of AAAS, EASA

interdisziplinäre und inklusive globale Forschungsprogramme (z.B. Future Earth). Sie brachten z.B. die Konzepte des Anthropozän, der „planetary boundaries“, der SDGs und viele andere hervor. Ich war über lange Jahre in Forschung, Forschungsberatung, Politikberatung und Umsetzung der Forschungsergebnisse mit Stakeholdern in Deutschland und international an leitender Stelle beteiligt (u.a. GLOWA-Danube Projekt, Vorsitz Nationales Komitee für die Global Change Forschung (DFG+BMBF), Vorsitz ESA-Earth Science Advisory Board, Aufsichtsrat UFZ, etc.) und konnte dabei neben der eigenen Forschung auch entscheidend dazu beigetragen, dass zum Thema „Globaler Wandel“ neue Forschungsinitiativen für die jungen WissenschaftlerInnen bei BMBF, EU und ESA aufgelegt wurden.

Seit meiner Emeritierung 2021 und meinem Wechsel in die Wirtschaft bin ich Teilhaber und Chief Scientist der Firma VISTA GmbH, einer 51%-Tochter der BayWA<sup>39</sup>, in München. VISTA verfolgt erfolgreich ihr Ziel, den Umwelt-Fußabdruck der Landwirtschaft durch digitale Informationstechnologien lokal bis global zu reduzieren und damit zu einer nachhaltigen Landwirtschaft beizutragen.

### **Gedanken zur frühzeitigen Abschätzung der Folgewirkungen technischer Eingriffe in die Natur**

Der Mensch beeinflusst seine Umwelt und damit das System Erde seit Jahrzehntausenden. Seine ersten Abdrücke, Spuren und Zeitzeugnisse unterscheiden sich grundsätzlich von all dem, was uns Elefanten, Mammuts oder Leguane hinterlassen haben. Es sind Werkzeuge, Selbstbildnisse, Darstellungen von Nahrungswild, Feuer und Sippe. Sie beschäftigen sich mit der Umwelt in einer neuen Weise, zeugen vom Versuch, sie zu beherrschen, vom Willen, sie zu verstehen und zu gestalten und von Höhlenwänden als gemeinsame Selbst-Reflexionsflächen.

Es gibt wenig Anzeichen, dass wir Menschen des Anthropozäns uns von den Menschen der Urzeit unterscheiden. Gedanken zur frühzeitigen Abschätzung der Folgewirkung technischer Eingriffe in die Natur und ihre Selbstregulation müssen deshalb zuvorderst beim Menschen, seiner Herkunft und seinem Wesen ansetzen und nicht bei der Natur, die er herausfordert.

Was dem Menschen in seiner Haltung zur Natur abverlangt wurde, war zum Anfang seiner Entwicklung eher überschaubar. Die Jagd und damit das Verständnis der Beute, der benachbarten Topographie, des Zusammenspiels der Jäger, war Voraussetzung des Überlebens. Hier bewährte sich Orientierung,

---

<sup>39</sup> Bayerische Warenvermittlung landwirtschaftlicher Genossenschaften

Koordination, Kommunikation und soziale Bindung in kleinen Sippen, alles Dinge, mit denen der Mensch großzügig ausgestattet ist. Hier entstanden auch schon erste Techniken, die aus Verständnis von Zweck und Eigenschaft Vorhandenes veränderten und nutzten, um das Überleben erfolgreicher zu sichern. Waren die Jagdgründe leer, zog man auf einer grenzenlos erscheinenden Erde weiter.

Die Erfindung der Landwirtschaft, basierend auf der Erkenntnis, dass man von kultivierten Pflanzen leben kann. Die folgende Entscheidung, Pflanzen im großen Stil zu kultivieren, war einschneidend. Sie sollte in Konsequenz nach ein paar Jahrtausenden, also rasend schnell, dazu führen, dass fast alle geeigneten Flächen auf der Erde technisch genutzt werden, um direkte und indirekte Nahrungsmittel zu erzeugen und damit die Biodiversität stark zu reduzieren, den Kohlenstoff der landwirtschaftlichen Böden in die Atmosphäre abzugeben usw. Das Ausmaß dieser Eingriffe in die Natur und seine fehlende Nachhaltigkeit übersteigt alles, was heute im Bereich Geoengineering angedacht ist. Auf der anderen Seite: fast alle von uns gäbe es heute ohne die Einführung der Landwirtschaft nicht, nicht zu reden von der weiteren technischen Entwicklung, die auf dem kulturellen Erfolg der Landwirtschaft aufbaute.

Gab es am Anfang der Entwicklung bewusste Entscheidungen für die Landwirtschaft auf der Grundlage einer *frühzeitigen Abschätzung der Folgewirkung technischer Eingriffe in die Natur*? Wohl nicht, wir wissen es aber nicht. Ich halte es für ziemlich unwahrscheinlich, dass damals in Mesopotamien oder in Südamerika oder in China ein Rat von weisen Männern und Frauen zusammensaß, das verfügbare Wissen zu den Pros und Contras der Einführung der Landwirtschaft sichtet und dann mit einer Mehrheit von, sagen wir, 10 zu 2 für die Einführung der Landwirtschaft votierte, wohl informiert über die möglichen Konsequenzen.

Hätten sie damals mit ihrem Wissen den Einstieg in die Landwirtschaft ablehnen können? Wohl kaum! Gegenüber den langfristigen Folgen schienen die kurzfristigen Vorteile vor allem für Einzelne unter ihnen viel zu verlockend: Reduzierung des Hungers, der Mühen der Jagd bei steigender Bevölkerung, der Stammesfehden und Kriege um immer knappere Jagdgründe.

Hätten sie damals mit ihrem Wissen den Einstieg in die Landwirtschaft ablehnen sollen? Eher ja! Resultat wären eine sehr leidvolle, aber nicht unmögliche Begrenzung der Einwohnerzahl und der Inanspruchnahme der Erde auf ein nachhaltiges Maß, Friedensgespräche zwischen den Stämmen und eine bis heute sehr reiche Tradition des Menschen als Jäger und Sammler gewesen.

Warum verstört im Kontext einer *frühzeitigen Abschätzung der Folgewirkungen technischer Eingriffe in die Natur* dieser Blick auf die Einführung der Landwirtschaft? Man könnte als Rechtfertigung ja ins Feld führen, erstens: sie hatten keine Chance, die Konsequenzen zu überblicken und zweitens: es gab keine Alternative zur Landwirtschaft, den Menschen ist ja gar nichts anderes übriggeblieben. Verzicht als Alternative zur Aneignung der landwirtschaftlichen Technik und Vertrauen in die Selbstregulation der Natur waren allerdings durchaus genauso denkbar und möglich, wie er heute mitunter gefordert wird. Wir können auch getrost davon ausgehen, dass es damals schon Menschen gab, die zur Erhaltung des Status quo ganz im Sinne z.B. von Teilen des heutigen Biodiversitätsdiskurses eine Verdrängung der Wildtiere durch die Landwirtschaft kritisch sahen und gegen die Einführung der Landwirtschaft kämpften. Beide Rechtfertigungen sind aus meiner Sicht damit hinterfragt. Beide Rechtfertigungslinien finden sich allerdings durchaus in ähnlicher Form im aktuell heftig geführten Diskurs zur gesellschaftlichen Transformation hin zur Nachhaltigkeit.

Was also, wenn man es weiß (wie beim Klimawandel und seinen Folgen) und wenn Alternativen existieren (Dekarbonisierung der Zivilisation); wenn man die *Folgewirkungen technischer Eingriffe in die Natur* also kennt? Die Antworten hängen sehr vom Wahrnehmungskontext ab. Welche technischen Möglichkeiten dürfen wir also ergreifen,

- a) um die Welt vor dem von Teilen der Wissenschaft postulierten, vom Menschen ausgelösten drohenden Zusammenbruch des Erdsystems zu bewahren. Die Antwort muss wohl heißen: alle, die wirken! Es geht um unser Leben und Tod!
- b) um die Welt so zu erhalten, wie wir (die Lebenden) sie kennen (z.B. Versuche der regionalen Mitigation der Klimawandels). Die Antwort sollte aus meiner Sicht heißen: Vorsicht! Es geht nicht um unser Leben und Tod! Es geht ziemlich sicher um sektorale oder geographische Partikularinteressen und weniger um das große Ganze.

In dieser Diskussion ist bisher die Art der technischen Lösung selbst völlig vernachlässigt worden. Sie scheint mir auch nicht das zentrale Problem. Technische Folgeabschätzungen existieren oft weit vor dem Einsatz der Technik selbst und oft zeigt sich, dass jemand, der eine Technik entwickelt oder plant (Atombombe, Bewässerung, Verbrennungsmaschine) auch ein gutes, vielleicht das beste Verständnis für ihre möglichen Folgen hat. Den sowjetischen Agraringenieuren, die zu Beginn des 20. Jahrhunderts die Bewässerungssysteme zum Baumwollanbau am Sir-Darja planten, war sehr wohl bekannt, dass diese langfristig zum Verschwinden des Aralsees führen. Trotzdem wurden sie gebaut! Den Kernphysikern war sehr wohl bekannt, welche Wirkung freigesetzte Radioaktivität auf lebende Organismen hat. Trotzdem wurde die Atombombe schlussendlich eingesetzt! Es fehlt also weniger an Folgenabschätzung als an ihrer Bewertung und rigoroser Berücksichtigung bei den jeweiligen Entscheidungen.

Die möglichst umfassende Folgenabschätzung technischer Lösungen ist eine notwendige Voraussetzung für einen *verantwortungsvollen Ersatz der Selbstregulation natürlicher Systeme* im Anthropozän. Allein, sie ist noch kein *verantwortungsvoller Ersatz der Selbstregulation natürlicher Systeme*. Es stellt sich mir vielmehr die Frage, welche Bedeutung diese postulierte Selbstregulation natürlicher Systeme im Anthropozän mit seiner vom Menschen weitgehend überformten Natur noch haben kann. Die Selbstregulation natürlicher Systeme ist für den Menschen und seine Zivilisation nur am Rande zuständig, sie reguliert die Natur. Wollten wir also ausschließlich auf die Selbstregulation natürlicher Systeme im Überleben unserer Zivilisation vertrauen, müssten wir konsequenter Weise Entscheidungen, z.B. für die Landwirtschaft revidieren. Dies allerdings erscheint uns unmöglich und sinnlos, da es unsere Zivilisation negieren würde.

Auf der anderen Seite fußen auch unsere Zivilisation und ihre Technologien auf den natürlichen Grundlagen, die die Erde bereitstellt. Kein von mir denkbare, technisches System wird in der Lage sein, Zivilisationen (z.B. unsere nicht-nachhaltige) ohne Wechselwirkung mit der Natur, geschweige denn gegen ihre Selbstregulationsmechanismen über längere Zeit hinweg aufrecht zu erhalten. Die Machtphantasie, die Selbstregulation der Natur im Anthropozän durch Zivilisation zu ersetzen ist damit brandgefährlich. Wir sollten damit im Anthropozän keinen Ersatz der Selbstregulation natürlicher Systeme durch Technik suchen, sondern eine verantwortungsvolle Ergänzung dieser, um in egoistischer Weise die Erhaltung unserer Zivilisation innerhalb der Natur des Planeten zu sichern.

### **Vorschläge, wie eine nachhaltige Resilienz technischer Lösungen erreicht werden könnte**

Aus meiner Sicht können Vorschläge zum Erreichen nachhaltiger Resilienz technischer Systeme am besten erreicht werden, wenn man sie als verantwortungsvolle Ergänzung der Selbstregulation der Natur versteht und entwickelt. In meinen weiteren Ausführungen bleibe ich deshalb bewusst allgemein, da eine nachhaltige Resilienz (egal von was) nicht durch eine Aufzählung von Einzelpunkten zu erreichen ist. Ein Gegensatz scheint mir zentral:



Zum einen, so glaube ich, können wir der Natur getrost fehlendes Interesse an uns und unserer Zivilisation unterstellen. Auch erscheint die Selbstregulation der Natur nicht auf einen Zweck gerichtet. Im Gegensatz dazu ist Technik in aller Regel als Ergebnis zivilisatorischer Aktivitäten zutiefst zweckgeleitet und vor allem in aller Regel von sektoralen und/oder geographischen Partikularinteressen getrieben (Geld, Macht, Eroberung, Verteidigung, etc.).

Wäre eine technische Lösung damit nachhaltig resilient, nachdem sie von allen Partikularinteressen befreit wurde und einem Zweck dient, der von unserer Weltzivilisation nach reiflicher Abwägung als kompatibel zur Natur anerkannt wurde? Sie wäre damit im Besitz der Menschheit, frei von geistigem Eigentum und Patenten und ihre Nutzung allen zugänglich. Sie diene der Weiterentwicklung der gesamten Zivilisation und der Sicherung unserer Lebensgrundlagen innerhalb einer intakten Natur des Planeten. Sie würde angewandt, gefördert und weiterentwickelt von den Wohlhabenden zum Wohle Aller, auch derer, die sie sich nicht leisten können. Sie wäre im Menschheitsinteresse und würde nicht nur die Interessen Einzelner (regional, sektoral oder generational) bedienen. Es würde sich aus meiner Sicht lohnen, bisherige technische Lösungen nach diesen Kriterien zu bewerten. Als Resultat ergäbe sich wohl eine andere Art von Technik z.B. in Landwirtschaft, Mobilität oder Medizin.

Erste scheue Ansätze zeigen sich aus meiner Sicht z.B. in der Wahrnehmung der Patentrechte bei Aids-Medikamenten oder bei der Diskussion über bewusste und kostenlose Weitergabe von technischem know-how zur Gewinnung erneuerbarer Energie an Entwicklungs- und Schwellenländer.

## Diskussion

Frage von Peter Wilderer: Wolfram Mauser sowie zuvor auch Martin Grambow weisen in ihren Beiträgen auf das sogenannte Geoengineering hin, ein Thema, das zu Beginn des 21. Jahrhunderts hohe Wellen schlug. Da es mehr als zweifelhaft ist, dass das von der Weltgemeinschaft avisierte 1,5-Grad-Limit eingehalten werden kann, flammt „Geoengineering“ als mögliche Rettungsmaßnahme wieder auf.

Meine Frage ist: Ab welcher räumlichen Dimension können wir von Geoengineering sprechen? Sprechen wir von Maßnahmen, die den gesamten Globus betreffen, oder gilt bereits eine lokale Einflussnahme als Startpunkt für Geoengineering. Wäre also die künstliche Überregnung eines Waldstücks bereits ein Startpunkt für Geoengineering?

Antwort von Wolfram Mauser: Geoengineering hat im Rahmen der Diskussionen auf der COP28 eine „Wiederauferstehung“ erreicht. Die Öl-produzierenden Länder wehren sich gegen einen Beschluss zum Ausstieg aus den Fossilen. Sie argumentieren, dass man aus den Fossilen ja gar nicht aussteigen muss, da man in Zukunft das CO<sub>2</sub> aus der Atmosphäre entnehmen und speichern kann (CCS). Es wird dabei also auf eine zukünftig vielleicht vorhandene und vielleicht sogar billige Technologie gehofft, die global angewandt ein globales Problem löst. Diese zukunftsverliebte und „naive“ Diskussion zum CCS ist aus meiner Sicht natürlich höchst problematisch.

Diese COP28-Diskussion hat m.E. viel von Geoengineering, weil es um die Anwendung einer Technologie geht, die

1. ein globales Problem anspricht, das alle Menschen betrifft,
2. eine Technologie im globalen Maßstab angewendet werden soll, um das Problem zu lösen.

Ich glaube, diese Kriterien sind ausreichend, um Geoengineering zu charakterisieren. Nach dieser Definition gibt es für Geoengineering keine Skala, sondern nur eine Absicht.

Fragen wären aus meiner Sicht eher so zu stellen:

Ist Forschung zum Geoengineering, die sich in einem Waldstück abspielt, schon Geoengineering? Eher nein!

Wäre die Manipulation des atmosphärischen Wasserkreislaufs zur Behebung von Dürren überall dort, wo Wasser fehlt, Geoengineering? Aus meiner Sicht ja!

Kann die „künstliche“ Überregnung eines Waldstückes für sich genommen eine Antwort geben auf die Frage, ob dieses Geoengineering funktioniert? Aus meiner Sicht und begründbar eher nein!

Anmerkung von Peter Wilderer: Um die verschiedenen Bezüge des Begriffs „Geoengineering“ zu entflechten, schlage ich vor, den lokal wirksamen Eingriff des Menschen in die Natur mit dem Begriff „Ecoengineering“ zu belegen.

„Geo“ steht bekanntlich für „Erde“ als Ganzes. Also wäre ein typisches Beispiel für Geoengineering die Montage eines Schirms am Lagrange-Punkt, um die Erdtemperatur zu regeln. „Eco“ leitet sich aus dem Altgriechischen Wort für „Haus“ ab, und hat so einen Bezug auf den örtlichen Lebensraum. Die Bepflanzung eines Ackers mit Monokulturen, die Rodung von Waldstücken zur Gewinnung von Ackerland oder die künstliche Beregnung eines Waldstücks oder eines Ackers wären typische Beispiele für Ecoengineering.

In jedem Fall haben Geoengineering und Ecoengineering potenziell positive und negative Auswirkungen. Sowohl Geoengineering als auch Ecoengineering erfordern vor der Entscheidung einer praktischen Anwendung eine strenge Risikobewertung.

Mein Fazit aus dieser Diskussion ist:

Geoengineering ist ein Begriff, der sich auf den planmäßigen Eingriff in das Erdsystem bezieht (siehe Beitrag von Martin Grambow

Dabei hat Geoengineering keine räumliche, wohl aber eine zeitliche Dimension.

Geoengineering ist nicht als Privileg der Ingenieure zu verstehen. Der Begriff bezieht sich auf planmäßige Einflussmaßnahmen, die von jeder einzelnen Person wie auch von den Organen der menschlichen Gesellschaft ergriffen werden, um in die Zukunft zu wirken.

Im biotischen Teil des Erdsystem sind Reaktionen auf äußere und innere Einwirkungen genetisch kodiert und kontrolliert.

Im Gegensatz dazu werden Reaktionen auf Eingriffe in Teile oder in die Gesamtheit des Erdsystems durch den Willen von Akteuren ausgelöst.

Um nachhaltig wirksame Erfolge zu erzielen, spielt das Prinzip Verantwortung, wie es von Hans Jonas in seinem gleichnamigen Buch ausführlich dargestellt wurde, eine entscheidende Rolle.

Zusammenfassend ist festzustellen, dass die biotische Selbstregulation kein Modell für anthropogene Systeme sein kann. Die biotische Selbstregulation kann allenfalls als Benchmark für ein nachhaltiges, verantwortliches Handeln dienen.

Antwort von Wolfram Mauser: Ob ich mit diesem Fazit einverstanden sein kann, muss sich erst noch zeigen

# Naturnahe Abwasserbehandlungs-Systeme für häuslicher Abwässer

## Eine Botschaft aus Indien

### Einführung

Im Zuge des zivilisatorischen Fortschritts haben der ungebremste Bevölkerungsanstieg, der verbesserte Lebensstandard und der wirtschaftliche Fortschritt zu einem enormen Süßwasserverbrauch führt, der zu etwa 70-80 % von privaten Haushalten verursacht wird (Mahapatra et al., 2022). Derzeit werden weltweit rund 380 Milliarden m<sup>3</sup> kommunales Abwasser pro Jahr freigesetzt, und es wird erwartet, dass dieser Wert bis 2030 um 24 % und bis 2050 um 51 % steigen wird (Qadir et al., 2020). Laut UN-Water (2017) lag der Anteil der unbehandelten Abwässer, die in die Umwelt gelangen, bei 30 %, 62 %, 72 % bzw. 92 % für Länder mit hohem, oberem und mittlerem Einkommen sowie für Länder mit niedrigem und mittlerem Einkommen. So werden beispielsweise in Indien nur 13,5 % der Abwässer angemessen behandelt (Chowdhury et al., 2022).

Rao Surampalli, PhD  
Director US EPA (retired)  
President of Global Institute for  
Energy, Environment, Sustainability  
Wastewater Treatment Science  
Fellow of AAAS, EASA, IWA

Die direkte Einleitung häuslicher Abwässer in die Gewässer verringert den verfügbaren gelösten Sauerstoff (DO), verursacht Eutrophierung und verschlechtert die Qualität der Ökosysteme. In Anbetracht der Notwendigkeit einer nachhaltigen Entwicklung ist es wichtig, natürliche Abwasserbehandlungssysteme/-technologien (NWWTSTs) für die Sanierung und Rückgewinnung von Ressourcen (z. B. N, P, Energie) aus häuslichem Abwasser zu erforschen, was im Mittelpunkt dieses Kapitels steht. Es handelt sich dabei um technische Systeme, die einer natürlichen Selbstregulation breiten Raum einräumen. Man kann sie demnach auch als ökologische Hybrid-Systeme bezeichnen

### **Ausgewählte natürliche Abwasserbehandlungssysteme/-technologien für die Behandlung von häuslichem Abwasser**

Verschiedene natürliche Abwasserbehandlungssysteme/-technologien werden von Ramakrishnan et al. (2016) beschrieben. Im Folgenden werden ausgewählte natürliche Abwasserbehandlungssysteme/-technologien besprochen, darunter Abwasserstabilisierungsteiche (WSPs), Pflanzenkläranlagen (CWs), Vermifiltration/Makrophyten-unterstützte Vermifiltration (VF/MAVF) und pflanzenbasierte aquatische Systeme.

#### **Abwasserstabilisierungsteiche (WSP)**

Sie lassen sich grob in aerobe Teiche, anaerobe Teiche, fakultative Teiche und Reifungsteiche einteilen (Mahapatra et al., 2022). Hasan et al. (2019) nutzten eine WSP zur Abwasserbehandlung und stellten eine Entfernung von > 90 % bzw. 50 % des biologischen Sauerstoffbedarfs (BSB) und des Gesamt-N (TN) fest. De Assis et al. (2020) erreichten mit einer aeroben WSP mit hohem Durchsatz zur Behandlung häuslicher Abwässer eine Entfernung von 59 %, 77 % bzw. 16 % des chemischen Sauerstoffbedarfs (CSB), Ammonium N (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N) und Gesamt-P (TP).

### **Pflanzenkläranlagen.**

Pflanzenkläranlagen können grob in vier Typen eingeteilt werden: Kläranlagen mit freier Wasseroberfläche (FWS-Kläranlagen), Kläranlagen mit horizontalem Untergrunddurchfluss (HSSF-Kläranlagen), Kläranlagen mit vertikalem Untergrunddurchfluss (VSSF-Kläranlagen) und hybride Kläranlagen (HCWs) (Ramakrishnan et al., 2016). Die wichtigsten Wege zur Schadstoffentfernung in Kläranlagen sind Adsorption, mikrobieller Abbau und Pflanzenaufnahme. In VSSF-Kläranlagen sorgt die bessere Verteilung des Abwassers für ein aerobes Milieu innerhalb des Systems, was den aeroben Abbau von organischen Stoffen erleichtert. In HSSF-Kläranlagen hingegen überwiegt der anaerobe biologische Abbau von organischen Stoffen. HSSF gewährleisten aufgrund der verbesserten Redoxbedingungen eine verstärkte Entfernung von Schadstoffen (Chowdhury et al., 2022). Rahi et al. (2020) setzten zwei VSSF-CWs im Pilotmaßstab ein und stellten fest, dass die begrünten VSSF-CWs 86 %, 85,9 %, 82,1 %, 59,6 % bzw. 65,5 % der CSB-, BSB-, NH<sub>4</sub>-N-, PO<sub>43</sub>-P- und TSS-Entfernung gewährleisteten, während die gleichen Werte für die nicht begrünten VSSF-CWs 80 %, 80,9 %, 74,9 %, 36 % bzw. 56,4 % betragen.

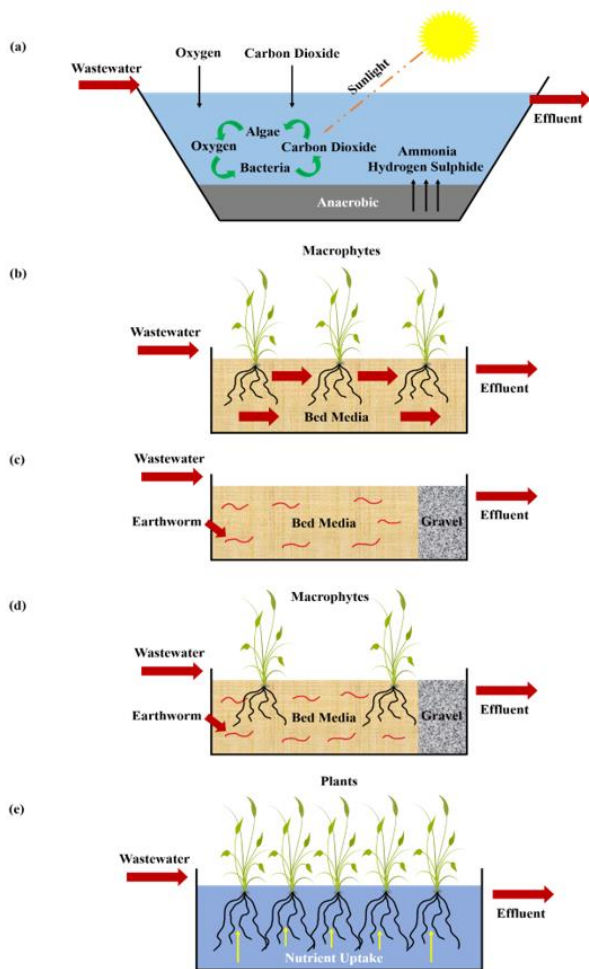
### **Makrophyten-unterstützte Vermifiltration.**

Hier handelt es sich um Bodenbiofilter, in denen die gemeinsame Aktion von Regenwürmern und Mikroben, die Schadstoffe aus dem Abwasser entfernen. Regenwürmer führen eine Reihe von Wühltätigkeiten aus, einschließlich der Aufnahme größerer Partikel im Abwasser, der Zerkleinerung der aufgenommenen Partikel, der Verdauung der zerkleinerten Partikel mit Hilfe von Darmmikroben und der Ausscheidung als Guss, der mit Nährstoffen, Enzymen und Mikroben angereichert ist (Chowdhury et al., 2023). Manchmal werden Makrophyten und Regenwürmer in eine einzige Filtrationseinheit integriert, die als makrophyten-gestützter Wurmfilter bekannt ist, um die Behandlungseffizienz eines Wurmfilters weiter zu verbessern. Arora et al. (2016) setzten einen Vermifilter aus *Eisenia fetida*-Regenwürmern zur Behandlung von häuslichem Abwasser ein und erreichten eine Entfernung von > 85,5 %, 77,8 %, 90 % bzw. 82,2 % von BSB, CSB, NH<sub>4</sub>-N und TSS. Chowdhury & Bhunia (2021) verwendeten einen zweistufigen Makrophyten-unterstützten Wurmfilter mit *Eisenia fetida*-Regenwürmern und *Canna indica*-Makrophyten zur Behandlung häuslicher Abwässer und stellten fest, dass das System eine 67-77%ige, 74,4-98,2%ige bzw. 73-87%ige Entfernung von CSB, NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N und TN gewährleistet.

### **Aquatische Systeme auf Pflanzenbasis.**

Diese dienen der Phytoremediation von Abwasser, wobei *Eichhornia crassipes* (Wasserhyazinthe), *Pistia stratiotes* L. (Wassersalat) und *Lemna minor* L. (Wasserlinse) die am häufigsten verwendeten Makrophyten sind. Das Abwasser kann frei über ein undurchlässiges Medium fließen, und die im Abwasser enthaltenen Nährstoffe werden von den Wurzeln der Makrophyten aufgenommen. Außerdem erleichtern die im Wurzelbereich der Makrophyten lebenden Mikroben den Abbau der im Abwasser enthaltenen organischen Stoffe. Alade & Ojoawo (2009) untersuchten das Potenzial der Wasserhyazinthe für die Reinigung häuslicher Abwässer und erzielten 48,9 % bzw. 46,2 % Entfernung von BSB und CSB.

## Ökologische Nachhaltigkeit natürlicher Abwasserbehandlungssysteme/-technologien



Schematic representations of the natural wastewater treatment systems: (a) WSP, (b) CW, (c) VF, (d) MAVF, and (e) Plant-based aquatic system.

biogenem  $\text{CO}_2$  bei Eins liegt, während das GWP von  $\text{CH}_4$  und  $\text{N}_2\text{O}$  25 bzw. 298 beträgt (Chowdhury et al., 2022). Mander et al. (2014) fanden heraus, dass bei der Behandlung von häuslichem Abwasser die  $\text{CH}_4$ -Emissionen aus einer FWS-CW und einer HSSF-CW 1,8 bzw. 6,4  $\text{mg}/\text{m}^2\text{-h}$  und die  $\text{N}_2\text{O}$ -Emissionen 0,031 bzw. 0,42  $\text{mg}/\text{m}^2\text{-h}$  betragen. Singh et al. (2017) berichteten, dass die Freisetzungsrates von Treibhausgasen aus konventionellen Kläranlagen mit anaerobem Schlammdeckenverfahren und Belebtschlammverfahren bis zu 1.317.375 bzw. 71.696 Tonnen  $\text{CO}_2\text{-Äq}/\text{Jahr}$  betrug. Lourenco & Nunes (2021) berichteten, dass der Ersatz des herkömmlichen Belebtschlammverfahrens durch die VF-Technologie zu einer Verringerung des GWP von 264 auf 183  $\text{kg CO}_2\text{-Äq}$  und des Eutrophierungspotenzials von 20,7 auf 7,51  $\text{kg PO}_{43}\text{-Äq}$  führte.

Außerdem können natürliche Abwasserbehandlungssysteme/-technologien zur Stabilisierung des in konventionellen Kläranlagen anfallenden Schlammes verwendet werden. In Vermifiltern wirken Regenwürmer als Schlammstabilisatoren und scheiden den stabilisierten Schlamm als Wurmkompost aus, der als Bodendünger verwendet werden kann. Webster (2005) berichtete, dass der Ersatz von chemischen Düngemitteln durch Wurmkompost zu einer Ertragssteigerung von 23 % bei den Weintrauben führte. Alade & Ojoawo (2009) fanden heraus, dass der Schlamm, der bei der Behandlung von häuslichem Abwasser mit Wasserhyazinthe anfällt, aufgrund seiner Nährstoffanreicherung direkt als Biodünger verwendet werden kann. Bei der Ausbringung von organischen Düngemitteln werden die darin gespeicherten Nährstoffe (d.h. N und P) mit dem Boden vermischt und stehen für die Pflanzenaufnahme zur Verfügung, wodurch das Wachstum von Pflanzen/Kulturen gefördert wird. Auf diese Weise erleichtern natürliche Abwasserbehandlungssysteme/-technologien die Rückgewinnung

von Nährstoffen aus häuslichen Abwässern. Abgesehen vom Schlamm ist das behandelte Abwasser aus den NWWTSTs entgiftet, hat ein klares Aussehen und ist mit gelöstem Sauerstoff und Nährstoffen angereichert. Daher kann es für die Bewässerung, den Gartenbau und andere nicht trinkbare Zwecke verwendet werden und unterstützt das Überleben von Wasserlebewesen, wodurch das Gleichgewicht des aquatischen Ökosystems aufrechterhalten wird (Chowdhury et al., 2023).

### Schlussfolgerungen und Empfehlungen

Natürliche Abwasserbehandlungssysteme/-technologien haben ein gutes Potenzial, häusliche Abwässer zu reinigen, indem sie eine wesentliche Entfernung von organischen Stoffen und Nährstoffen gewährleisten. Außerdem minimiert jedes der vorgestellten Systeme den Bedarf an nicht erneuerbaren Ressourcen, bewahrt die Qualität von Luft, Wasser und Boden, fördert die Erhaltung aquatischer und landbasierter Ökosysteme, erleichtert die Rückgewinnung von Nährstoffen aus häuslichen Abwässern und produziert nährstoffreiches und entgiftetes Abwasser, das für Bewässerungszwecke verwendet werden kann, wodurch die Kriterien für ökologische Nachhaltigkeit erfüllt werden. Im Folgenden werden jedoch einige Empfehlungen zur weiteren Verbesserung der nachhaltigen Widerstandsfähigkeit von natürlichen Abwasserbehandlungssystemen/-technologien gegeben.

Obwohl diese eine beträchtliche Wirksamkeit bei der Beseitigung von Schadstoffen gewährleisten, sind eingehende Forschungen erforderlich, um die Behandlungseffizienz natürlicher Systeme weiter zu verbessern.

Natürliche Abwasserbehandlungssysteme/-technologien beseitigen die Treibhausgasemissionen während ihrer Behandlungsprozesse nicht vollständig. Um sie weiter zu verringern, sind gründliche Forschungen unerlässlich.

N.B. Dieser Beitrag wurde unter Federführung von Rao Surampalli durch Wissenschaftler aus Indien gestaltet, nämlich: Sanket Chowdhury, Puspendu Bhunia, Tian Zhang

### Literaturverzeichnis

- Abello-Passteni, V., Munoz Alvear, E., Lira, S., & Garrido-Ramirez, E. (2020). Eco-efficiency assessment of domestic wastewater treatment technologies used in Chile. *Tecnologia y Ciencias del Agua*, 11(2), 190-228.
- Alade, G. A., & Ojoawo, S. O. (2009). Purification of domestic sewage by water-hyacinth (*Eichhornia crassipes*). *International J. Environmental Technology and Management*, 10(3-4), 286-294.
- Arora, S., Rajpal, A., & Kazmi, A. A. (2016). Antimicrobial activity of bacterial community for removal of pathogens during vermifiltration. *Journal of Environmental Engineering*, 142(5), 04016012.
- Chowdhury, S.D., & Bhunia, P. (2021). Simultaneous carbon and nitrogen removal from domestic wastewater using high rate vermifilter. *Indian Journal of Microbiology*, 61, 218-228.
- Chowdhury, S. D., Bhunia, P., & Surampalli, R. Y. (2022). Sustainability assessment of vermifiltration technology for treating domestic sewage: A review. *J. Water Process Engineering*, 50, 103266.
- Chowdhury, S. D., Bhunia, P., Zhang, T. C., & Surampalli, R. Y. (2023). Nitrogen transformation dynamics in macrophyte-assisted high-rate vermifilter treating real domestic sewage. *Journal of Water Process Engineering*, 55, 104171.
- de Assis, L. R., Calijuri, M. L., Assemany, P. P., Silva, T. A., & Teixeira, J. S. (2020). Innovative hybrid system for wastewater treatment: high-rate algal ponds for effluent treatment and biofilm reactor for biomass production and harvesting. *Journal of Environmental Management*, 274, 111183.
- Hasan, M. M., Saeed, T., & Nakajima, J. (2019). Integrated simple ceramic filter and waste stabilization pond for domestic wastewater treatment. *Environmental Technology & Innovation*, 14, 100319.
- Lourenço, N., & Nunes, L. M. (2021). Life-cycle assessment of decentralized solutions for wastewater treatment in small communities. *Water Science and Technology*, 84(8), 1954-1968.

- Mahapatra, S., Samal, K., & Dash, R. R. (2022). Waste Stabilization Pond (WSP) for wastewater treatment: A review on factors, modelling and cost analysis. *Journal of Environmental Management*, 308, 114668.
- Mander, Ü., Dotro, G., Ebie, Y., Towprayoon, S., Chiemchaisri, C., Nogueira, S. F., Jamsranjav, B., Kasak, K., Truu, J., Tournebize, J., & Mitsch, W. J. (2014). Greenhouse gas emission in constructed wetlands for wastewater treatment: a review. *Ecological Engineering*, 66, 19-35.
- Qadir, M., Drechsel, P., Jiménez Cisneros, B., Kim, Y., Pramanik, A., Mehta, P., & Olaniyan, O. (2020, February). Global and regional potential of wastewater as a water, nutrient and energy source. In *Natural resources forum* (Vol. 44, No. 1, pp. 40-51). Oxford, UK: Blackwell Publishing Ltd.
- Rahi, M. A., Faisal, A. A., Naji, L. A., Almuktar, S. A., Abed, S. N., & Scholz, M. (2020). Biochemical performance modelling of non-vegetated and vegetated vertical subsurface-flow constructed wetlands treating municipal wastewater in hot and dry climate. *Journal of Water Process Engineering*, 33, 101003.
- Ramakrishnan, A., Zhang, T.C., and Surampalli, R.Y. (2016). Green and sustainable natural wastewater treatment/disposal technologies. Ch. 6 in Green Technologies for Sustainable Water Management. Ngo, H.H., Guo, W.S., Surampalli, R., and Zhang, T.C. (eds.), ASCE, Reston, Virginia, 2016.
- Singh, V., Phuleria, H. C., & Chandel, M. K. (2017). Estimation of greenhouse gas emissions from municipal wastewater treatment systems in India. *Water and Environment Journal*, 31(4), 537-544.
- UN-Water. (2017). The United Nations World Water Development Report, Wastewater: the Untapped Resource.. (Date accessed: 06 October 2023).

## Diskussion

Anmerkung von Peter Wilderer: Der Artikel von Rao Surampalli und seinen Ko-Autoren weist darauf hin, dass die in den Industrieländern entwickelten und weitläufig eingesetzten Methoden zur Reinigung von Abwässern nicht als allgemeingültiges Modell eingestuft werden kann, um die Sanitär-Probleme in der Welt zu lösen. Die International Water Association (IWA) hat bereits vor Jahrzehnten eine Arbeitsgruppe (Specialist Group on Small Water and Wastewater) eingerichtet, deren Aufgabe es ist, alternative Systeme zur Abwasserbehandlung aufzuzeigen. Die in dem Kapitel aufgezeigten „Natürlichen Abwasserbehandlungssysteme“ gehören dazu. Sie sollten allerdings als Teil eines übergeordneten Systems verstanden werden, das die Einrichtungen zur Trinkwasserversorgung im ländlichen Raum einschließt sowie die Ausbildung der Personen, die für den Betrieb solcher Systeme benötigt werden.

Dazu möchte ich auf ein Projekt aufmerksam machen, das im indischen Bundesstaat Tamil Nadu angesiedelt ist und weltweite Aufmerksamkeit auslöste. In dem Dorf Odanthurai, 40 km entfernt von der Stadt Coimbatore, haben schon seit dem Jahr 1996 die Frauen des Dorfes unter Leitung der Tochter des Dorfältesten den Entschluss gefasst, die Lösung der örtlichen Wasserprobleme in die eigene Hand zu nehmen. Der Dorfälteste hatte seiner Tochter eine universitäre Ausbildung im Fach Mikrobiologie verschafft. Sie und einige ihrer Kommilitonen etablierten Stück für Stück und mit einfachen Mitteln den Transport von Wasser aus dem Fluss unterhalb des Dorfes. Der angestammte dörfliche Charakter des Dorfs blieb trotz der „Moderne“ erhalten.

Es entstand eine Anlage zur Erzeugung von qualitativ hochwertigem Trinkwasser, eine Anlage zur natürlichen Abwasserreinigung sowie eine Anlage zur Erzeugung von elektrischem Strom mittels Biogases und Windkraft. Trotz dieser Errungenschaften bestanden die Frauen auf der Erhaltung des angestammten dörflichen Lebens. Nachzulesen beispielsweise in: [Inspiring self-powered village – Odanthurai \(ecoideaz.com\)](https://www.ecoideaz.com).



Gelebte Subsidiarität am Beispiel des Dorfs Odanthurai, Indien

Tradition trifft Moderne

Foto: Peter Wilderer

Antwort von Rao Surampalli: Wir lernen daraus, dass nachhaltig wirksame technische Prozesse eine Kombination aus lokaler Initiative, solider Ausbildung, Erfindungsreichtum, praktischem Wissen und Unternehmertum erfordern, die alle in den lokalen Traditionen und der Kultur verankert sind. Die Lösungen, die auf diesem Boden entstehen, werden im ländlichen Niederbayern anders aussehen als im ländlichen Tamil Nadu. Die Vielfalt der technischen Lösungen ist so wichtig wie die Vielfalt der Arten in den Ökosystemen.



# Strategische Überlegungen zum Umgang mit Erdkrisen

## Eine Botschaft aus China

### Die Entwicklung der Erdkrisen

Verglichen mit der 4,6 Milliarden Jahre langen Geschichte der Erde und der 3,8 Milliarden Jahre langen Geschichte des Lebens ist das, was Paul Jozef Crutzen als Anthropozän bezeichnet, die Geschichte, die mit der industriellen Revolution im späten 18. Jahrhundert begann. Gerade in dieser kurzen Zeit hat sich die Interaktion zwischen Menschen und Natur stark intensiviert, und infolgedessen haben wir Menschen eine zunehmende Veränderung des globalen Klimas eingeleitet. Wir bemühen uns, die Zunahme extremer Wetterereignisse durch eine Verringerung der Treibhausgasemissionen einzudämmen. Gleichzeitig hat jedoch der Verlust der biologischen Vielfalt dazu geführt, dass die Artenvielfalt zwischen 1970 und 2008 weltweit um 28 % abgenommen hat. Die Naturkrisen auf der Erde verschärfen sich von Tag zu Tag.

Dr. Yonghui Song

Chief Scientist of the Chinese Research  
Academy of Environmental (CRAES)  
Sciences

Adjunct Prof. Tsinghua University

River Basin Water Management

Fellow of EASA

### Bewältigungsstrategien

Im Allgemeinen lassen sich die Absichten zur Bewältigung des globalen Klimawandels in drei Kategorien einteilen:

#### 1) Nichts-Tun.

William D. Nordhaus wies darauf hin: "Die globale Erwärmung ist nur einer von vielen historischen Fällen, in denen die Bemühungen, die Natur zu verstehen, durch menschliche Sturheit untergraben werden." Einige Menschen und sogar Regierungen ignorieren die Auswirkungen von Treibhausgasen oder erkennen sie aufgrund von Unsicherheiten nicht an, und einige Regierungen ziehen sich sogar nach Belieben aus dem Pariser Abkommen zurück.

#### 2) Aktives Geo-Engineering

Es gibt mehrere Vorschläge zur Entwicklung von Strahlungsmanagement-Technologien wie die Injektion von Aerosolen in die Stratosphäre, die Aufhellung von Wolken im Ozean und die Installation von Spiegeln im Weltraum. Die Kosten und die Ungewissheit dieser Maßnahmen begrenzen die Möglichkeit ihres Einsatzes. Technologien zur Beseitigung von Kohlendioxid, Aufforstung, Gewinnung von Bioenergie mit Kohlendioxidabscheidung und -speicherung (BECCS), blauer Kohlenstoff usw. sind mit immensen Kosten und Risiken verbunden und werden noch erforscht.

#### 3) Philosophische und wissenschaftliche Antwort

Seit der Geburt der Menschheit waren die Bemühungen, die Welt zu verstehen und die Beziehung zwischen Menschen und Natur zu regeln, der Kerninhalt der antiken Philosophie. Die antike Philosophie Chinas betont die "Einheit von Himmel und Mensch". Konfuzianismus, Taoismus und Buddhismus haben unterschiedliche Auslegungen, aber ihnen ist gemeinsam, dass sie den Menschen als Teil des Universums und der Natur betrachten, eine harmonische Koexistenz zwischen Menschen und Natur

anstreben und die organische Einheit von humanistischem Geist und wissenschaftlichem Geist erreichen.

Auf der Grundlage dieser Konzepte haben alle Dinge im Universum ihre eigenen Funktionsgesetze, und auch das System Erde hat seine eigenen Funktionsgesetze. Es ist ein richtiger Ansatz, die Widerstandsfähigkeit der Erde zu nutzen, um auf externe Veränderungen zu reagieren und die Selbstregulierungsfähigkeit des Erdsystems voll auszuschöpfen. Die Natur und die Erde zu respektieren, bedeutet nicht, nichts zu tun. Im Gegenteil, es ist notwendig, die Funktionsgesetze der Erde und der Natur aktiv zu verstehen und die globalen Veränderungen und ihre Auswirkungen durch Beobachtung zu erfassen. Wir sollten aktiv Technologien entwickeln, um die Auswirkungen des Menschen auf die Erde so weit wie möglich zu reduzieren. Wir sind letztlich Besucher der Erde, also sollten wir unseren Gastgeber - die Erde - respektieren, bescheidene und höfliche Gäste sein und unseren Müll, unsere Abwässer und Abgase aufräumen. Um dem Erdsystem zu helfen, seine Selbstregulierungsfunktion besser zu nutzen, ist die "Hilfe" einer künstlichen Wiederherstellung notwendig, insbesondere bei der Wiederherstellung der Vegetation, der Wiederherstellung der Ökosystemfunktionen und dem Schutz der Artenvielfalt.

### **Fortschritte bei der Bewältigung des Klimawandels und der Wiederherstellung intakter Ökosysteme**

Seit 1988 bewertet der IPCC kontinuierlich den Klimawandel und seine potenziellen Auswirkungen auf Gesellschaft und Wirtschaft sowie mögliche Strategien zur Anpassung an den Klimawandel und zu seiner Eindämmung. Im September 2015 wurde auf dem Gipfeltreffen der Vereinten Nationen die Agenda 2030 für nachhaltige Entwicklung verabschiedet, in der dringende Maßnahmen zur Bekämpfung des Klimawandels und seiner Auswirkungen gefordert werden. Im November 2021 schlossen die Vertragsparteien des Pariser Abkommens schließlich die Durchführungsbestimmungen ab und machten damit grüne, kohlenstoffarme und nachhaltige Entwicklung zu einem globalen Konsens und zu einer Richtung der Bemühungen. Um den globalen Klimawandel zu bewältigen, geschädigte Ökosysteme wiederherzustellen und die Artenvielfalt zu schützen, werden weltweit Anstrengungen unternommen: UN-Organisationen wie UNEP und UNDP haben umfangreiche Arbeiten durchgeführt; ökologische Wiederherstellungsprojekte werden in großem Umfang in Afrika, Europa und den USA durchgeführt. China hat sich das Ziel gesetzt, den Kohlenstoffausstoß bis 2030 zu reduzieren und bis 2060 kohlenstoffneutral zu werden.

Nach Jahren der Aufforstung liegt die Waldbedeckung in China bei über 24 %, was für ein ökologisch anfälliges Land eine beachtliche Leistung darstellt. Die chinesische Saihanba-Aufforstungsgemeinschaft wurde 2017 für ihre Inspiration und ihr Handeln zum „Champion of the Earth“ ernannt. Damit wurde ihre Arbeit gewürdigt, mit der sie degradiertes Land in ein üppiges Paradies verwandelt hat. Sie zeigt, dass der Einsatz technologischer, wirtschaftlicher und sozial machbarer Technologien zur Wiederherstellung des Ökosystems der Erde, die die Selbstregulierungskräfte der Erde unterstützen und wecken, ein praktikabler und machbarer Ansatz ist, um die Krise der Erde zu bewältigen.

Die Errungenschaften sind lobenswert, aber angesichts der Beschleunigung des globalen Klimawandels müssen noch größere Anstrengungen unternommen werden. Angesichts der globalen Klimakrise haben Länder und Regionen mit unausgewogener wirtschaftlicher und sozialer Entwicklung unterschiedliche Auffassungen und Einstellungen, widersprüchliche Gedanken.

## Literaturverzeichnis

World Wildlife Fund. WWF Living Planet Report 2012, Beijing, 2012.

[William Nordhaus. Climate Casino: Risks, Uncertainties, and Economics for a Warming World. Yale University Press, New Haven and London, 2013.

Trump begins formal US withdrawal from Paris Agreement.

<https://www.climatechangenews.com/2019/11/04/trump-begins-formal-us-withdrawal-paris-agreement/>.

UN Environment honors seven new Champions of the Earth.

<https://www.unep.org/news-and-stories/story/un-environment-honours-seven-new-champions-earth>.

## **Diskussion**

Frage von Ortwin Renn: Yonghui Song macht in seinem Beitrag deutlich, dass wir mehr tun müssen? Was wären hier Ihre Prioritäten?

Antwort von Yonghui Song: Vielen Dank an Professor Ortwin Renn für seine Frage. Ich bin gerne bereit, eine knappe Antwort zu geben:

1. Die Förderung der harmonischen Koexistenz von Menschen und Natur.  
Es gilt, der Ökologie Vorrang einzuräumen, eine grüne Entwicklung zu fördern und eine Welt der harmonischen Koexistenz zwischen Menschen und Natur zu schaffen. Dies ist nicht nur ein wissenschaftliches Konzept, sondern auch ein Konzept, auf das sich politische Entscheidungsträger beziehen sollten.
2. Förderung der Bildung eines grünen Entwicklungsmodells.  
Wir müssen uns für eine grüne Produktion und ein grünes Leben einsetzen und eine umweltfreundliche Entwicklung und Lebensweise aufbauen, um die Erde zu respektieren. Dies ist etwas, das von der Industrie, der Finanzwelt und der allgemeinen Öffentlichkeit unterstützt werden sollte.
3. Förderung der internationalen und regionalen Zusammenarbeit.  
Die ökologischen Randeffekte, die durch die ökologische Wiederherstellung in ökologisch sensiblen Entwicklungsländern und Regionen erzielt werden müssen. Sie sind in ihrer Wirkung größer, nicht nur in Bezug auf die Region, sondern auch auf die gesamte Erde.
4. Stärkung der Kommunikation.  
Die Zusammenarbeit zwischen Think Tanks und internationalen Organisationen wie den Vereinten Nationen und den zuständigen Regierungsstellen ist wichtig. Die Denker müssen den Machthabern und dem Kapital bewusst machen, dass der Aufbau einer Welt der harmonischen Koexistenz zwischen Menschen und Natur das Wichtigste ist.
5. Handeln ist wichtig, nicht nur Worte.  
Taten sagen mehr als Worte. Wir sollten kleine Dinge nicht vernachlässigen. Ein Rinnsal wird schließlich zu einem Fluss. Gemeinsam können wir ein nachhaltiges und sich selbst regulierendes Ökosystem der Erde fördern.

## Resilience Thinking und die Bedeutung adaptiver Kreisläufe

Unter der ökologischen Selbstregulation versteht man die Fähigkeit eines Ökosystems, nach einer Veränderung der Randbedingungen einen ursprünglichen oder neuen Gleichgewichtszustand herzustellen (Gorshkov et a., 2000).

Zu unterscheiden ist zwischen plötzlich eintretenden oder schleichend fortschreitenden Änderungen der Randbedingungen. Beispiel für langsam sich ändernden Randbedingungen ist die globale Klimaänderung. Plötzliche Änderungen treten bei Busch- oder Waldbränden ein, bei Überschwemmungen oder massiven Änderungen nach Reaktorkatastrophen wie in Tschernobyl.

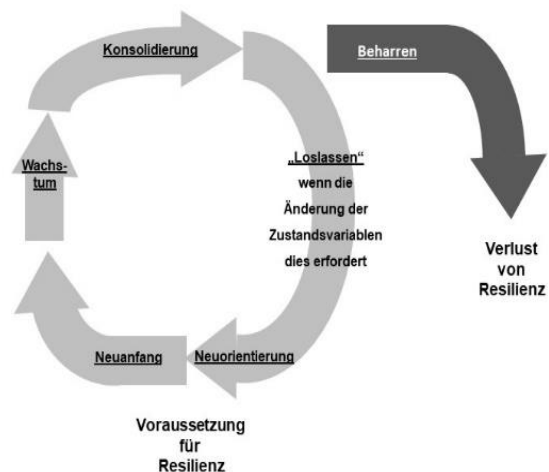
Voraussetzung für das Gelingen einer ökologischen Selbstregulation ist das Vorhandensein einer Vielfalt bakterieller, pflanzlicher und tierischer Arten sowie das Heimischwerden von Arten, die aus angrenzenden Ökosystemen einwandern. Es steht so ein Reservoir zur Verfügung, aus dem das Ökosystem schöpfen kann, um auf Veränderungen des lokalen Umfelds zu reagieren. Im Verlauf des Regulationsprozesses setzen sich diejenigen Arten durch, die mit den neuen Randbedingungen am besten zurechtkommen. Der ökologische Regulationsprozess kann Jahrzehnte bis Jahrhunderte andauern.

Dr.-Ing Peter Wilderer  
TUM Senior Excellence Faculty  
Bio-Engineer and  
Water Scientist  
Fellow of AAAS and EASA  
2003 Stockholm Water Laureate

## Was bedeuten die Begriffe Resilience Thinking und Adaptationszyklen

Resilience Thinking ist durch eine zyklische Abfolge von Handlungen charakterisiert. Dies soll am Beispiel eines ökonomisch handelnden Wirtschaftsbetriebs erläutert werden:

- Ständiges Beobachten von Änderungen im Umfeld (Klima, Wirtschaft, Gesellschaft, Politik)
- Bewertung der Beobachtungen und Erkundung der möglichen Folgen in Relation zu den eigenen Aktivitäten.
- Loslassen vom Gewohnten, falls dies als erforderlich eingeschätzt wird.
- Erkennen und bewerten von Optionen.
- Entscheidungen fällen und umsetzen.



Resilience Thinking (Walker und Salt, 2008) ist ein immerwährender zyklischer Prozess, der auch als Adaptationszyklus bezeichnet wird (in obigem Bild graphisch dargestellt). Resilience Thinking führt im Endeffekt zur Resilienz, also zu der Fähigkeit, sich kontinuierlich an Veränderungen im Umfeld anzupassen, um damit effizient zu bleiben. Resilience Thinking verfolgt einen vergleichbaren Zweck wie die ökologische Selbstregulation mit dem Unterschied, dass ein autonom ablaufender Prozess durch wissenschaftsbasiertes, willentliches Handeln ersetzt wird.

Das Ausscheren aus dem Zyklus durch willentliches Beharren auf dem gegebenen, kann (wie rechts im Bild skizziert) zum Verlust von Resilienz, im Grenzfall zum Systemkollaps (Diamond, 2005) führen. Umgekehrt bietet der Entschluss, sich adaptiv neuen Herausforderungen zu stellen, eine Überlebenschance. Getrieben wird ein Entschluss für Anpassung in die Wahrnehmung aufkommender Risiken und Polykrisen, die als existenzgefährdend erkannt werden. Hier ergibt sich eine gedankliche Brücke zu dem Beitrag von Ortwin Renn.

### **Das Ausscheren aus Adaptationszyklen kann zum Kollaps führen**

Ein besonders krasses Beispiel für das Ignorieren von Risiken und Polykrisen ist der Bankrott der Firma Lehman Brothers, einer wirtschaftlichen „Monokultur“. Entsprechendes gilt für den Zusammenbruch staatlicher Monokulturen. Der Zerfall des Römischen Reichs im 5. Jahrhundert sowie der Zerfall der Habsburger Monarchie und des Deutschen Reichs nach dem ersten Weltkrieg mögen dafür als Beispiele dienen. In beiden Fällen waren der Anspruch der damaligen Kaiser auf das ererbte Recht sowie die willentliche Ablehnung von Korrekturen im Umgang mit der Macht mitverantwortlich für den Systemkollaps.

Wie in den Ökosystemen muss das adaptive Handeln in ökonomischen und staatlichen Systemen sich sowohl auf gesamtheitliche wie auch auf regionale Räume beziehen. Wir bezeichnen solche Einheiten zusammenfassend als Ökotope (i.e., ökonomische Lebens- und Arbeitsräume). Ökotope entsprechen den Biotopen in einem Ökosystem. Die Eigenschaften eines Ökotops ist die Antwort auf die örtlichen Randbedingungen, die von Fall zu Fall höchst unterschiedlich sein können. Adaptive Zyklen können also nur wirksam sein, wenn sie von den besonderen Eigenheiten der örtlichen Ökotope ausgehen. Der heute übliche umgekehrte Weg vom Gesamten zum Einzelnen ist dagegen weniger zielführend. Ohne Berücksichtigung der Eigenheiten der örtlichen Teilsysteme bergen Regeln, Verordnungen und Gesetze, die von zentralen Institutionen für das Gesamtsystem erlassen werden, die Gefahr, unwirksam zu sein. Sie erwecken Widerstand und führen im Grenzfall zu einem Systemkollaps.

Der weltweit zu beobachtende Trend zu Zentralisierung von Unternehmen (Stichwort: „Merger Endgame“, Dean et al. 2003) und zum Zusammenschluss von Regionen, Ländern und Staaten zu supranationalen staatlichen Organisationen (Beispiel: Europäische Gemeinschaft) ist zum Erreichen einer gesamtheitlichen Resilienz schwierig. Notwendig ist, dass Maßnahmen für lokale Resilienzen von örtlichem Wissen und örtlichen Erfahrungen ausgehen. In dieser Hinsicht ist von Ökosystemen und deren Methoden Einiges zu lernen.

Besonders schwerwiegend ist der großflächige Eingriff des Menschen in ökologische Systeme und deren Fähigkeit zur Selbstregulation. Notwendig ist die Abkehr von „modernen“ Wäldern, die überwiegend mit Bäumen wie der Fichte besetzt sind. Die Begünstigung von Fichten in den mitteleuropäischen Wäldern nahm in dem ausgehenden Mittelalter aus rein ökonomischen Gründen ihren Anfang. Auslöser war damals Hanns Carl von Carlowitz, Oberberghauptmann des sächsischen Erzgebirges, mit seinem 1713 erschienen Buch mit dem Titel „Anweisung zur wilden Baumzucht“. Darin wird gefordert, in den Forsten relativ schnell wachsende Fichten zu bevorzugen und pro Zeiteinheit nur so viele Bäume zu fällen, wie im gleichen Zeitraum nachwachsen. Ironischerweise wird Hanns Carl von Carlowitz seither als Begründer der Nachhaltigkeit bezeichnet. Zahlreiche Beispiele bezeugen, dass von Menschen geschaffene und kontrollierte Systeme nur selten die Bezeichnung "nachhaltig" verdienen. Die Zerstörung großer Fichtenbestände in Mitteleuropa durch den Borkenkäfer und die durch längere Trockenzeiten verursachten landwirtschaftlichen Ernteverluste stützen diese Aussage

Als ebenso dramatisch erweisen sich die Schädwirkungen auf Ökosysteme und der Verlust der ökologischen Selbstregulation. Verursacher sind Investoren sowie Organisatoren mit ihren angeborenen Egoismen, ihren ökonomischen Interessen sowie ihrem Streben nach Macht. Waldflächen werden geopfert zugunsten einer Flächennutzung für Straßen, Siedlungen, Flugplätzen, Logistikzentren sowie für die landwirtschaftliche Erzeugung vielerlei profitabler Ackerpflanzen für den

Export. Die damit einhergehende Versiegelung von Böden trägt zu einer Verringerung der Neubildung von Grundwasser bei. Wegen verminderter Aufnahmefähigkeit der Böden verstärken sich Überschwemmungen bei Starkregenereignissen und Dürren bei zu geringen Niederschlägen.

Mit der Rodung von Wäldern nicht nur im Amazonas-Gebiet, sondern auch in vielen weiteren Regionen der Erde geht ein Verlust der zumindest temporären Festlegung von CO<sub>2</sub> im Holz einher. Durch das Fällen von Bäumen verringert sich die Fläche der Blätter und Nadeln, die für die Photosynthese benötigt werden. Dadurch verringert sich die Emission von Sauerstoff, einer Substanz, die ebenso wie Wasser für das Leben heterotropher Organismen lebensnotwendig ist – auch für den Menschen.

Ebenso verringert sich die durch Photosynthese bewirkte Emission von Wasserdampf in die Atmosphäre, was signifikante Auswirkungen auf den terrestrischen Wasserkreislauf haben kann. Insgesamt hat die verringerte Sequestrierung von CO<sub>2</sub> sowie die verringerte Emission von Sauerstoff und Wasserdampf Auswirkungen auf das Klima (Makariewa A. et al. 2010, Makariewa A. et al. 2013). All dies wird dem Profitstreben geopfert. Die Übernutzung der Böden, Dürreperioden, Waldbrände wie auch Überschwemmungen bei Starkregen sind die Folge.

Zu erwähnen ist auch die Subventions-Politik beispielweise im Agrarbereich, die den einzelnen Unternehmern suggeriert, es sei aus wirtschaftlichen Gründen vorteilhafter, am Gegebenen festzuhalten oder das Gegebene eher noch zu erweitern. Proteste gegen den Abbau von Subventionen sind nachvollziehbar, das Hinnehmen des verursachten Schadens an den übergeordneten Bemühungen zur Begrenzung der Erderwärmung ist dagegen verantwortungslos. Auch rächt sich das Verzögern notwendiger Investitionen zur betrieblichen Umgestaltung auf lange Sicht dramatisch.

### **Ausbildung in den Heimatländern ist dringend notwendig**

Gebraucht werden wirkungsvolle Konzepte zur Vermittlung von praktischen Fähigkeiten und Wissen über die komplexen Zusammenhänge von Ursache und Wirkung in Natur, Wirtschaft und Administration. Auf diese Weise soll ein tiefgreifendes Verständnis für die Notwendigkeit und Vorteile adaptiver Zyklen entstehen. Ziel ist es zudem, ethische und moralische Resilienzen zu erzeugen. Auf dieser Basis und in Würdigung der Besonderheiten der lokalen ökologischen, ökonomischen und kulturellen Besonderheiten sind Ausbildungsprogramme erforderlich, die vermutlich am effizientesten sind, wenn sie nahe dem Heimatort der Auszubildenden erfolgt. Die bisher übliche Praxis, Schüler und Studenten in ausländischen Ausbildungszentren zu unterrichten, birgt die Gefahr, dass Wissen entsteht, das den spezifischen klimatischen, wirtschaftlichen und kulturellen Bedingungen am heimischen Anwendungsort nicht oder nur marginal entspricht. Ein Umdenken auch im Bereich der Anwendung technischer Lösungen wie beispielsweise der zentralen Abwasser-Kanalisation in Entwicklungsländern ist dringend anzuraten. Dafür gibt es weltweit eine Fülle von Negativbeispielen, aber auch neuartige Initiativen, die es verdienen, Beachtung und Unterstützung zu finden.

#### Literaturverzeichnis

Gorshkov V.G., Gorshkov V.V. and Makariewa A.M. (2000) Biotic Regulation of the Environment – Key Issue of Global Change. Springer Praxis Chichester UK

Walker B and Salt D (2006) Resilience Thinking – Sustaining Ecosystems and People in a Changing World. Island Press, Washington USA

Diamond J (2005) Collapse – How Societies Choose to Fall or Succeed. Penguin Group New York

Von Carlowitz H.C. (1713) Anweisung zur wilden Baumzucht. In Silvicultura Oeconomica, 432 Seiten

Dean G.K., Kroeger F and Zeisel S (2003) Winning the Merger Endgame – A Playbook for Profiting from Industry Consolidation. McGraw-Hill. New York USA

Makarieva A.M., Gorshkov V.G. (2010) The Biotic Pump: Condensation, atmospheric dynamics and climate. *International Journal of Water*, 5(4), 365-385. doi: [10.1504/IJW.2010.038729](https://doi.org/10.1504/IJW.2010.038729)

Makarieva A.M., Gorshkov V.G., Sheil D., Nobre A.D., Li B.-L. (2013) Where do winds come from? A new theory on how water vapor condensation influences atmospheric pressure and dynamics. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 13, 1039-1056. <https://doi.org/10.5194/acp-13-1039-2013>

Makarieva AM, Nefiodov AV, Rammig A and Nobre AD (2023) Re-appraisal of the global climatic role of natural forests for improved climate projections and policies. *Front. For. Glob. Change* 6:1150191. doi: 10.3389/ffgc.2023.1150191

# Synthese

Die biogene Selbstregulation kann nicht alleine als Modell für die Regulationsmethoden menschlicher Systeme dienen, da die Voraussetzungen und Prozesse signifikant unterschiedlich sind.

Die Selbstregulation biotischer Systeme ist genetisch kodiert in Lebewesen und Lebensgemeinschaften, einschließlich ihrer wesenhaften selbstständigen Weiterentwicklung, der Autopoesis (Vogt). Die Regulation menschlicher Systeme beruht darüber hinaus auf Entscheidungen, die willentlich getroffen werden, um selbst gesteckte Ziele zu erreichen.

Die Menschheit hat in den zurückliegenden Jahrhunderten bewiesen, dass durch unermüdliches Streben nach Erkenntnissen gepaart mit Erfindungsreichtum gewaltige Fortschritte in allen Bereichen des menschlichen Lebens und Handelns erzielt wurden. Gleichzeitig haben Machtstreben, Hybris und Ignoranz die Erfolge vielfach konterkariert. Wenn durch menschliche Einflussnahme die Funktion der biotischen Selbstregulation missachtet, beschädigt oder gar außer Kraft gesetzt wird, entstehen systemische Risiken (Ortwin Renn), Rückschläge und am Ende Chaos. Um die Dynamik der Selbstregulation zu verstehen, hat die mathematische Theorie komplexer Systeme Modelle entwickelt, um kritische Phasenübergänge zu bestimmen. Computersimulation mit künstlicher Intelligenz ermöglichen Frühwarnsysteme, um frühzeitig Krisen und am Ende Chaos zu erkennen (Klaus Mainzer).

Dennoch ist die Missachtung der natürlichen Selbstregulationsvorgänge im Zeitalter des Anthropozäns fast zu einer Normalität geworden. Der Begriff „Anthropozän“ beschreibt in diesem Zusammenhang nicht nur einen Zeitabschnitt in der Geschichte unseres Planeten. Martin Grambow subsumiert in dem Begriff auch das oft egoistische Verhalten der Menschheit gegenüber der Natur. Die globale Klimaänderung und Erderwärmung sind die Quittung dafür. Darüber hinaus eröffnet aber das Verstehen der Prozesse, die zum Anthropozän geführt haben, auch die Chance zu erkennen, mit welchen Kulturtechniken diese kritischen Entwicklungen abgewendet werden können. Es geht also nicht nur um die Begrenzung der Erderwärmung, sondern auch um die Erhaltung der Biodiversität.

Um irreversible Veränderungen zu bewältigen, ist es dringend notwendig, die Funktion der noch verbliebenen Naturwälder proaktiv zu schützen (Anastassia Makarieva). Es geht dabei nicht nur um den Amazonas-Wald. Für die Erhaltung des Lebens in den verschiedensten Gebieten der Erde haben naturbelassene auch boreale Wälder, Feuchtgebiete und Moore eine wichtige Rolle. Sie sorgen für die Verfügbarkeit von Wasser, Sauerstoff und biogenen Rohstoffen. Sie sind dadurch klima- und ökonomie-relevant, ebenso relevant für die nachhaltige Entwicklung bewohnter Gebiete. Diese Einschätzung wird von der US-amerikanischen Wissenschafts-Journalistin Erica Gies, unterstützt. Sie hat unseren Diskurs durch ihre Sachkenntnis beeinflusst. Übereinstimmend wird darauf hingewiesen, dass die überall auf der Welt zu beobachtenden klimatischen Veränderungen und deren Folgen (Dürren, Starkregen, Stürme etc.) nicht nur durch Emission von Kohlenwasserstoff verursacht werden. Ebenso bedeutsam sind die menschlichen Interventionen und Störungen, die von naturbelassenen Ökosystemen zur Verfügung gestellt werden.

Die Frage, wie die Missachtung der biotischen Selbstregulationsvorgänge durch menschliches Handeln kompensiert werden kann, wird in mehreren Beiträgen zu diesem Sammelband aufgegriffen und zu beantworten versucht.

Markus Vogt erklärt in seinem Beitrag die Bedeutung des Konzepts der Nachhaltigkeit als Rückbesinnung auf die Notwendigkeit, die Bereiche Umwelt, Wirtschaft und Soziales durch systemisches Denken und durch synergetische Vernetzung (Retinität) in Einklang zu bringen. Dieser Anspruch fällt Vertretern verschiedener wissenschaftlicher Disziplinen sehr schwer, wie man am Beispiel der Ökonomie deutlich erkennen kann. Immerhin hat die Ökonomie großen Einfluss auf viele Lebensbereiche. Im Rahmen der Ökonomie kam es auch zu einer enormen Ungleichverteilung, was der intra- und intergenerationellen Gerechtigkeit widerspricht. Daher wäre es besonders wichtig, dass die



Mehrzahl der Ökonomen nachhaltige Entwicklung als neues Paradigma in Lehre und Forschung viel stärker berücksichtigt als bisher.

Die menschliche Einflussnahme auf natürliche Systeme kann nur nach einer gründlichen Abschätzung möglicher Risiken und deren Vernetzungen unter dem Primat des verantwortungsvollen Handelns erfolgen (Ortwin Renn). Mit dem Stichwort „Verantwortung“ knüpfen wir an die Ausführungen an, die Hans Jonas in seinem Buch „Prinzip Verantwortung“ als Grundlage der nachhaltigen Entwicklung beschrieben hat.



Erinnert wird in diesem Zusammenhang auch an oft groteske Vorschläge, die zu Beginn dieses Jahrzehnts für Aufsehen sorgten. Beispiel dafür ist die Installation eines Schirms am Lagrange-Punkt zwischen Sonne und Erde, um die Erde vor Überhitzung zu schützen. Solche Vorschläge wurden zusammenfassend als „Geoengineering“ bezeichnet. Die Diskussionen zwischen Wolfram Mauser und Peter Wilderer führten zu kritischen Reflexionen.

Demnach ist unter „Engineering“ ein planmäßiges Handeln zu verstehen. Mit dem Begriff „Geo“ wird die besiedelte Erdoberfläche verstanden. Geo-Engineering bezieht sich demnach auf den planmäßigen Eingriff auf das Erdsystem. Solche Eingriffe sind nicht den Ingenieuren vorbehalten. Eingriffe beziehen sich auf das Handeln von Jedermann, von Teilen der Gesellschaft, von den ökonomisch handelnden Personen und Organisationen sowie von staatlichen und der nicht-staatlichen Administrationen<sup>40</sup>.

Verantwortliches Handeln beginnt im Kleinen und endet schließlich durch Handeln im globalen Maßstab und nicht umgekehrt. Das Subsidiaritätsprinzip, wie es in den Römischen Verträgen der Europäischen Union festgeschrieben ist, gilt im übertragenen Sinn auch für ein nachhaltiges Zusammenwirken menschlicher Systeme mit dem Ökosystem.

Die Beiträge von Alois Heissenhuber und Herman Auernhammer beschreiben die derzeitige Situation im Bereich der Land- und Forstwirtschaft sowie die Möglichkeiten, mit modernen Erkenntnissen und Methoden Schritte zu einer nachhaltigen Entwicklung zu unternehmen, dies unter Wahrung der Erfordernisse für die Erhaltung der Funktion biotischer Selbstregulation.

In diesem Sinne sind auch die Beiträge von Werner Lang und Brigitte Helmreich einzuordnen. Hier geht es um eine Siedlungsplanung, die nicht nur die Bedürfnisse von Mensch, Arbeit und Mobilität befriedigen muss. Es gilt darüber hinaus, Methoden zu entwickeln und einzusetzen, um die Bedürfnisse der Natur über den Tag zu bewahren. Brigitte Helmreich widmet sich dazu dem Thema Wasser in bebauten Gebieten, genauer gesagt dem nachhaltigen Umgang mit Niederschlagswasser als Beitrag für die Grundwasserneubildung. Werner Lang zeigt in seinem Beitrag die Bedeutung wissenschaftlicher Methoden zur Analyse der Umweltwirkungen von Gebäuden im Planungs- und Umsetzungsprozess für die Realisierung einer nachhaltigen Baukultur auf.

Rao Surampalli berichtet über Entwicklungen, die im ländlichen Raum von Indien und im Einklang mit den lokalen wirtschaftlichen und kulturellen Randbedingungen zu geordneten hygienischen

---

<sup>40</sup> In diesem Zusammenhang stellt sich die Frage: ist damit der Begriff des Geoengineerings um ein „Öko-basiertes Geoengineering“ zu erweitern, das als Definition ein *transnationales, kollektives Handeln* beschreibt mit dem Zweck, *Veränderungen regional, aber auch in globalem Maßstab* herbeizuführen? Beispiele dafür existieren bereits: kollektives Plastikmüllsammeln, Wiederaufforstung, Regeneration von Feuchtgebiete, Vermeidung von kritischen Spurenstoffen bzw. deren Herausreinigung in Kläranlagen und natürlich regenerative Energie? Ein Vorbild wäre hier die EU, deren ökosystembezogene Strategien nicht nur im Gebiet der Vertragsstaaten wirkt, sondern weit darüber hinaus (Erneuerbare Energie –Richtlinie, Lieferketten-Richtlinie, EU-REACH – Verordnung usw.)

Verhältnissen führen. Besonders eindrucksvoll ist dazu der Bericht über eine Initiative von Frauen eines Dorfs im Süden Indiens. Aus eigenen Kräften wurden Lösungen gefunden und etabliert, die mit modernen technischen Mitteln traditionelles Leben unter der Erhaltung der Funktion der Umwelt verbinden.

Yonghui Song erinnert an die antike Philosophie Chinas, die von der Einheit von Himmel und Mensch ausging. Dabei haben alle Dinge im Universum ihre eigenen Funktionsgesetze. Auch das System Erde hat seine eigenen Funktionsgesetze. Ziel ist auch heute, die Widerstandsfähigkeit der Erde zu nutzen, um auf externe Veränderungen angemessen zu reagieren und die Selbstregulierungsfähigkeit des Erdsystems voll auszuschöpfen. Diese Grundprinzipien werden in ihrer Bedeutung in zunehmendem Maß wiedererkannt und mit modernem Wissen in reales Wirtschaften umgesetzt.

Schließlich wird in dem Beitrag von Peter Wilderer die These vertreten, dass der ständige und natürliche Wandel des Erdsystems einen gleichgesinnten Wandel des Verhaltens des Menschen erfordert. Die Natur reagiert auf Wandel intuitiv. Sie darf in ihrem Selbsterhaltungstrieb nicht behindert werden. Dies tun wir aber, wenn wir die Natur in ihrer derzeitigen oder früheren Ausprägung erhalten wollen, als wäre sie ein Museum. Dem Resilienzkonzept folgend ist der Mensch ebenso wie die Gesellschaft, die Ökonomie und die staatliche Administration verpflichtet, Veränderungen mit geeigneten Methoden wahrzunehmen und nach gründlicher Bewertung in verantwortliches Handeln umzusetzen. Es entwickelt sich so ein immerwährender Adaptions-Zyklus, der zu einer rationalen verantwortungsbasierten Selbstregulation führt.

## Schlusswort

Die auf 90 Seiten zusammen gestellten "Denkanstöße" sind ein Meilenstein auf dem Wege in eine geordnete, ausgewogene Welt. Das schließt die unten aufgeführten Handlungsempfehlungen ein sowie deren Umsetzbarkeit. Sie zeigen, wie wichtig Wissenschaft ist und was sie leisten kann und muss.

Prof. em. Dr. Wolfgang Haber

TUM Chair of Landscape Ecology (retired)

Chair of German Advisory Council on the Environment (retired)

1993 Award of the Federal Environmental Foundation

# Handlungsempfehlungen

Es ist zu empfehlen, der Erhaltung irdischen Lebens in all seinen lokalen und globalen Erscheinungsformen oberste Priorität einzuräumen.

Die Gesamtheit des irdischen Lebens umfasst mehr als nur die Lebewesen in ihrer Vergesellschaftung zu Biozönosen und Ökosystemen. Ein ebenso bedeutender Bestandteil ist das kulturelle Leben der Menschheit mit ihren essentiellen Handlungsfeldern wie Wirtschaft, Industrie, staatlichen und nicht-staatlichen Organisationsstrukturen, Wissenschaft, Kunst und Religion. Hierzu ist die Erfüllung der menschlichen Bedürfnisse auf die planetaren Grenzen abzustimmen.

Um die Funktionsfähigkeit des Erdsystems zu erhalten und zu festigen, empfiehlt es sich, alles zu vermeiden, was die Fähigkeit zur Selbstregulation von Lebewesen und biologischen Lebensgemeinschaften (Ökosysteme) einschränkt oder sogar außer Kraft setzt.

Die Erfahrung zeigt, dass Artenvielfalt und Zeit dabei wichtige Voraussetzungen für Resilienz naturbelassener Systeme sind. Es sollte in der Forstwirtschaft vermieden werden, durch Abholzungen in großem Maßstab landwirtschaftlich nutzbare Flächen zu gewinnen. Land- und Meeresnutzung sowie die Flächenversiegelung aufgrund neuer Siedlungen und Infrastrukturen sind auf das zwingend notwendige Maß zu beschränken. Bestehende und verbreitete Monokulturen in der Land- und Forstwirtschaft müssen in erweiterte Fruchtfolgen und Pflanzengemeinschaften umgewandelt werden.

Zur Bewahrung des irdischen Lebens ist die Förderung von Vielfalt mit höchster Priorität voranzutreiben.

Vielfalt - nicht nur die Artenvielfalt - ist weltweit ein bedeutendes Kennzeichen der Natur (Beispiel: Vielfalt von Landschaften). Im übertragenen Sinn gilt dies auch für die Gestaltung von Wirtschaft und Gesellschaft, für die Gestaltung des Zusammenlebens in Städten sowie für die Gestaltung von staatlichen und nicht-staatlichen Organisationen. Dabei sollte die anthropogene Vielfalt aus den lokalen Kulturen, Traditionen und Erfahrungen heraus entwickelt und mit modernen Methoden, beispielsweise mit Methoden der künstlichen Intelligenz, angereichert, aber nicht ersetzt werden. Ziel der Entwicklung sollte es sein, auf diese Weise resiliente Systeme, die nicht nur von der Industrie geprägt, sondern auch von den lokalen Gesellschaften getragen werden.

Es wird empfohlen, die klimaregulierende Funktion der verbleibenden natürlichen Ökosysteme der Erde als gemeinsames planetarisches Erbe und als Eckpfeiler der langfristigen menschlichen Existenz anzuerkennen.

Im Laufe der Geschichte wurde die Interaktion des Menschen mit den Ökosystemen von lokalen Bedürfnissen und Visionen dominiert. Erst mit der Entwicklung der modernen Wissenschaft und Technologie und dem beispiellosen globalen Bewusstsein der Menschheit als Spezies und Staatengemeinschaft wurde es möglich, die planetarische Bedeutung der stabilisierenden Wirkung der Ökosysteme auf Umwelt und Klima zu quantifizieren. Diese Prozesse sind unglaublich komplex, und ihr Verständnis stellt eine zunehmende Herausforderung dar, da die von natürlichen Ökosystemen eingenommene Fläche immer weiter schrumpft. Der internationale Schutz dieser Ökosysteme und ehrgeizige Untersuchungen, um sie zu verstehen, sind der Schlüssel zur Erhaltung der menschlichen Identität sowohl als biologische Spezies als auch als hochentwickelte, ethisch und intellektuell kompetente Gesellschaft.

Zur Erhaltung der natürlichen Selbstregulation und als Teil der Klimaanpassungsmaßnahmen wird empfohlen, die Erhaltung und die Wiederherstellung naturnaher Wälder sowie des naturnahen Wasserhaushalts weltweit zu fördern. Auch die Siedlungsräume müssen grüner und wasserfreundlicher werden.

Sowohl die Waldsysteme als auch der Landschaftswasserhaushalt sind für die lebensspendenden Niederschläge, Temperaturregelungen, Bodenbildung und damit die gesamte Biosphäre von wesentlichem Einfluss. Sie wurden aber durch Kulturtechnik weltweit für bestimmte wirtschaftliche Nutzungen optimiert oder gar beseitigt. Die Erhaltung und die Rekonstruktion sind unabdingbar, um die regionale und weltweite Stabilität wieder herzustellen. Dazu gehört auch die Anpassung der großen urbanen Lebensräume an die Bedingungen des Anthropozäns als Wasserspeicher, zur besseren Kühlung und – zusammen mit einer sozialen Wohnraumförderung – zur Verbesserung der Lebens- und Arbeitsqualität aller sozialen Schichten

Zur Erhaltung der fundamentalen Funktionen des Erdsystems sind Eingriffe in das Marktgeschehen legitim. Dazu gehört der Verzicht auf nicht-regenerative Energien. Die Emission von chemischen Stoffen muss transparenter und insgesamt reduziert werden. großskalige ökologische Maßnahmen wie Waldumbau oder Stabilisierung des Wasserhaushalts sind technischem Geoengineering in jedem Falle vorzuziehen

Die Wirtschaft muss sich schnell auf ressourcensparende und regenerative Energie nutzende Produktion einstellen. Dazu sind technische und nicht – technische Maßnahmen zur konsistenteren Technologie zu entwickeln, insbesondere auch beim Freisetzen von Chemikalien. Pures technisches Geoengineering wird als risikoreich eingeschätzt und kann keinesfalls die Umstellung auf eine insgesamt resiliente und nachhaltige Kulturtechnik ersetzen. Allenfalls sind vorübergehende Maßnahmen wie Regenentwicklung einsetzbar.

Es wird empfohlen, neben dem Ausstieg aus der Nutzung fossiler Energieträger ebenso große Anstrengungen zur dauerhaften Bereitstellung von Wasser, Sauerstoff und gesundem Boden zu unternehmen.

Die Erdgeschichte lehrt, dass die belebte Natur extreme Schwankungen der Oberflächentemperatur meistern konnte. Ohne Verfügbarkeit von Wasser und Sauerstoff kann terrestrisches Leben aber nicht überdauern. Die Aufgabe der Menschheit ist es daher, den von Menschen verursachten globalen Temperaturschwankungen ebenso wie dem Mangel an Wasser sowie an belebtem Boden entschieden entgegenzuwirken.

Es wird weiterhin empfohlen, verstärkt in Forschung und Entwicklung, sowohl in empirischer Datenerhebung als auch in mathematische Computersimulationen, sowie in Bildung und Ausbildung zu investieren.

Die in der Resilienzforschung entwickelte Methode der adaptiven Kreisläufe soll als Hilfe für Entscheidungen und Handlungen verstärkt als Chance begriffen und in den Alltag von Gesellschaften und Entscheidungsträgern einbezogen werden. Diese hochkomplexen Vorgänge erfordern eine sorgfältige Datenerhebung (Big Data), mathematische Modellbildung und KI-gestützte Computersimulationen. Mit diesen Methoden wird das Handeln in einem stetigen Kreislauf der Beobachtung und Bewertung von Änderungen im aktuellen Umfeld möglich. Durch gezielte Bildung sollte die Bereitschaft gestärkt werden, Gewohntes zu verwerfen, wenn es sich nicht bewährt, und einen Neuanfang zu wagen. Die schulische Bildung vom Kindergarten bis zur Sekundarstufe soll dabei Vorrang zu haben.

Es wird abschließend empfohlen, dass in dem viel geforderten Transformationsprozess alle hier aufgeführten Empfehlungen konsistent zusammengeführt werden, und die ökonomische und soziale Dimension den Leitplanken der ökologischen Dimension angepasst wird.

## Verzeichnis der Abkürzungen

AAAS	American Association for the Advances of Science
BEA	Bayerische Elite Akademie
BayWA	Bavarian goods brokerage of agricultural cooperatives (Bayerische Warenvermittlung landwirtschaftlicher Genossenschaften)
EASA	European Academy of Sciences and Arts an organization headquartered in Salzburg, Austria
DEI	Diversity, Equity, Inclusion
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change
IWA	International Water Association
IWF	International Water Foundation
IESP	Institute for Earth System Preservation a Non-Profit Organization of EASA, seated at Munich, Germany
KI	Künstliche Intelligenz (im Englischen: AI: Artificial Intelligence)
SIWI	Stockholm International Water Institute
SEF	Senior Excellence Faculty
YPO	Young Professionals Organization