



**Kein Teil der Erde steht für sich allein.  
Das „System Erde“ und wie wir damit umgehen.**

**Lisa Bohunovsky und Ines Omann**

## **Die Autorinnen:**

Mag. Lisa Bohunovsky, geboren 1975, Studium der Humanbiologie mit Schwerpunkt Humanökologie an der Universität Wien und der Universidad Autonoma in Madrid. Produktplanerin Springer Verlag Wien, Projektmanagement am Institut für Stadt- und Regionalforschung an der Österreichischen Akademie der Wissenschaften. Seit 2004 wissenschaftliche Mitarbeiterin am SERI mit den Arbeitsschwerpunkte Regionen, Integrierte Nachhaltigkeitsbewertung sowie Nachhaltige Energiesysteme.

Dr. Ines Omann, geboren 1972, Studium der Umweltsystemwissenschaften mit Schwerpunkt Volkswirtschaftslehre an der Karl-Franzens Universität Graz und der School of Economics and Management Lund (Schweden). Doktoratsstudium in ökologischer Ökonomie an der Karl-Franzens Universität Graz und der University of Leeds (UK). Universitätsassistentin am Institut für VWL der Karl-Franzens Universität Graz (2000-2003), wissenschaftliche Mitarbeiterin am Institut für Technologie- und Regionalpolitik, Joanneum Research Graz und am Wuppertalinstitut für Klima, Umwelt und Energie. Seit 2004 wissenschaftliche Mitarbeiterin am SERI mit den Arbeitsschwerpunkten Integrierte Nachhaltigkeitsbewertung, Partizipation, Multikriterienanalyse, ökologische Ökonomie, Szenarienentwicklung und Politikanalyse.

Contact:

[lisa.bohunovsky@seri.at](mailto:lisa.bohunovsky@seri.at)

[ines.omann@seri.at](mailto:ines.omann@seri.at)

SERI Background Papers present a comprehensive overview on the state of the art in one of SERI's research areas, addressing researchers from related research fields.

## **Kein Teil der Erde steht für sich allein. Das „System Erde“ und wie wir damit umgehen.**

### Zusammenfassung:

Der Mensch greift durch seine Handlungen täglich in das komplexe System Erde ein. Die Komplexität dieses Systems führt dazu, dass menschliche Handlungen oft große und unerwartete Auswirkungen auf Natur, Kultur, Gesellschaft und Wirtschaft haben. Dieses SERI Background Paper beschreibt, was es bedeutet, dass die Erde ein „komplexes System“ ist, welche Eigenschaften damit verbunden sind und wie der Mensch diese Tatsache berücksichtigen kann und sollte. Anhand von drei Beispielen werden komplexe Zusammenhänge aufgezeigt und deutlich gemacht, dass Probleme in einem größerem Zusammenhang gesehen werden müssen, um erfolgreiche Lösungen zu finden.

### Schlüsselwörter:

komplexe und einfache Systeme, Auswirkungen menschlichen Handelns, DPSIR, Klimawandel, Viktoriasee, Grüne Gentechnik, Vorsorgeprinzip

## Einleitung

Die Erde ist ein komplexes System mit vielen Teilsystemen, die untereinander stark vernetzt sind. Dies führt dazu, dass Eingriffe von Menschen vielfältige, oft auch unvorhergesehene oder unerwünschte Effekte haben. Dennoch ist es möglich, etwas gegen die negativen Auswirkungen zu unternehmen und gewünschte Aktivitäten zu setzen. Dazu ist es notwendig, das System Erde zu verstehen und die Vernetzungen zu berücksichtigen – um sie letztendlich für sich nutzen zu können.

In diesem SERI Background Paper werden wir daher den Systemcharakter der Erde thematisieren. Wir werden erklären, warum es selten klare, einfache Ursache-Wirkungs-Beziehungen gibt, wir werden Beispiele für real auftretende Beziehungen bringen und werden aufzeigen, wie man den Systemcharakter der Erde bei zu setzenden Maßnahmen und Eingriffen berücksichtigen kann.

## Die Erde als System

Die Erde ist ein System, in dem die einzelnen Teile sehr stark zusammenhängen<sup>1</sup>. Wäre auf der Erde alles nach einem einfachen Ursache-Wirkungsprinzip miteinander verknüpft, könnte man heute auftretende Umweltprobleme, wirtschaftliche oder soziale Probleme einfach lösen, indem man am richtigen Hebel dreht. In Wirklichkeit hängt jedoch alles auf sehr komplizierte Weise zusammen. Es gibt meist nicht den einen Hebel, und wenn man glaubt, ihn gefunden zu haben, bewirkt er oft ganz etwas anderes oder hat neben dem gewünschten Effekt andere unerwünschte Nebenwirkungen.

Im Folgenden soll kurz erklärt werden, was ein System ist, was ein komplexes System – wie die Erde – ausmacht und wie die einzelnen Teile von Systemen zusammenwirken. Mit diesem Wissen ist es dann leichter zu verstehen, woher manche der Probleme unserer Welt kommen und wie man ihnen begegnen kann.

Woran also zeigt sich, dass die Erde ein System ist? Oder – noch grundlegender gefragt – was ist eigentlich ein System, wie kann man es definieren?

Ein System besteht aus einer (größeren) Anzahl von Elementen und deren Eigenschaften, sowie aus den Beziehungen zwischen diesen Elementen untereinander und mit der Systemumgebung. Die Systemumgebung der Erde ist das All. Die Systemumgebung eines Teiches sind die umliegenden Wiesen und Felder. Ein System kann als Ganzes angesehen werden und sich in dieser Hinsicht von der Umgebung abgrenzen. Die Beziehungen zwischen den Elementen manifestieren sich durch Austausch von Material, Energie oder Information und bestimmen die Struktur des Systems.

Komplexe Systeme bestehen meist aus mehreren kleineren Systemen. So auch die Erde: man kann deren Teilsysteme grob in zwei Gruppen teilen: in die natürlichen und die sozioökonomischen Systeme. Beispiele für natürliche Systeme sind Ozeane, Wälder, Wüsten, Teiche, Atome. Sozioökonomische Systeme sind Systeme, die von Menschen begründet wurden, wie z.B. Wirtschafts- oder politische Systeme, Unternehmen, Städte, Regionen oder die EU. Die einzelnen

---

<sup>1</sup> Eine leicht lesbare (leider von den Beispielen schon etwas veraltete) Einführung in Systeme und ihre Bauweise ist Vester (1999).

Teilsysteme der Erde stehen miteinander in Verbindung, d.h. sie tauschen Material, Energie und/oder Information aus, und sie beeinflussen sich in ihren Entwicklungen gegenseitig.

Die natürlichen Systeme bilden die Basis für jede Form von Leben und Entwicklung. Wir sprechen hier also von der Natur oder – auf den Menschen bezogen – von der Umwelt. In sozioökonomischen Systemen (inter)agieren Menschen. Deren Grenzen sind künstlich und werden vom Menschen definiert. Sie beinhalten Strukturen, Regeln und Gesetze, die von Menschen gemacht sind. Sozioökonomische Systeme können lernen, sie können sich Ziele setzen und diese auch ändern, indem sie sich innerhalb der zuvor genannten Strukturen und Regeln an neue Gegebenheiten anpassen. Die Akteure in sozioökonomischen Systemen, also die Menschen, überlegen sich ihr Verhalten, beziehen sich auf andere und denken über ihre Aktionen und Konsequenzen nach. Es ist ihnen auch möglich, Krisen als Chancen zu nutzen und für zukünftige, ähnliche Situationen zu lernen.

Viele Systeme, für die wir uns hier interessieren, sind gemischte Systeme. Sie enthalten Teilsysteme von beiden Gruppen (den natürlichen und den sozioökonomischen), die sich überlappen können und die interagieren. Der Wald als natürliches System ist z.B. Teil einer Region, die ein sozioökonomisches System ist. Die BewohnerInnen dieser Region nutzen den Wald zur Erholung, aber auch für wirtschaftliche Zwecke (Holz, Jagd, Pilze). Durch die Aufnahme von Kohlendioxid (CO<sub>2</sub>) trägt der Wald zur Aufrechterhaltung des Kohlenstoffkreislaufes, wie auch zu besserer Luftqualität bei. Der Wald wird von den Einwohnern gepflegt, aufgeforstet und dient ihnen zur Erholung. Wald und Mensch beeinflussen sich gegenseitig, hängen aber auch voneinander ab. Stellt der Mensch seine Tätigkeiten im Wald ein, kann er nicht in der Form bestehen bleiben wie bisher. Verändert sich das sozioökonomische System des Menschen und ändert dieser dadurch forstliche Tätigkeiten, ändert sich der Wald. Wandelt sich der Wald z.B. durch Klimaänderung, muss sich der Mensch diesen Änderungen anpassen.

Die Erde setzt sich aus Teilsystemen auf verschiedenen räumlichen Ebenen zusammen. Die menschliche Zelle, Moleküle, Atome sind ebenso Teilsysteme wie die Atmosphäre oder die Biosphäre. Teilsysteme auf einer höheren Ebene enthalten Teilsysteme niedrigerer Ebenen. Dadurch werden Hierarchien gebildet. So ist z.B. das Verkehrssystem Teil einer Stadt, ein Mensch Teil einer Familie oder ein Frosch Teil eines Teiches. Zwischen diesen Ebenen gibt es zahlreiche Verbindungen, genau so wie zwischen Teilsystemen auf gleicher Ebene, z.B. zwischen zwei Regionen. Daneben gibt es auch Verbindungen zwischen natürlichen und sozioökonomischen Systemen, z.B. zwischen einem Fluss und der Stadt, durch die er hindurchfließt.

Teilsysteme des Systems Erde sind selbst Systeme, die aus mehreren Komponenten oder wiederum Teilsystemen bestehen. Systeme von denen wir in diesem Buch sprechen, sei es die Erde selbst, ein natürliches oder ein sozioökonomisches System zeichnen sich dadurch aus, dass sie komplex sind.

Im Gegensatz dazu stehen einfache Systeme: Einfache Systeme können eindeutig beschrieben werden. Ihre Entwicklung ist vorhersagbar und kann berechnet werden und es gibt eindeutige Ursache – Wirkung – Beziehungen. Diese Systeme sind oft geschlossene Systeme, also isoliert von ihrer Umgebung. Sie sind zumeist statisch und vom Menschen erdacht, wie z.B. ein Dokumentationssystem zur Erfassung von Büchern in einer Bibliothek.

### *Eigenschaften komplexer Systeme*

Komplexe Systeme werden durch eine Reihe von Eigenschaften charakterisiert, wovon einige im Folgenden beschrieben werden. Die Grenze zwischen einem einfachen und einem komplexen System ist nicht immer eindeutig. Nicht jedes komplexe System ist durch alle hier genannten Eigenschaften ausgezeichnet und je nach System sind manche Eigenschaften stärker oder schwächer ausgeprägt. Es gibt verschiedene Grade von Komplexität. Man kann sagen, dass ein System umso komplexer ist, je größer die Verschiedenheit der einzelnen Elemente und die Anzahl an Beziehungen zwischen den Elementen sind. Sieht man sich diese Eigenschaften an, wird man bald verstehen, warum ein System als „komplex“ bezeichnet wird:

- **Offenheit:** Das System öffnet sich zu seiner Umgebung und zu anderen Systemen, d.h. es steht mit seiner Außenwelt in Verbindung. Es wird von außen beeinflusst, beeinflusst aber auch seine Umgebung, indem Informationen, Stoffe, etc. in das System hinein und hinaus „fließen“. Oft sind die ausgehenden „Flüsse“ Reaktionen auf eingehende „Flüsse“. Das System antwortet demnach auf Herausforderungen von außen. Jedes lebende System ist offen. Die Erde selbst ist ein offenes System zum Weltraum hin, sie tauscht mit diesem Stoffe und Energie aus (z.B. Kometen, Sonnenstrahlung).
- **Dynamik:** Das System befindet sich nicht für längere Zeit in einem stabilen Gleichgewicht, sondern ist in ständiger Veränderung. „Man steigt nie zweimal in denselben Fluss“, sagt ein Sprichwort. Der Fluss ist in ständiger Veränderung und wird nie mehr ganz gleich wie er war. Eine Form von Veränderung ist Wachstum, das wiederum in verschiedenen Formen ablaufen kann. Um wieder zu unserem Beispiel des Waldes zurückzukommen: Dieser nimmt permanent Stoffe von außen auf, gibt sie wieder ab, nimmt Sonnenenergie auf, gibt aber auch Energie in Form von Wärme oder gespeicherter Energie (Holz, Pflanzen) ab. Dadurch verändert sich der Wald ständig, neue Bäume wachsen, andere fallen um, neue Pollen und Samen werden von außen eingebracht, etc.
- **Starke, meist nicht lineare Interaktionen zwischen den Elementen:** ein Input in ein System führt nicht immer zu einem proportionalen Output, sondern dieser kann verstärkt oder abgeschwächt sein. Kleine Ursachen können sehr große Wirkungen haben. Umgekehrt kann ein großer Input, nur eine kleine Auswirkung haben. Das Aussetzen von einer begrenzten Anzahl an Kaninchen in Australien, um einige Jäger zu erfreuen, führte innerhalb kurzer Zeit zu einer unvorstellbaren Plage. Denn die aus Europa eingeschleppten Kaninchen hatten in Australien keine natürlichen Feinde und vermehrten sich daher explosionsartig. In einem komplexen System, steht jede Komponente des Systems mit jeder anderen in Wechselwirkung (s.a. Box Arten von Beziehungen in Systemen).
- **Rückkoppelungsschleifen:** Hier unterscheidet man zwischen positiven (verstärkenden) und negativen (abschwächenden) Rückkoppelungen. Eine positive Rückkoppelung bedeutet, dass die Wirkung eines Signals durch die Rückwirkung, die es auslöst, noch weiter verstärkt wird (steigende Löhne können zu steigenden Preisen führen und damit weiter steigende Löhne verursachen usw.). Positive Rückkoppelungen können sich aufschaukeln und dadurch sehr gefährlich werden, wenn sie nicht durch negative Rückkoppelungen kontrolliert werden (Selbstregulation). Ohne negative Rückkoppelung läuft das System Gefahr zu „sterben“. Im System Erde finden wir zahlreiche Beispiele von positiven und negativen Rückkoppelungen.

- Zeitliche und räumliche Verzögerungen: eine Ursache führt oft erst nach langer Zeit zu Wirkungen, man spricht hier von so genannten „time-lags“. Ein gutes Beispiel dafür ist das Ozonloch, welches durch den Ausstoß von FCKW (Fluorchlorkohlenwasserstoffe) verursacht wird. Zwischen dem Verwenden von FCKW und der Zerstörung des Ozons stehen viele Jahre. Durch Verzögerungen ist es oft schwierig, bestimmte Phänomene auf Handlungen von Menschen zurückzuführen und (rechtzeitig) Maßnahmen zur Gegensteuerung zu ergreifen.
- Unstetigkeiten: Die Entwicklung des Systems ist nicht stetig, d.h. sie erfolgt nicht gleichmäßig sondern mit Sprüngen, Beschleunigungen, Verzögerungen etc. Die Bewegung eines Gletschers, z.B. erfolgt nicht mit gleicher Geschwindigkeit, sondern erfolgt eher ruckartig für eine bestimmte Zeit, bis er wieder einige Zeit ruht, um sich dann wieder schneller zu bewegen.
- Unsicherheiten: es ist nicht möglich, die Entwicklung eines komplexen Systems mit hoher Genauigkeit voraus zu sagen. Es gibt viele Unsicherheiten, die es beeinflussen, wie z.B. die Entwicklung der Systemumgebung, die Wirkung von Verhaltensänderungen von darüber oder darunter liegenden Systemen, Wechselwirkungen zwischen Elementen. Dies führt dazu, dass Entwicklungen nur innerhalb einer gewissen Bandbreite, nur mit einer gewissen Wahrscheinlichkeit oder überhaupt nicht vorausgesagt werden können. Das erklärt auch, warum Wettervorhersagen kaum einmal genau stimmen und immer weniger exakt sind, je weiter sie in die Zukunft reichen.
- Hierarchien: ein komplexes System ist in Hierarchien von darunter und darüber liegenden Systemen eingebettet. Wie bereits eingangs erwähnt, gibt es verschiedene Ebenen von Systemen, z.B. räumliche Ebenen: die Stadt Graz ist Teil des Bundeslandes Steiermark, welches Teil von Österreich ist und welches in Europa eingebettet ist; soziale Ebenen: eine Stadt hat viele Schulen und diese wiederum viele Schüler und Schülerinnen.
- Irreversibilitäten: diese bedeuten nichts anderes, als dass es in manchem Prozess kein Zurück mehr gibt. Sind gewisse Veränderungen eingetreten oder gewisse Grenzen überschritten, dann kann man nicht mehr zurückgehen oder den Ausgangszustand wieder herstellen. Greifen wir in die Prozesse soweit ein, dass die Systeme ihre Funktionen nicht mehr erfüllen können, spricht man von irreversiblen Eingriffen. Die Ausrottung von Pflanzen- und Tierarten ist ein Beispiel für einen irreversiblen Prozess.
- Selbstorganisation: Systeme, die sich selbst organisieren, verändern spontan von sich aus selbst ihre Strukturen und bilden neue Verhaltensweisen (Muster) aus. Voraussetzung für das Auftreten von Selbstorganisation ist das Zuführen von Energie. Ein einfacher Fall von (physikalischer) Selbstorganisation ist z. B. die Bildung von Strukturen bei Tieren, wie Bienen. Ein Beispiel für Selbstorganisation in sozioökonomischen Systemen ist das Herdenverhalten. Es beschreibt die Situation, wenn eine Gruppe von Individuen kohärent reagiert, ohne dass es eine Koordination zwischen den einzelnen Individuen gibt. Das ist z.B. auch bei Demonstrationen zu beobachten.
- Koevolvierende Prozesse: Das System befindet sich in ständiger Entwicklung, es evolviert; dies erfolgt aber nicht unabhängig von der Evolution anderer Systeme. Es gibt gegenseitige Anpassungen. Oben wurde bereits das Beispiel vom Wald und dem Menschen, der ihn nutzt, genannt.

Bestimmte Prozesse führen, nachdem eine gewisse Grenze überschritten wurde, schlagartig zu verändertem Verhalten des Systems, oder das System bricht zusammen und kann seine Funktionen nicht mehr aufrechterhalten. Das passiert zumeist nicht langsam und stetig, sondern plötzlich. In einem Vulkan z.B. brodelt die heiße Magmamasse vor sich hin und baut immer mehr Druck auf, bis der Druck so hoch ist, dass sie aus dem Vulkan geschleudert wird. Seen haben eine bestimmte Selbstreinigungskraft und können dadurch Abwässer, die eingeleitet werden, abbauen. Werden immer mehr Abwässer in den See geleitet, gibt es möglicherweise einen Zeitpunkt, indem das System See seine Funktionen und auch die Selbstreinigung nicht mehr aufrecht erhalten kann, er „kippt“ und wird zu einem toten Gewässer, in dem kaum mehr Leben existieren kann. Sind solche Schwellenwerte überschritten, gibt es häufig kein Zurück mehr. Wir erleben also einen irreversiblen Prozess. Natürlich Systeme haben oft eine erstaunliche Widerstandskraft und Belastbarkeit und können ihre Funktionen trotz widriger Umstände lange aufrechterhalten (diese Fähigkeit von Systemen nennt man Resilienz). Es ist allerdings sehr schwer vorhersehbar, wie lange bei negativen Einflüssen diese Fähigkeit erhalten bleibt und ab wann sie verloren geht und somit der Schwellenwert überschritten wird.

Bevor der Schwellenwert erreicht wird, scheint es so, dass das System nicht auf die treibende Kraft antwortet, die dann zu einer abrupten Änderung führt, wenn die Schwelle überschritten ist. Durch dieses anfängliche Nichtreagieren des Systems erkennt man die Warnungen oft zu spät und kann nicht mehr rechtzeitig reagieren.

Aus den oben genannten Eigenschaften ergibt sich auch, dass komplexe Systeme nicht komplett kontrolliert werden können. Wenn wir sie beeinflussen oder in ihre Entwicklung eingreifen, dann können starke, plötzliche Veränderungen oder nur ganz schwache bzw. stark verzögerte Reaktionen die Folge sein.

Wir müssen uns bewusst sein, dass Vorhersagen für diese Systeme über einen bestimmten Zeitraum hinaus nicht möglich sind. Die Wettervorhersage für morgen oder für die nächsten Tage ist möglich, aber nicht für ein ganzes Jahr. Wir können mit Computermodellen, Formeln und Mathematik diese Systeme nicht vollständig erfassen, berechnen oder beschreiben. Es gibt aber sehr wohl Theorien, die sich wissenschaftlich mit komplexen, offenen Systemen beschäftigen, die Systemtheorien. Diese versuchen, die komplexen Systeme und deren Verhalten zu verstehen, teilweise zu berechnen und zu modellieren.

Wenn wir die Eigenschaften von komplexen Systemen ansehen, dann erkennen wir auch sofort, dass die Erde als das komplexe System schlechthin aufgefasst werden kann. Man findet sämtliche Eigenschaften in ihr und in ihren mannigfaltigen Teilsystemen wieder. Wenn man diese Eigenschaften ernst nimmt, dann wird auch klar, dass ein bestimmter, adäquater Umgang mit komplexen Systemen erforderlich ist. Menschliche Eingriffe in das System Erde haben weitreichende Auswirkungen. Wir können aber nicht davon ausgehen, dass diese eindeutig oder kontrollierbar sind, weder die „negativen“ noch die „positiven“. Beispiele für solche weitreichenden Wirkungen werden im nächsten Abschnitt gegeben. Wir sind also mit komplexen Systemen konfrontiert, deren Entwicklung schwer vorherzusehen ist, sowie die Auswirkungen von Eingriffen unsererseits. Dennoch gelang und gelingt es der Menschheit in vielen Bereichen sehr gut, mit der Erde umzugehen. Es gibt also Möglichkeiten, in diese Systeme gestaltend einzugreifen – mit gewünschten Effekten. Voraussetzung dafür ist, die Eigenschaften bzw. Zusammenhänge zu verstehen und zu akzeptieren, dass nicht alles planbar und vorhersehbar ist (mehr dazu im letzten Abschnitt dieses Background Papers).

Die Erde ein offenes, aber kein unbegrenztes System. Sie kann nicht unendlich lange als Senke für unsere Abfälle und Emissionen benützt werden, da ihre räumlichen Kapazitäten wie auch die Fähigkeit, Abfälle zu verarbeiten und abzubauen begrenzt sind. Und wir können auch nicht ihre Rohstoffe unendlich lange ausbeuten. Diese haben sich über Millionen von Jahren gebildet und können sich nicht in einigen tausend oder hundert Jahren wieder bilden, in denen wir sie abbauen. Da aber die Geschwindigkeit, mit der wir Rohstoffe abbauen, höher ist als die Rate, mit der sie wieder nachwachsen und auch die Geschwindigkeit, mit der wir die Erde mit Abfällen belasten, höher ist als die Abbaurrate, verletzen wir das dynamische Gleichgewicht der Erde. Wir greifen in die Prozesse ein, ohne die Auswirkungen zu kennen oder zu verstehen. Wenn wir uns dessen sowie der Tatsache, dass die Erde ein komplexes System ist, bewusst sind, dann sind das gute Voraussetzungen, um unser Handeln sowie unsere Politik so zu verändern, dass wir die Erde nicht so sehr beeinflussen, dass sie ihr Gleichgewicht verliert und keine Basis mehr für Leben und Entwicklung bietet. Wie der Systemwissenschaftler Frederic Vester sagt, ist ein simples Ursache-Wirkungs-Denken nicht geeignet, um die Erde richtig zu „behandeln“ und gegenwärtige Probleme zu lösen, da es sich an Einzelproblemen orientiert. Wir brauchen Denken in dynamischen Strukturen, sowie Verständnis von komplexen Systemen.

#### **Box: Arten von Beziehungen in Systemen**

(1) linear: Eine Wirkung verändert sich im gleichen Maße wie ihre Ursache. Man findet wenige Beispiele in der Natur für diese Beziehung. Ein Beispiel ist der Maisertrag pro Fläche, der proportional mit der Tiefe der Humusschicht steigt (aber auch hier gilt die Linearität nur innerhalb eines gewissen Bereichs; wird die Humusschicht darüber hinaus vergrößert, erhöht sich der Ertrag nicht mehr weiter).

(2) nicht-linear: Ursache und Wirkung verändern sich nicht in gleichem Maß; es kommt zu Stauungen, Sättigungen, Beschleunigung. Wird mehr Geld in Forschung investiert, dann steigt die Qualität der Ergebnisse überproportional, aber ab einer gewissen Zeit gibt es eine Sättigung, da die Qualität auch von anderen Faktoren (Infrastruktur, Umfeld...) abhängt. Ein bekanntes Beispiel für eine nicht-lineare Beziehung ist exponentielles Wachstum (z.B. das Wachstum der Wasserhyazinten im Viktoriasee – siehe hinten). Wenn wir dieses nicht rechtzeitig bemerken, steuern wir auf endgültige Grenzen zu oder überschreiten Schwellen, die zu einem Zusammenbruch des Systems führen.

#### *Der DPSIR - Ansatz*

Vorgänge in Systemen, deren Ursachen, Wirkungen und Wechselwirkungen können auf verschiedene Art beschrieben werden. Ein unter anderem von der europäischen Umweltagentur und dem Umweltprogramm der Vereinten Nationen (UNEP) verwendeter Ansatz ist der sogenannte DPSIR Ansatz. Dieser dient der Beschreibung kausaler Wirkungszusammenhänge in der Umwelt und in sozialen Systemen, um daraus geeignete politische Maßnahmen und Verhaltensweisen abzuleiten.

Der DPSIR-Ansatz versucht, Information über die verschiedenen Elemente der DPSIR Kette zur Verfügung zu stellen, die Verbindungen zwischen diesen zu demonstrieren und die Wirksamkeit von Reaktionen abzuschätzen. Er bringt Ursachen (Antriebskräfte und Belastungen) mit Zuständen, Aktivitäten (Politikmaßnahmen oder Entscheidungen) in Beziehung und zeigt Wirkungen auf Menschen auf (UNEP, 2002).

DPSIR ergibt sich als Aneinanderreihung von Abkürzungen von im englischen gebräuchlichen Begriffen. D steht für Driving force, P für Pressures, S für State, I für Impact und R für Response. Es gibt für diese Begriffe keine einheitliche deutsche Übersetzung. In der folgenden Tabelle sind deutsche Begriffe angeführt, auf die wir im Folgenden immer wieder zurückgreifen werden.

englisch	deutsch	Erklärung
Driving force	Antriebskraft	Treibende Kräfte von Veränderungen, die auf menschliche Aktivitäten zurückzuführen sind; sie wirken indirekt über Belastungen auf Systeme ein und können demographischer, ökonomischer, sozialer, politischer, wissenschaftlicher, technologischer, kultureller oder spiritueller Natur sein (z.B. Nachfrage nach Energie, Wirtschaftswachstum, Nachfrage nach Ernährung und Behausung, Bevölkerungswachstum).
Pressure	Belastung	Dies sind Belastungen und Stressmomente, die auf die Systeme wirken und sich in veränderten Umweltbedingungen manifestieren (z.B. Treibhausgasemissionen, Altlasten, Lärm).
State	Zustand	Quantitativer und qualitativer Zustand der Systeme (z.B. Wasserqualität eines Sees, globale Durchschnittstemperatur, Anzahl der Arten in einem Wald).
Impact	Wirkung	Spezifische Wirkung der Belastung auf die Funktionen von Ökosystemen und damit auf die Menschen und deren Lebensqualität (z.B. Gesundheit, Aussterben von Arten, Eutrophierung).
Response	Reaktion	Politische und gesellschaftliche Reaktionen (z.B. Steuern, Gesetze, Abwanderung); diese können darin bestehen, die Antriebskräfte und Belastungen zu reduzieren oder in einer Anpassung an den veränderten Zustand und dessen Wirkungen.

Tab. 1 Der DPSIR Ansatz

Abbildung 1 zeigt als einfaches Beispiel die Zusammenhänge anhand der Wasserqualität eines Flusses, das die einzelnen Begriffe und Zusammenhänge erklärt.

Ausgangspunkt ist der Zustand (Zustand), also die (schlechte) Wasserqualität eines Flusses. Woher kommt diese? Sie entsteht aufgrund der Belastung des Flusses mit Gemeindeabwässern (Belastung), die wiederum aufgrund von vermehrtem Bevölkerungswachstum in Gemeinden (Antriebskraft) flussaufwärts zugenommen hat. Die schlechte Wasserqualität hat Auswirkungen auf die menschliche Gesundheit und auf Funktionen des Flusses, wie der Möglichkeit zur Erholung (Wirkungen). Reaktionen können verschiedener Art sein und damit auch auf verschiedene Elemente des Kreislaufes einwirken. Abwässer werden z.B. durch den Bau von Kläranlagen nicht mehr oder nur zum Teil in den Fluss eingeleitet. Maßnahmen, die am Ende der Kette gesetzt werden, wie die Verwendung von Trinkwasser in Flaschen, ist eine sogenannte end-of-pipe Maßnahme. Sie behebt das Problem nicht bei der Ursache (den Antriebskräfte oder den Belastungen) sondern bei der Auswirkung. Prinzipiell ist es besser, Probleme an der Wurzel zu beheben, da es dann gar nicht zu negativen Wirkungen kommt und mit der Behebung der Ursache manchmal mehrere Probleme gleichzeitig gelöst werden können. Allerdings kann eine Ursachenbehebung (Beschränken von Bevölkerungswachstum) wiederum andere negative Wirkungen haben (Mangel an Arbeitskräften). Anhand dieses Beispiels kann man sehr gut erkennen, dass es zur Lösung eines Problems wichtig ist, es im Gesamtzusammenhang zu sehen und zu überlegen, an welcher Stelle man eingreift, um möglichst erwünschte Wirkungen zu haben.



Abb. 1 Der DPSIR Ansatz am Beispiel der Wasserqualität eines Flusses; graue Pfeile: mögliche Reaktionen; weisse Pfeile: vereinfachte Wirkungskette

Der DPSIR Ansatz stellt eine starke Vereinfachung der Vorgänge in Systemen dar und wird daher auch immer wieder kritisiert. Er bietet EINE Möglichkeit neben vielen anderen, Probleme in Systemen zu beschreiben. Da er die Wechselwirkungen zwischen natürlichen Systemen und sozioökonomischen Systemen abbildet und damit auch aufzeigen kann, wo Maßnahmen erwünscht und notwendig sind, ist er als Darstellungsmöglichkeit für dieses SERI Background Paper gut geeignet. Allerdings ist es wichtig, sich dabei bewusst zu sein, dass er nicht die ganze Komplexität der Zusammenhänge abbilden kann und damit auch nicht als einziges Modell zur Problemlösung herangezogen werden soll.

Nach diesem Ausflug in die doch etwas abstrakte Welt der Systeme und ihrer Theorien, werden im nächsten Abschnitt konkrete Beispiele für komplexe Systeme und deren Vernetzungen gegeben.

## **Man kann nicht ohne Folgen eingreifen**

Im ersten Teil haben wir gesehen, was ein System ist und welche Eigenschaften das System Erde aufweist. Im Folgenden soll anhand von drei Beispielen genauer auf bestehende Zusammenhänge eingegangen werden. Die Beispiele zeigen, dass es aufgrund der bestehenden komplexen Zusammenhänge unmöglich ist, ohne weitreichende Konsequenzen in das Mensch-Natur-System einzugreifen.

Als erstes Beispiel nehmen wir den Klimawandel. Das Klimasystem der Erde ist durch seine weltumspannenden Einflussfaktoren und Auswirkungen ein besonderes Beispiel für Komplexität. Als zweites Beispiel beschäftigen wir uns mit dem Thema Gentechnik. Drittens zeigen wir auf, welche weitreichenden Auswirkungen ein kleiner, menschlicher Eingriff in das Ökosystem Viktoriasee hatte.

### **Klimawandel**

Das in Bezug auf komplexe Zusammenhänge und ungewisse Auswirkungen wohl am breitesten diskutierte Thema unserer Zeit ist der Klimawandel. Er gilt als das mit Abstand wichtigste Umweltproblem der Zukunft (UNEP 1999, S. 334). Fast täglich gibt es diesbezügliche Zeitungsartikel. Gibt es einen Klimawandel oder sind die beobachtbaren Phänomene, wie Temperaturanstieg und extreme Wetterereignisse nur ganz natürliche Schwankungen? Wird der Klimawandel durch den Menschen verursacht? Reichen die im Kyoto-Protokoll festgelegten Ziele, um die Auswirkungen in erträglichem Maß zu halten? Macht es überhaupt Sinn, auf die dort vereinbarten Ziele hinzuwirken, wenn doch wesentliche Länder nicht mitmachen und die bevölkerungsreichen Staaten in Bezug auf ihre CO<sub>2</sub>-Emissionen gerade im Aufholen begriffen sind?

Um den Systemcharakter des Klimas aufzuzeigen, soll hier ein kurzer Überblick über einige der wichtigsten Punkte gegeben werden<sup>2</sup>.

#### *Was sind die Belastungen und dahinter stehenden Antriebskräfte, die zum Klimawandel führen?*

Das wichtigste klimarelevante Gas ist Kohlendioxid (CO<sub>2</sub>). Es ist seit Jahrmillionen Bestandteil der Atmosphäre und ein an sich ungefährlicher Stoff. Mehr noch: erst durch seine Wirkung als Wärmespeicher in der Atmosphäre konnte sich das Leben in seiner heutigen Vielfalt auf der Erde entwickeln. Die kurzwellige Strahlung, die von der Sonne kommt, geht durch dieses Gas in der Atmosphäre ungehindert durch, während die langwellige Wärmestrahlung, die von der Erdoberfläche zurück gestrahlt wird, von CO<sub>2</sub> absorbiert wird. Dadurch bleibt ein Teil dieser Wärme der Erde erhalten und die Erdtemperatur beträgt im Mittel +15°C statt -18°C (ohne CO<sub>2</sub>). Diesen Mechanismus nennt man Treibhauseffekt, der für die Entfaltung des Lebens auf der Erde unabdingbar war und ist. In den letzten Jahrzehnten ist der CO<sub>2</sub>-Gehalt der Atmosphäre allerdings kontinuierlich angestiegen. Die stärkste treibende Kraft dahinter ist das Verbrennen enormer Mengen fossiler Energieträger wie Kohle, Erdgas und Erdöl. Dadurch setzte der Mensch in den letzten Jahrzehnten Unmengen an CO<sub>2</sub> in die Atmosphäre frei, die zuvor fest gebunden unter der Erde lagen. Auch das Abholzen großer Wälder trägt zum Anstieg der CO<sub>2</sub>-Konzentration bei –

---

<sup>2</sup> Für eine tiefergehende Diskussion der Problematik „Klimawandel“ siehe z.B. Kromp-Kolb (2005), Latif (2007)

dabei wird der im Holz gespeicherte Kohlenstoff frei, wenn das Holz verbrannt wird oder verrottet.

Weitere (menschengemachte) Ursachen sind mit anderen Treibhausgasen verbunden.  $\text{CO}_2$  ist zwar das wichtigste, aber nicht das einzige Treibhausgas. Methan hat einen noch viel stärkeren Treibhauseffekt als  $\text{CO}_2$  und wird durch Viehzucht, Reisanbau und über Mülldeponien in die Atmosphäre emittiert. Der Verbrauch von fossiler Energie, die stärkere Abholzung von Wäldern, Viehzucht (angekurbelt durch erhöhten Fleischkonsum) und Reisanbau steigen mit steigendem Wirtschaftswachstum, dem verstärkten Handel, durch die Globalisierung, einer auf fossile Energieträger fokussierten Energiepolitik und nicht nachhaltigen Lebensstilen. Diese können also als primäre Antriebskräfte hinter dem Anstieg von Treibhausgaskonzentrationen gesehen werden.

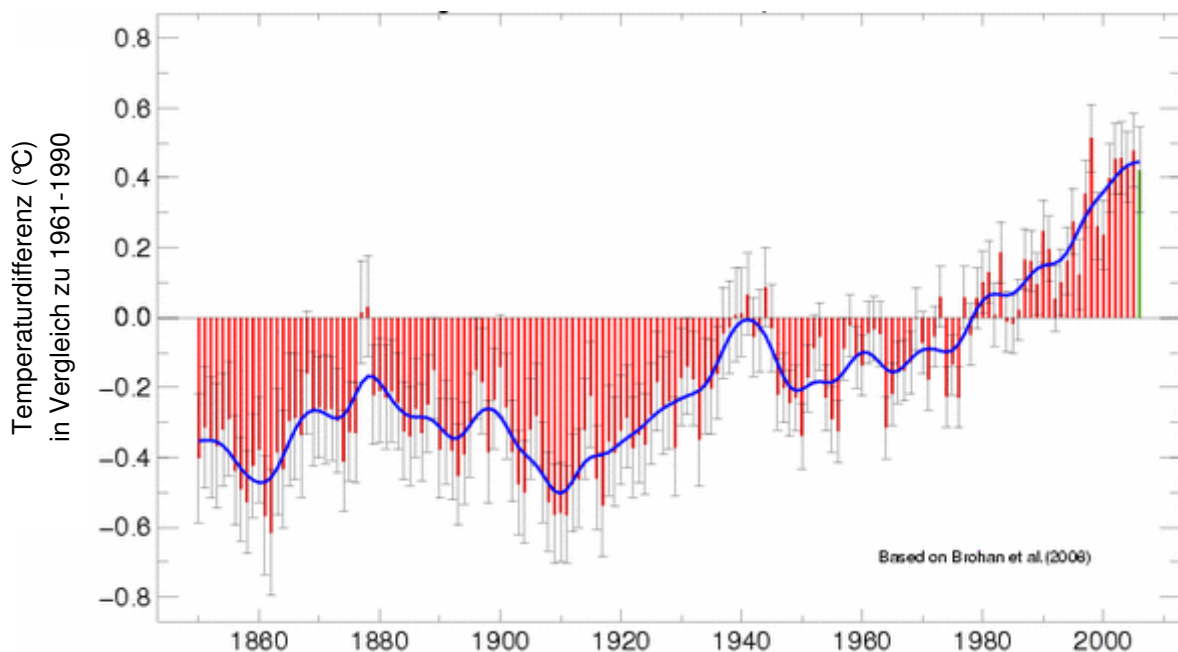


Abb. 2 Globale Oberflächen-Durchschnittstemperatur 1850-2006. Bildquelle: Met Office, Hadley Centre for Climate Change and CRU, University of East Anglia.

Durch die Anreicherung von  $\text{CO}_2$  und anderen Gasen in der Atmosphäre wird der Treibhauseffekt verstärkt und die durchschnittliche Erdtemperatur steigt (Zustand, s. Abb. 2). Wissenschaftler haben verschiedene Szenarien erstellt, in denen sie zeigen, wie sich die  $\text{CO}_2$ -Konzentration und die durchschnittliche Erdtemperatur entwickeln könnten. Das Intergovernmental Panel for Climate Change (IPCC), ein internationales Gremium von Wissenschaftlern und Wissenschaftlerinnen, die in regelmäßigen Intervallen alle Aspekte der Klimaproblematik evaluieren und an die Regierungen der Welt berichten, gibt für seine Szenarien einen Temperaturanstieg von 1,8 - 4,0°C bis 2100 an (Basis 1980-1999, Bandbreite: 1,1 - 6,4°C, IPCC, 2007).

Klimaänderungen hat es seit jeher gegeben. Neu ist allerdings, dass die jetzt stattfindende Klimaveränderung durch zunehmende Treibgaskonzentrationen verursacht ist, die durch Aktivitäten des Menschen so hoch sind (Antriebskräfte), wie noch nie in der jüngsten Erdgeschichte. Außerdem ist die Geschwindigkeit, mit der diese durch den Mensch verursachten Änderungen passieren, ungewöhnlich hoch.

Der vom Menschen verursachte Klimawandel ist also ein weithin anerkannter Zustand. Was aber ist so schlimm daran? Gerade in Mitteleuropa denkt sich so mancher, dass weniger kalte Winter

und warme Sommer doch gar nicht so unangenehm wären. Doch der Klimawandel ist ein sehr gutes Beispiel für die sehr komplexen Zusammenhänge zwischen Atmosphäre, Biosphäre und Ozeanen sowie zwischen diesen und den sozioökonomischen Systemen. Es bleibt nicht alleine bei einem Anstieg der Temperatur. Bei näherer Betrachtung zeigt sich sehr schnell, dass man sich besseres Wetter nicht einfach durch erhöhten CO<sub>2</sub>-Ausstoß „bestellen“ kann. Die Auswirkungen des Klimawandels sind mannigfaltig, viele von ihnen nicht vorauszusehen, und es ist noch lange nicht gesagt, ob es „Gewinner“ des Klimawandels geben wird und wenn ja, wer das sein wird.

Die Zusammenhänge wurden erst in den letzten Jahrzehnten erforscht. Auch wenn uns vieles inzwischen sehr bekannt vorkommt, sind dies jedoch zum Großteil relativ neue Erkenntnisse. Weil das Klimasystem sehr komplex und immer noch mit vielen Unsicherheiten verbunden ist, können wir sicherlich nicht ausschließen, dass noch weitere Wirkungen, an die wir heute noch gar nicht denken, auftreten werden.

### *Was also bewirkt ein Temperaturanstieg?*

Beginnen wir beim bereits beobachtbaren Anstieg des Meeresspiegels. Dieser wird in erster Linie durch die Ausdehnung des Wassers verursacht. Wasser hat bei 4°C seine höchste Dichte – bei dieser Temperatur kann man also am meisten Wasser in einem bestimmten Raum unterbringen. Steigt die Wassertemperatur, dehnt sich das Wasser aus und braucht mehr Platz. Ein volles Glas würde übergehen, die Meere breiten sich auf bisherige Landflächen aus. Der Meeresspiegel ist über die letzten 6.000 Jahre um maximal 1 mm – meist jedoch weniger – pro Jahr gestiegen, das zeigen geologische Daten. Im 20. Jahrhundert jedoch begann der Meeresspiegel stärker zu steigen: 1 - 2 mm jedes Jahr (Latif, 2007). Für jeden Zentimeter, den das Meer ansteigt, geht durchschnittlich etwa ein Meter an Küstenland an das Meer verloren – beim jetzigen Tempo des Anstiegs muss man also alle 5-10 Jahre mit dem Verlust von 1m rechnen.

Die IPCC-Modellberechnungen gehen von einem Anstieg des Meeresspiegels um 18 - 59 cm bis 2100 aus (IPCC, 2007). Im Extremfall kann dieser aber deutlich darüber liegen. Besonders betroffen sind vor allem flache Küstengebiete. Abbildung 3 zeigt die Auswirkungen eines Meeresspiegelanstiegs von 1,5 m auf Bangladesch. 22.000 km<sup>2</sup> des Landes wären betroffen und 17 Millionen Menschen würden ihre Heimat verlieren. Die in den betroffenen Gebieten lebende Bevölkerung müsste auswandern oder durch technisch höchst aufwändige Vorrichtungen vor dem Meer geschützt werden. Ebenso betroffen wären die durch Tourismus und Häfen ökonomisch wichtigen Küstenregionen. Süßwasservorräte würden schwinden, weil Salzwasser in die Grundwasservorkommen eindringen würde, einzelne Tiere und Pflanzen, aber auch ganze Lebensgemeinschaften aussterben. Diese Liste ist nur ein Teil der möglichen Auswirkungen, zeigt aber bereits, wie vielfältig die Wirkungen von Belastungen sein können, und dass es die Menschen ebenso trifft wie Tiere und Pflanzen, auch wenn diese gerne und oft denken, der Natur überlegen zu sein.

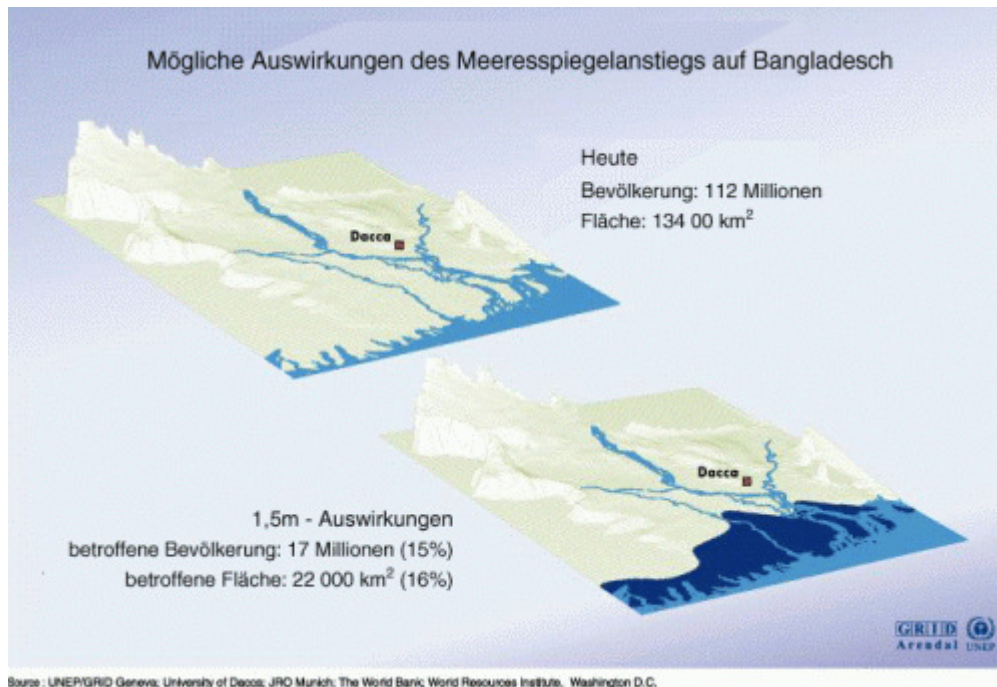


Abb. 3 Mögliche Auswirkungen eines Meeresspiegelanstiegs von 1,5 m auf Bangladesch. Quelle: UNEP/GRID Genova, University of Dacca, JRO Munich, The World Bank, World Resources Institute, Washington D.C.

Einen weiteren wesentlichen Beitrag zum Anstieg des Meeresspiegels (Zustand) liefert das Abschmelzen der polaren Eisschilde, was ebenfalls auf den Temperaturanstieg zurückzuführen ist. Eine Vorstellung von den Dimensionen geben folgende Zahlen: Das Abschmelzen des Grönlandeises würde zu einem Anstieg um drei bis sechs Meter führen, jenes des westantarktischen Eisschildes um weitere drei Meter (Kromp-Kolb 2005).

In Bezug auf ein mögliches Abschmelzen der Gletscher zeigt sich nochmals deutlich die Komplexität des Klimawandels – denn der Anstieg des Meeresspiegels ist bei weitem nicht die einzige Folge. Die weißen Gletscherflächen reflektieren einen großen Teil der einstrahlenden Sonnenenergie in den Weltraum. Die Wärme geht damit verloren. Mit einem Rückgang der Gletscher würde auch die Reflexion von Sonnenenergie in den Weltraum abnehmen und die Absorption von Sonnenstrahlung zunehmen. Die Energie bliebe demnach dem Energiesystem der Erde erhalten – ein weiterer Beitrag für die Klimaerwärmung und eine starke positive Rückkoppelung. Selbst ausprobieren kann man den Effekt, wenn man sich an einem strahlenden Sommertag mit einem dunklen T-Shirt (vgl. Wasser, Erde) in die Sonne setzt. Dunkle Flächen absorbieren das Sonnenlicht. Man wird also weit stärker unter der Sonne leiden, als wenn man sich hell (vgl. Schnee, Gletscher) kleidet.

Ein ähnlicher Effekt ist auch zu erwarten, wenn weite Teile von jetzigen Landflächen überflutet werden – auch das ändert die Rückstrahlung von Energie in den Weltraum.

Neben den bisher beschriebenen Effekten des Klimawandels werden durch einen Anstieg der durchschnittlichen Erdtemperatur das Muster und das Ausmaß der Niederschläge verändert. Hier sind die Änderungen sehr schwer vorherzusagen. Im 20. Jahrhundert wurden Änderungen beobachtet. Im 20. Jahrhundert gab es eine Zunahme der Niederschlagsmenge in den höheren Breiten (z.B. im Norden von Norwegen, Schweden und Kanada) und eine Abnahme in den Tropen

(vor allem südlich der Sahara) (Kromp-Kolb, 2005). Durch einen Temperaturanstieg ändert sich die Aufnahmefähigkeit der Luft von Wasserdampf, der Wasserkreislauf wird beschleunigt. Man kann allerdings nicht allgemein sagen, dass es mehr regnen wird, sondern die Auswirkungen können regional sehr verschieden sein: in manchen Regionen wird es mehr regnen, in anderen wird es trockener werden (leicht anzunehmen, dass das dort sein wird, wo es ohnehin schon wenig regnet). Dazu sagen Meteorologen eine Zunahme von Extremereignissen (Dürren, Überschwemmungen, Hurricans, etc.) voraus.

Eine weitere Auswirkung ist die Änderung der weltweiten Meereszirkulation. Diese ist abhängig von Temperatur und Salzgehalt der Meere, der sich bei stärkerer Verdunstung ebenfalls ändert. Mögliche Folge ist ein Abflauen oder sogar ein Zusammenbruch des Golfstroms. Das würde, im Gegensatz zu einer weltweiten Erwärmung, in Europa zu einer extremen Abkühlung führen. Denn der Golfstrom bringt uns die warme Luft aus südlicheren Breiten<sup>3</sup>.

Ein Beispiel für einen positiven, das heißt, selbstverstärkenden Rückkoppelungseffekt ist der Zusammenhang zwischen Temperaturerhöhung und CO<sub>2</sub>-Bindung in den Ozeanen (Richardson, 2005). Hat man früher angenommen, dass höhere Temperaturen eine höhere Photosyntheserate (CO<sub>2</sub>-Aufnahme aus der Luft) bedeuten, zeigen neuere Erkenntnisse, dass das nicht der Fall ist. Im Gegenteil: die biologische Aktivität nimmt ab, außerdem wird durch höhere Wassertemperaturen mehr CO<sub>2</sub> aus den Meeren abgegeben.

Durch veränderte Temperaturen ändert sich der Lebensraum für alle Lebewesen. Man kann allerdings nicht davon ausgehen, dass Tiere und Pflanzen durch „Mitwandern“ einfach ihre Lebensräume verändern werden. Denn auch die anderen Faktoren müssen stimmen – es hilft nicht, die richtigen Temperaturen zu haben, wenn dafür die Futterpflanzen, an die Tiere angepasst sind, nicht mehr vorhanden sind, oder wenn der Samen von Pflanzen zwar in die richtige Temperaturzone fliegt, dort aber nicht auf die richtigen Böden trifft bzw. die richtigen Bestäuber nicht vorhanden sind. Einige Tiere und Pflanzenarten werden auf Grund des Klimawandels aussterben. Und neue – auch unerwünschte – Lebewesen wie z.B. Krankheitserreger – werden in Gebiete vordringen, die zuvor nicht die richtigen Bedingungen geboten haben. Schätzungen gehen davon aus, dass 24% der Arten bei einem moderaten Anstieg der Temperatur bis 2050 aussterben (Spangenberg, 2007).

Eine weitere Rückkoppelung im Klimasystem wird durch die Erwärmung in nördlichen Breiten von Bedeutung sein. Diese sind u.a. durch einen hohen Anteil von Permafrostböden gekennzeichnet, in welchen Methanhydrat in größeren Mengen vorkommt, wie auch am Boden von Ozeanen. Methanhydrat ist Methan, das in gefrorenes Wasser eingeschlossen ist. Wie oben erwähnt, ist Methan ein noch viel stärkeres Treibhausgas als CO<sub>2</sub>. In ihm liegt eine weitere Gefahr für das Klima. Denn tauen die Permafrostböden in Zuge der Klimaerwärmung auf, kann das Methan schlagartig freigesetzt werden und dann zu einer weiteren Erwärmung führen. Dieses Beispiel zeigt, wie die Überschreitung eines (noch unbekanntes) Grenzwertes eine abrupte Änderung hervorrufen kann. Es zeigt auch die Wirkung einer positiven Rückkoppelung.

Wenn man über Klimawandel nachdenkt, sollte man immer im Kopf haben, dass die Zusammenhänge zwischen den einzelnen Faktoren sehr komplex und vielfältig sind. Ebenso bringt der Klimawandel sehr unterschiedliche Folgen mit sich. Nicht überall sind die Empfindlichkeit (Sensibilität) und die Anpassungsfähigkeit des Systems Erde und der Menschen gleich groß. Die

---

<sup>3</sup> Für eine genauere Diskussion dieser Punkte siehe Richardson (2005) und Kromp-Kolb (2005).

Diskussion ist also mit vielen Fragezeichen versehen, nichtsdestotrotz sollten wir die Warnungen aufnehmen, uns vermehrt mit diesem komplexen System beschäftigen und versuchen, das dynamische Gleichgewicht nicht durch unbedachte Aktivitäten aus dem Lot zu bringen.

Die Antworten und Reaktionen auf den Klimawandel kann man in zwei Gruppen einteilen: Reduktion des Treibhauseffektes durch verminderten Emissionen von Treibhausgasen und Anpassung der Lebewesen an den Klimawandel. Ersteres wird z.B. durch den Umstieg auf erneuerbare Energieträger erreicht, durch erhöhte Energieeffizienz und Energiesparen, durch einen Umstieg vom Auto auf öffentliche Verkehrsmittel und Fahrräder, durch Vermeidung von Verkehr durch raumplanerische Maßnahmen und vieles mehr. Dazu bedarf es einer geeigneten Energiepolitik, der Aufklärung der Bevölkerung und eines Bewusstseinswandels<sup>4</sup>. Eine Anpassung erfolgt bei Tieren und Pflanzen durch Abwanderung oder langfristig auch durch Mutationen. Menschen können auch abwandern oder Klimalanlagen einbauen (was aber den Treibhauseffekt noch weiter vorantreibt), sie können Häuser nicht in Überschwemmungsgebiete bauen oder sie können sich an die Hitze durch neue Verhaltensweisen (Siesta, mehr trinken) und auch physiologisch anpassen. Generell ist eine Anpassung für die Reichen auf dieser Erde wesentlich leichter als für Menschen in Entwicklungsländern, da viele Maßnahmen mit finanziellen Möglichkeiten aber auch Know-How, das oft auf Industrieländer beschränkt ist, einhergehen.

### **Grüne Gentechnik – gentechnisch veränderte Organismen (GVOs)**

Beim Thema Gentechnik erhitzen sich leicht die Gemüter. Während Gentechnik in ihrer medizinischen Anwendung eher positiv gesehen wird, sind gentechnisch veränderte Lebensmittel in manchen Regionen ins Kreuzfeuer der Kritik geraten. Gerade in Europa ist die Mehrheit der Bevölkerung gegen den Einsatz von Gentechnik bei Nahrungsmitteln<sup>5</sup>.

Was ist überhaupt möglich mit Gentechnik? Was ist der Vorteil von gentechnisch veränderten Pflanzen und Tieren? Gene sind die Erbsubstanz alles Lebens – in ihnen ist die Information darüber gespeichert, wie ein Organismus aufgebaut ist und wie er funktioniert. Bei geschlechtlicher Fortpflanzung werden die Gene der Eltern durchmischt, die Nachkommen enthalten von beiden Eltern jeweils einen Teil der Gene. Dadurch können auch neue Eigenschaften entstehen. Menschen haben bei ihren Nutztieren und -pflanzen diesen Umstand seit jeher ausgenutzt und versucht, jeweils die Exemplare (sei es nun Pflanze oder Tier) zu kreuzen, die für sie günstige Eigenschaften haben: das konnte ein hoher Milchertrag bei Kühen, ein großer Fleischanteil bei Schweinen, Hitzetoleranz bei Pflanzen oder ähnliches sein. So entstanden unsere heutigen Haustiere und Kulturpflanzen.

Gentechnik macht im Prinzip etwas Ähnliches. Mit ihrer Hilfe werden Gene, die in einem Organismus vorkommen und für eine gewünschte Eigenschaft stehen, auf die Erbsubstanz anderer Pflanzen oder Tiere transferiert. Daraus entstehen sogenannte „gentechnisch veränderte Organismen“ (GVO), die gewünschte Merkmale aufweisen. Bei der konventionellen Züchtung dauert es oft lange, bis die gewünschte Eigenschaft weitergegeben und der gewünschte Erfolg erzielt werden kann. Die Entwicklung zu unseren Haustierarten dauerte Tausende Jahre und beinhaltete viele Zwischenschritte. Die Gentechnik kann dahingegen gezielt Bereiche der einen

---

<sup>4</sup> Zum Thema Energienutzung siehe auch Wagner (2007). Einen guten Überblick über internationale Energieproblematik und -politik gibt Müller-Kraenner (2007).

<sup>5</sup> Ein Kurzbericht zu einem entsprechenden Forschungsprojekt unter Beteiligung der Österreichischen Akademie der Wissenschaften findet sich unter: [http://www.oew.ac.at/shared/news/1997/europa\\_gentechn\\_d.html](http://www.oew.ac.at/shared/news/1997/europa_gentechn_d.html)

Erbsubstanz ausschneiden und in eine andere einbauen. Das spart Aufwand und Zeit.

Mit Gentechnik ist vieles möglich, wovon man früher nur träumen konnte und die Befürworter haben natürlich einige Argumente parat, die Gentechnik als ein Wundermittel gegen viele Probleme der heutigen Menschheit erscheinen lassen: Angesichts der stetig wachsenden globalen Bevölkerung (Antriebskraft) sind Ertragssteigerungen von Kulturpflanzen natürlich sehr wünschenswert (um die Belastung des Hungers zu verringern). Der Klimawandel (weitere Belastung) wird es wahrscheinlich auch notwendig machen, einerseits hitze- und trockenheitsresistente, andererseits feuchtigkeitstolerante Pflanzen zur Verfügung zu haben. Der chronischen Fehlernährung breiter Bevölkerungsschichten durch einseitige Ernährung aufgrund Nahrungsmittelknappheit ließe sich durch „functional food“ gut gegensteuern – es würden die notwendigen Vitamine, Mineralstoffe, etc. einfach in das Hauptnahrungsmittel (z.B. Provitamin A in Reis) eingekreuzt. Weitere mögliche Vorteile von GVO sind Medikamentenproduktion durch Nahrungsmittelpflanzen und Tiere, Rohstoffproduktion, Schädlingsresistenz und vieles mehr.

Ein besonders für ökologisch orientierte Menschen positives Argument ist der reduzierte Einsatz von Pflanzenschutzmitteln, da ja die Schädlingsresistenz direkt in die Pflanze eingebaut werden kann. Bzw. werden in Pflanzen Resistenzen gegen bestimmte Totalherbizide, das heißt Substanzen, die alle Pflanzen töten, eingebaut. Es reicht dann der beschränkte Einsatz eines einzigen Mittels, um alle „Unkräuter“ zu vernichten, und es muss nicht mehrmals mit verschiedenen Mitteln gegen diese vorgegangen werden.

Gentechnik liefert also für viele Probleme sehr angenehme Lösungen. Trockene Sommer werden häufiger (Belastung)? Wir bauen Pflanzen, die gegen Trockenheit resistent sind (Zustand)! Menschen, die sich hauptsächlich mit Reis ernähren, leiden an Vitamin A-Mangel? Wir kreieren Reissorten, die Provitamin A enthalten, das der menschliche Körper dann zu Vitamin A umbauen kann! Allerdings funktioniert das System Erde meist nicht so einfach (es gibt noch zusätzliche Wirkungen), die bei einer einfachen Betrachtungsweise oft unbeachtet bleiben. Und darauf beruhen auch die Argumente der Gentechnikgegner und -gegnerinnen.

Die Geschwindigkeit mit der nun neue Organismen entstehen können, ist ökonomisch natürlich von Vorteil und kann angesichts von rasch entstehenden Problemen auch notwendig sein, ökologisch kann sie sich aber auf unerwartete Weise negativ auswirken. Da Tiere und Pflanzen ja immer eingebettet in ein Ökosystem leben und mit vielen anderen Tieren und Pflanzen in Beziehung stehen, kann die abrupte Einführung von neuen Organismen (Belastung) das ganze System ins Wanken bringen. Die natürliche, langsame gegenseitige Anpassung (Koevolution) fällt weg. Dadurch können Organismen entstehen (Zustand), die natürlich vorkommende Pflanzen und Tiere gefährden, sei es aktiv durch Giftstoffe oder passiv durch besseren Fortpflanzungserfolg (Wirkung). Ob das passiert ist schwer vorauszusehen, da die Wechselwirkungen nie wirklich 100%ig erforscht sind und man nicht alle Auswirkungen voraussehen kann.

Dasselbe Problem stellt sich auch auf Ebene der GVO. Der Einbau von fremden Genen in die Erbsubstanz ist oft nicht so ganz gezielt möglich bzw. wäre ein gezielter Einbau mit einem enormen Aufwand verbunden. Dadurch können weder der genaue Ort, wo das Gen in die Pflanze eingebaut wird, noch die Wechselwirkungen mit anderen Genen gezielt gesteuert werden. Wird die neu entstandene Erbsubstanz dann „gelesen“ und in den entsprechenden Baustein umgesetzt, kann eine neue, unerwünschte Substanz entstehen, deren Eigenschaften und Verhalten durch nichts vorhersehbar ist. Vielleicht ist sie an sich giftig, vielleicht verbindet sie sich mit einer anderen Substanz, die bestehende Prozesse stört oder ungewollt fördert, oder sie ist hoch allergen.

Natürlich werden Tests durchgeführt, um diese Risiken gering zu halten. Aber man kann nur finden, wonach man sucht. Neue Substanzen können so leicht unerkant bleiben und Folgen mit sich bringen, die man später leidvoll erfahren muss.

Der großflächige Anbau von gentechnisch veränderten Pflanzen in Nordamerika und Argentinien gibt bereits einen Eindruck davon, welche Auswirkungen der Einsatz von GVO haben kann. Die Analysen von Befürwortern und Gegnern stehen sich oft diametral gegenüber und als Laie ist es sehr schwer zu entscheiden, wer nun recht hat. (s. Box Pro und Contra Grüne Gentechnik – ein Beispiel).

Die Ausbringung von gentechnisch veränderten Pflanzen ist nicht mehr rückgängig zu machen, ist also irreversibel, da sich die Samen und Pollen meist über große Strecken ausbreiten. Die Gefahr von „Auswilderung“ und von „Auskreuzung“ besteht. Während im ersten Fall gentechnisch veränderte Pflanzen außerhalb der eigentlichen Anbauflächen wachsen und sich vermehren, kommt es im zweiten Fall auch zu einer Kreuzung mit verwandten nicht gentechnisch veränderten Organismen. Dabei gibt es natürlich eine gewisse Wahrscheinlichkeit, dass auch die Wildpflanzen das entsprechende Gen erwerben. So kann z.B. durch die unten angesprochene Terminator-Technologie die Fortpflanzungsfähigkeit von Wildpflanzen eingeschränkt werden. Jedenfalls ändern sich dadurch die Eigenschaften der entsprechenden Wildpflanze und damit ihre Stellung im Ökosystem. Wie oben besprochen, ist es nicht möglich, einen Teil eines Systems zu ändern, ohne dass dies Auswirkungen auf die anderen Teile des Systems hat. Eine Wildpflanze mit geänderten Eigenschaften würde daher wahrscheinlich Auswirkungen auf ihr Ökosystem haben.

In einer möglichen Auswilderung von gentechnisch veränderten Pflanzen liegt eine weitere – auch ökonomisch sehr relevante – Gefahr von GVO. Der ökologische Landbau hat in den letzten Jahrzehnten weiter Verbreitung gefunden. Viele Menschen vertrauen ökologisch produzierten Lebensmitteln mehr als konventionell hergestellten. Die biologische Landwirtschaft ist daher vor allem in Ländern Europas zu einem wesentlichen Wirtschaftsfaktor geworden. Studien zeigen jedoch, dass ein Nebeneinander von „gentechnik-freier“ und „gentechnik-einsetzender“ Landwirtschaft – wenn überhaupt – nur durch aufwändige Maßnahmen für z.B. die Einrichtung von Puffer-Regionen, die Schaffung von Pollenbarrieren, die Bekämpfung von Durchwuchs und die Überwachung bei allen Produktionsschritten gesichert werden kann (Reaktion). Diese würden voraussichtlich teilweise hohe Kosten verursachen. Wer diese tragen muss, ist nicht geklärt, ebenso wenig wie die Frage der Risikohaftung bei eventuell auftretenden Schäden. Denn wenn ökologisch angebaute, gentechnik-freie Pflanzen durch gentechnisch veränderte Pflanzen verunreinigt werden, dann können diese nicht mehr als „aus biologischer Landwirtschaft“ verkauft werden. Und es ist noch nicht geklärt, wer dann für die wirtschaftlichen Ausfälle des Bioproduzenten haftet. Dieses Beispiel zeigt unerwünschte Wechselwirkungen zwischen zwei benachbarten Systemen.

Während diese beiden wirtschaftlich relevanten Fragen die Bezahlung von Folgen des Einsatzes von GVO betrifft, sind GVO an sich ein wesentlicher Wirtschaftsfaktor. Da die Herstellung von GVO und die begleitende Forschung mit großen Kosten für die betreffenden Firmen verbunden sind, wünschen sich diese natürlich eine rasche Amortisation ihrer Ausgaben (Antriebskraft). Patentierungen und der Einsatz von Terminator-Technologien sind geeignete Mittel, um das zu gewährleisten. Terminator-Technologien verhindern, dass die Samen von gentechnisch veränderten Pflanzen nochmals ausgesät werden können (Belastung). Die Bauern werden dadurch abhängig

### **Box: Pro und Contra Grüne Gentechnik- Ein Beispiel**

Der Streit zwischen Gentechnik-Befürwortern und -Gegnern wird hart geführt. Welche Interessen hinter den jeweiligen Argumenten stehen, ist kaum zu eruieren bzw. wenn sie genannt werden, werden sie von der jeweiligen Gruppe entschieden abgewiesen. Gentechnik-Befürwortern wird oft vorgeworfen, nur ihre wirtschaftlichen Vorteile im Auge zu haben, während Gentechnik-Gegner oft als Modernisierungs-verweigerer dargestellt werden. Argument wird gegen Argument ausgespielt und die dahinterliegenden Untersuchungen sind in ihrer Menge von interessierten Teilen der Bevölkerung weder zu bewältigen noch sachgemäß zu bewerten. Kaum jemand schafft es, diesen Sumpf der Argumente zu durchschauen.

Als Beispiel für ein solches Hin und Her sollen hier zwei Schriften herangezogen werden. Die American Soybean Association gab 2005 die Schrift „Fakten statt Mythen: die Wahrheit über Biotechnologie in der Landwirtschaft und Biotech-Lebensmittel“ heraus und zieht darin den Schluss, *„dass Agrobiotechnologie messbare und in jeder Hinsicht wertvolle Vorteile mit sich gebracht, sich als ein äußerst erfolgreiches Werkzeug für die Landwirtschaft etabliert hat und über das Potential verfügt, diesen Siegeszug in den kommenden Jahren noch verstärkt fortzusetzen.“* 23 „Mythen“ werden in diesem Papier „zerschlagen“ und durchwegs positive Effekte auf Landwirtschaft, Gesundheit, Pestizideinsatz, Entwicklungsländer ins Treffen geführt. Laut dieser Schrift ist es erwiesen, dass durch den Einsatz von Biotechnologie

- das Einkommen der US-Landwirtschaft erhöht, Zeit gespart und die Wettbewerbsfähigkeit erhöht wurde;
- Nettoerträge gestiegen sind, Verluste durch Unkraut und Insektenschädlinge verringert wurden;
- der Einsatz von Pestiziden reduziert werden konnte;
- Entwicklungsländer durch billigere Importmöglichkeiten aus den USA profitiert haben und gesundheitliche Risiken durch unsachgemäß gelagerte Nahrungsmitteln minimiert werden konnten;
- darüber hinaus haben laut dieses Papiers *„alle weltweit führenden wissenschaftlichen Institutionen bestätigt, dass Biotech-Lebensmittel genauso sicher – wenn nicht sicherer – sind wie mit konventionellen Methoden erzeugte Produkte.“*

Die Koordinationsstelle „Gentechnikfreie Regionen in Deutschland“ und das Ökoinstitut e.V. antwortete auf dieses und ein Papier des Raiffeisenverbandes mit einer „kritischen Betrachtung“ (Moch, o.D.), in der sie auf viele der vorgebrachten Argumente kritisch eingeht. So verweist sie darauf, dass Studien der Gentechnikfirmen (und unabhängige Studien sind laut diesem Papier oft nicht vorgegangen) nur einen kleinen Ausschnitt des Systems betrachten (z.B. Studien zur toxikologischen Effekten von GVO), dass die wissenschaftliche Literatur oft sehr widersprüchlich ist (z.B. in Hinsicht des Pestizideinsatzes bei gentechnisch verändertem Soja), und verweist auf Studien, die unter anderem belegen, dass

- GVOs zu einer weiteren Intensivierung und zu einem Strukturwandel in der Landwirtschaft führen und damit eine Abnahme der Biodiversität fördern.
- vor allem der Landwirtschaft vorgelagerte Stufen finanziell profitieren (Pflanzenzuchtunternehmen);
- Gentechnik nicht zu gezielterer Züchtung führt und auch der Zeitfaktor fraglich ist.

Der Vorwurf, dass die Argumente der Gegner „auf Informationen [basieren], die nicht nur veraltet sind, sondern auf falschen Schlussfolgerungen basieren, aus dem Zusammenhang gerissen wurden oder gar frei erfunden sind“ (ASA, 2005) wird ziemlich gleichlautend auf beiden Seiten erhoben. Zu unseren Schlussfolgerungen aus diesem Dilemma siehe weiter unten im Text.

von den Saatgutherstellern, da sie jährlich neues Saatgut kaufen müssen (Zustand). Dies kann vor allem in Entwicklungsländern zu Problemen führen – obwohl die Gentechnik nach Aussagen der Gentechnik-Befürworter ja gerade dort Vorteile bringen soll (Wirkung). Nicht zu unterschätzen ist auch hier die Gefahr einer Auskreuzung dieser Eigenschaft – was bedeuten würde, dass auch Wildpflanzen nicht mehr fortpflanzungsfähig wären.

Ein Pro-Argument, dem man kaum widerstehen kann, ist, dass Gentechnik zur Bekämpfung des Hungers eingesetzt werden kann. Die Kapazitäten zur Nahrungsmittelproduktion können durch Gentechnik gesteigert werden, indem ertragreichere Sorten hergestellt werden oder Sorten, die auch widrigen Wuchsbedingungen standhalten. Demgegenüber wird aber argumentiert, dass die Nahrungsmittelproduktion durch konventionelle Methoden durchaus ausreichend wäre<sup>6</sup>. Die Gründe für Hunger und Mangelernährung liegen aus Sicht vieler Gentechnikgegner und -gegnerinnen woanders. Es sind eher Missmanagement vor Ort oder Verteilungsungerechtigkeiten im Welthandel etwa durch Agrar-Exportsubventionen, die jene Länder bevorzugen, die ohnehin genug haben. Oder aber unzureichende Hygiene mit Durchfallerkrankungen als Folge, wodurch der Körper notwendige Stoffe nicht mehr ausreichend aufnehmen kann. Gentechnik Gegner plädieren also dafür, diese Probleme in Angriff zu nehmen und zweifeln daran, dass der Einsatz von Gentechnik wirklich eine bessere Versorgung der globalen Bevölkerung gewährleisten kann.

Beide, Befürworter und Gegner des Einsatzes von Gentechnik in der Lebensmittelproduktion, liefern Argumente, die man auf der Suche nach einer gerechten Welt gerne unterschreiben möchte. Es ist nicht nur die Angst vor Neuem, die Gentechnik-Gegner zu ihrer Meinung veranlasst. Die Erfahrung hat vielmehr gezeigt, dass Eingriffe in die Natur negative Auswirkungen haben können, die nicht vorherzusehen waren und dass gut gemeinte Ideen oft ins Gegenteil umschlagen, weil man ein kleines (oder auch großes) Rädchen im System übersehen hat. Der Einsatz von Gentechnik zur Lebensmittelproduktion ist kein Thema, das so einfach und gradlinig zu beantworten ist, wie oft dargestellt. Da es jeden einzelnen betrifft und nicht losgelöst von anderen Problemen unserer Welt zu sehen ist, sollte die Bevölkerung einerseits gut – und möglichst ausgewogen – informiert werden, und sie sollte in ihren Bedenken andererseits auch ernst genommen werden. Gentechnik zur Lebensmittelproduktion sollte kein Thema sein, über das Konzerne, Staaten oder Industriezweige über den Kopf der Bevölkerung hinweg entscheiden dürfen. Anhand des Beispiels der GVO ist es leicht zu erkennen, dass Aktivitäten, die in Systeme eingreifen, nicht genau berechnet und vorhergesagt werden können, sondern Wirkungen haben können, die sehr weitreichend sind und möglicherweise auch Schwellen überschreiten (z.B. Aussterben von Arten).

In einer Diskussion zu GVOs sollte beachtet werden, dass massive wirtschaftliche Interessen hinter der Einführung von gentechnisch veränderten Pflanzen stehen und diese Interessen in unserer Zeit großen Einfluss auf die öffentliche Meinung und Politik haben.

Die Komplexität der physiologischen, genetischen und anderer Zusammenhänge in Pflanzen, komplexe Wechselwirkungen in der Natur zwischen GVO und Wildtypen oder zwischen Futterpflanzen und Tieren/Menschen, und unterschiedlichste Auswirkungen von GVO-

---

<sup>6</sup> Jean Ziegler, UN-Sonderberichterstatter für das Recht auf Nahrung, spricht sogar von 12 Milliarden Menschen, die man mit konventionellen Mitteln ernähren kann und beruft sich dabei auf Daten der Weltorganisation FAO. (weitere Literatur zu der spannenden Diskussion von Grenzen und Möglichkeiten der Ernährung einer wachsenden Bevölkerung mit unterschiedlicher Bewertung von GVOs: *Feeding the World: A Challenge for the Twenty-First Century* von Vaclav Smil; *Feeding the Ten Billion: Plants and Population Growth* von Lloyd T. Evans; *The Doubly Green Revolution: Food for All in the 21st Century* von Gordon Conway; Kann unsere Erde die Menschen noch ernähren? von Klaus Hahlbrock)

Zulassungen auf das wirtschaftliche System lassen nur einen Schluss zu: dass nämlich im Zusammenhang mit der Einführung von GVO nichts „mit Sicherheit“ vorausgesagt werden kann. Mit dieser Unsicherheit müssen wir leben und unsere Entscheidungen dementsprechend abwägen.

## **Der Viktoriabarsch und seine Wirkungen**

In diesem Beispiel zeigen wir, welche vielfältigen und unvorhersehbaren Konsequenzen kleine menschliche Eingriffe, in diesem Fall das Aussetzen eines nicht heimischen Fisches in den Viktoriasee, auf das Öko- und das Sozialsystem einer Gegend haben kann. Die Darstellung basiert auf einem Bericht von Fuggle für die UNEP aus dem Jahr 2005.

Der Viktoriasee liegt an der Grenze zwischen Kenia, Tansania und Uganda und ist der größte See Afrikas. Er ist ungefähr so groß wie Irland. Bis ins 20. Jahrhundert hinein haben strenge soziale Regeln dafür gesorgt, dass der See nicht überfischt wurde. Die Probleme begannen, als die Bevölkerung durch bessere Verkehrsanbindung und durch bessere Erträge der Landwirtschaft zunahm und der Bedarf an proteinreichen Fischen entsprechend stieg (Antriebskraft). Durch effizientere Fischereimethoden (Treibnetze) wurden viele der heimischen Arten überfischt, vor allem solche, die Algen und absterbendes Pflanzenmaterial fraßen. Als der Fischereiertrag nachließ, begann man über Ersatz nachzudenken. 1960 wurde der Nilbarsch (*Lates niloticus*) im Viktoriasee ausgesetzt (Belastung). Dies passierte gegen den scharfen Protest zahlreicher Wissenschaftler, die fürchteten, dass der Nilbarsch das Ökosystem des Viktoriasees negativ beeinflussen könnte, da er als Raubfisch die heimischen Fische zu fressen drohte.

Die Antriebskräfte waren in diesem Fall also wirtschaftliche Ziele und die Hoffnung, dass der Viktoriabarsch (wie der Nilbarsch nach dem Einsetzen in den Viktoriasee genannt wurde) den Proteinbedarf der gewachsenen Bevölkerung decken könnte. Die Auswirkungen sind umfangreich: Der See ist inzwischen eine wahre Kloake, die heimischen Fischbestände sind beinahe ausgerottet, das soziale Gefüge der Bevölkerung ist zusammengebrochen, immer mehr Menschen hungern oder leiden an Fehlernährung, die Region hat eine der höchsten HIV/AIDS-Raten, Malaria und andere Krankheiten breiten sich wieder aus, die Wasserhyazinthe droht, große Teile des Sees zuzuwachsen, etc. Nicht alle dieser Auswirkungen sind natürlich unmittelbar auf den Viktoriabarsch zurückzuführen, aber sie stehen mit ihm in Zusammenhang.

Zu den Reaktionen gehören aufwendige und kostspielige Maßnahmen, um den See zu säubern. Auch der Film „Darwin's Nightmare“ von Hubert Sauper, der dieses Fallbeispiel mit sehr eindringlichen Bildern zeigt, kann als eine gesellschaftliche Reaktion gesehen werden, da er die Situation am Viktoriasee in das öffentliche Bewusstsein brachte und damit die Chance auf internationale Unterstützung verbesserte.

Wie konnte es aber zu den oben beschriebenen Auswirkungen kommen? Auch diese Geschichte ist ein Beispiel für sehr komplexe Zusammenhänge, die nicht nur auf die Region beschränkt sind, und natürlich ist nicht alles einfach auf das Einsetzen des Nilbarsches zurückzuführen. Doch der Reihe nach:

Der Nilbarsch ist ein sehr guter und nahrhafter Speisefisch. Er kommt in Europa, den USA, Japan und anderen reichen Ländern als „Viktoriabarsch“ auf den Markt und erfreut sich großer Beliebtheit. Insofern ist die Geschichte des Viktoriabarsches eine wahre ökonomische Erfolgsgeschichte. Als die Bestände im Viktoriasee groß genug waren, entstanden zahlreiche

Firmen, die die Fischerei kommerziell betrieben, die Fische hygienisch verpackten und in die reichen Zielländer exportierten. Investitionen aus dem Ausland erreichten die Länder des Viktoriasees, Straßen wurden gebaut, die Luftfahrtindustrie wurde angekurbelt, die Handelsbilanz aufge bessert.

Welche sozialen Auswirkungen hatte das allerdings? Die Fischer, die vorher selbständig fischten und deren Frauen die Fische am lokalen Markt verkauften, arbeiten nun zum Teil in diesen neuen Firmen. Das Einkommen reicht aber meist nicht, um den – durch den Export – sehr teuren Fisch für die eigene Ernährung zu kaufen. Mangel- und Unterernährung sind die Folge. Verschlimmert wurde diese Situation durch die Tatsache, dass sich der große Viktoriabarsch im Gegensatz zu den dort heimischen Buntbarschen nicht trocknen lässt. Da aber Kühlmöglichkeiten fehlen, ist die Konservierung für die lokale Bevölkerung schwierig. Darüber hinaus verloren die Frauen ihren direkten Zugriff auf den Fischfang, da die angesiedelten Firmen eher Männer beschäftigten. Die Bevölkerung des Viktoriasees lebt heute zum Teil von den Resten der exportierten Fische – Fiskskelette, an denen kaum Essbares hängt.

Verschlimmert wird die soziale Situation am See durch die Tatsache, dass die Region inzwischen eine der höchsten HIV und AIDS-Raten in Afrika hat – der Anteil 20-40jähriger Männer auf den Booten ist inzwischen stark gesunken. Der (traditionelle) Samstag reicht für Begräbnisse nicht mehr aus. Die Ausbreitung des Virus wird einerseits durch kulturelle Traditionen verstärkt, gegen die schwer anzukämpfen ist. Diese reichen von der vielfachen Verweigerung des Kondomgebrauchs, traditionellen Sexualpraktiken, die die Verbreitung begünstigen, bis hin zum Glauben, dass HIV/AIDS durch Tabubrüche statt durch Viren verbreitet wird. Andererseits – und durch gegenseitige Wechselwirkungen verstärkt – trägt die soziale Situation zu einer weiteren Ausbreitung bei: verarmte Frauen versuchen sich durch Prostitution am Leben zu erhalten; viele Männer, die fernab ihrer Familien am See als Fischer arbeiten, sind ihre Kunden und tragen die Krankheit dann in ihre Dörfer.

Allerdings ist die Geschichte damit noch nicht fertig erzählt. Parallel zur Fischindustrie boomte in den Oberläufen der Zuflüsse der Kaffee- und Teeanbau. Dieser ist ebenfalls auf den Export ausgerichtet – auf Empfehlung der Weltbank und der Entwicklungsorganisationen, da dies Geld zum Schuldenabbau bringt. Und direkt am See wurde vermehrt Reis und Zuckerrohr angebaut. Alles mit extensiver Düngung. Dadurch wurden immer mehr Nährstoffe in den See eingebracht und ließen das Phytoplankton stark zunehmen. Das brachte die einheimischen Fische zusätzlich in Bedrängnis – neben dem räuberischen Viktoriabarsch. Denn diese brauchen klares Wasser, durch das zahlreiche Plankton wurde der See jedoch immer trüber.

Der Nährstoffeintrag durch die Landwirtschaft und das Einleiten von ungeklärten Abwässern aus den umgebenden Wohngebieten bereiteten den idealen Boden für eine weitere Plage, die nun den See und auch die Fischwirtschaft bedroht: die Wasserhyazinthe. Indirekt trägt auch der Viktoriabarsch zum Problem bei, da z.T. durch ihn die planktonfressenden heimischen Fischarten dezimiert wurden. Die Wasserhyazinthe stammt ursprünglich aus Brasilien und ist eine der gefährlichsten invasiven Arten der Welt. Das heißt, sie kommt ursprünglich nicht aus der Region, kann sich dort aber gut verbreiten und verändert so das vorhandene Ökosystem. Sie kann frei schwimmen, aber auch anwurzeln und bedeckt die Wasseroberfläche. Bei nährstoffreichem, warmen Wasser ist ihre Vermehrung gigantisch schnell: innerhalb von 10-20 Tagen kann sich die ursprünglich zugewachsene Fläche verdoppeln. Tatsache ist, dass diese Pflanze die Wirtschaft stark einschränkt, da kleine Boote und Kanus durch sie gar nicht mehr ausfahren können, große

Schiffe extrem behindert werden. Ganze Häfen stehen still, wenn der Wind die frei schwimmenden Wasserhyazinthen in sie hineintreibt. Die Bekämpfung der Wasserhyazinthe ist sehr aufwändig und teuer.

Inzwischen wurden mehrere Programme gestartet: einerseits, um die Wasserqualität wieder zu verbessern, andererseits um die Wasserhyazinthe in den Griff zu bekommen. Beide sind teuer, und es ist noch nicht klar, wie groß der Erfolg sein wird. Die ökonomische Erfolgsgeschichte rechnet diese Kosten nicht mit ein – Kosten für fehlende Nahrungsmittelsicherheit, für Fehlernährung, Krankheiten, den Wandel der lokalen Wirtschaft und den Aspekt der Mann-Frau-Rollen.

Das Beispiel des Viktoriasees zeigt sehr eindrucksvoll, wie historische Entwicklungen, internationale und regionale Wirtschaft, landwirtschaftliche Praktiken und kulturelle Gegebenheit ineinander greifen und ein sehr komplexes Bild ergeben. Beeinflusst wurden viele dieser Entwicklungen nicht durch die Bevölkerung vor Ort, sondern oft wurden maßgebliche Entscheidungen fernab in Europa, den USA oder von internationalen Institutionen getroffen.

## **Wie berücksichtigen wir diese Vernetzungen?**

Wir haben in diesem SERI Background Paper gezeigt, dass die Erde ein vernetztes System ist. Auch wenn es nie möglich sein wird, dieses System hundertprozentig zu entschlüsseln, so ist ein besseres Verständnis notwendig, um Veränderungen besser zu verstehen und um mit gewünschten Wirkungen einzugreifen. In diesem SERI Background Paper wollen wir auch Antworten auf die Frage geben, wie wir handeln können und sollen, um die Vernetzungen innerhalb des Systems bestmöglich zu berücksichtigen.

Wir wissen nun, dass die Erde und ihre Teilsysteme sehr komplex sind. Unser Verhalten erzeugt Effekte, die mannigfaltig sind, oft erst später in Erscheinung treten, oft nicht vorhersehbar und damit auch nicht vollständig planbar sind. Natürliche und sozioökonomische Systeme besitzen eine gewisse Widerstandskraft, um negative Effekte zu ertragen oder abzuschwächen. Allerdings ist diese Kraft nicht unendlich groß, sondern kann nach Überschreitung von Schwellenwerten wirkungslos werden. Dadurch ergibt sich die Gefahr, dass Systeme oder Teilfunktionen zusammenbrechen. Aus einem solchen Zustand gibt es meist kein Zurück mehr.

Was können wir nun tun, um zu verhindern, dass natürliche oder sozioökonomische Systeme in einen irreversiblen Zustand kommen? Im Folgenden werden einige Punkte genannt, nach denen der Mensch sein Handeln orientieren sollte. Diese gelten einerseits für jedes einzelne Individuum. Andererseits werden viele Eingriffe in das System Erde durch Gruppen oder sozioökonomische Systeme verursacht. Es gilt daher, für diese Systeme Regeln und Gesetze aufzustellen, die ein Handeln nach den folgenden Punkten gewährleisten.

**Handeln nach dem Vorsorgeprinzip.** Dies bedeutet, vorausschauend zu handeln und Aktivitäten aufgrund von möglichen Risiken zu unterlassen oder so umzuwandeln, dass mögliche Risiken sinken. Aufgrund der Komplexität der Systeme, in die der Mensch eingreift, können die Auswirkungen meist nicht exakt vorausgesagt werden bzw. sind Voraussagen, die in der Vergangenheit getroffen wurden, oft nicht genau eingetreten. Diese Unsicherheiten veranlassen Kritiker immer wieder dazu, Aufrufe zu mehr Vorsicht und zu einem umsichtigeren Umgang mit dem System Erde als unbegründet zurück zu weisen. Dahinter stehen meist wirtschaftliche Überlegungen, da das Vorsorgeprinzip einem ungehemmten wirtschaftlichen Wachstum oft

entgegensteht. Die Erfahrung hat aber gezeigt, dass das Wohlergehen der Menschen auch mit – oder besser: gerade durch – mehr Vorsorge gewährleistet ist.

Dies heißt daher auch, dass selbst bei noch nicht bewiesenen negativen oder quantifizierbaren Effekten (z.B. Zusammenbruch des Golfstroms oder Methanaustritt aus Permafrostböden durch den Klimawandel), die Antriebskräfte minimiert werden sollen. Dadurch können wir vorsorgen, dass es nicht später zu ungewollten Konsequenzen kommt, die uns oder die nächsten Generationen betreffen. Wir können nicht alle Eingriffe in das System Erde beenden – aber wir können versuchen, diese so gering wie möglich zu halten.

Da wir aber bereits in das System Erde irreversibel eingegriffen haben und eingreifen, gibt es bereits unerwünschte Wirkungen. Hier genügt es nicht, das Vorsorgeprinzip anzuwenden, sondern es müssen Maßnahmen gesetzt werden. Dies können Maßnahmen sein, die den Menschen und auch den natürlichen Systemen helfen, sich anzupassen (z.B. Unterstützung bei einem Umzug in ein Gebiet, das nicht überschwemmt wird) oder Maßnahmen, die weitere negative Wirkungen reduzieren (CO<sub>2</sub> Steuer, Förderung erneuerbarer Energieträger).

Um die multiplen Ursachen von Problemen zu berücksichtigen, ist es wichtig, nicht einzelne Politikmaßnahmen zu setzen, sondern integriert zu denken und vorzugehen. Isolierte Maßnahmen greifen an einem Hebel an, in der Hoffnung, einen unerwünschten Effekt auf der einen Seite aufzuheben – dabei werden negative Auswirkungen, die sie auf der anderen Seite haben, oft übersehen. Integriert heißt dahingegen, „dem System und seinen Verknüpfungen angepasst“. Um solche Maßnahmen setzen zu können, muss man einerseits ein gutes Wissen über das betroffene System haben, andererseits muss man auch bereit sein, die Komplexität zu akzeptieren und sich auf Lösungen einlassen, die vielleicht langwieriger und schwieriger umzusetzen sind.

Die Erfolgchancen von Lösungsansätzen steigen, wenn man die Betroffenen in deren Entwicklung mit einbezieht. Dadurch werden das Wissen und die Wünsche der Bevölkerung und anderer Interessensträger und -trägerinnen berücksichtigt, womit die Strategien fundierter werden und ihre Akzeptanz bei den Betroffenen steigt. Gerade bei integrierten Ansätzen sind diese Vorteile unschätzbar, da einerseits die Bevölkerung weitere Verknüpfungen aufbringen kann, andererseits den Menschen im Rahmen der Beteiligung die Komplexität des Problems bewusst gemacht werden kann.

Vernetzungen stellen ja nicht nur ein Problem dar, sondern sie können auch synergistisch, also zum Vorteil vielergemischt werden. Wenn man die Strukturen und Abläufe von Systemen erkennt, kann man mit einer Aktivität mehrere positive Effekte erzielen. Man kann sozusagen mit der „Kraft des Gegners“ arbeiten, was auch in manchen asiatischen Kampfsportarten der Fall ist („Jiu-Jitsu Prinzip“). Oft reicht es, eine Änderung vorzunehmen, um mehrere Probleme zu lösen. So können zum Beispiel durch eine vermehrte Nutzung erneuerbarer Energieträger dem Klimawandel entgegengewirkt, die Importabhängigkeit von (politisch instabilen) Ländern verringert und neue Arbeitsplätze geschaffen werden.

Die Komplexität des Systems Erde macht es schwierig bis unmöglich, die Folgen von menschlichen Eingriffen nach einem einfachen Ursache-Wirkungs-Prinzip vorherzusagen. Alleine aufgrund der Tatsache, dass inzwischen über sechs Milliarden Menschen fast überall auf dem Globus leben, sind die Auswirkungen menschlichen Handelns auf das natürliche System massiv. Die Komplexität des sozio-ökonomischen Systems macht die Situation noch schwieriger, da auch dieses System oft auf unvorhersehbare Weise reagiert.

Der Mensch sollte sich wieder mehr als Teil des Systems betrachten und durch eine vernetzte Denkweise und neue (vorsorgeorientierte) Handlungsmodelle versuchen, die Eingriffe in das natürliche System bei gleichzeitiger Betrachtungen von sozio-ökonomischen Folgen so gering wie möglich zu halten. Das Primat sollte dabei nicht auf der Ökonomie liegen, sondern Umwelt, Wirtschaft und Soziales sollten möglichst gleichrangig behandelt werden.

## Quellen

American Soyabean Association (2005): Fakten statt Mythen: die Wahrheit über Biotechnologie in der Landwirtschaft und Biotech-Lebensmittel. Download unter: <http://www.asaim-europe.org/pdf/Fakten%20statt%20Mythen.pdf>

Moch, K. und R. Brauner (o.D.): Die Positionspapiere des Raiffeisenverbandes und der ASA. Eine kritische Betrachtung, Freiburg: Download unter: [http://www.bioland.de/fileadmin/bioland/file/aktuelles/gentechnik/gentechnik\\_Positionspapier\\_Raiffeisenverband\\_ASA-Studie.pdf](http://www.bioland.de/fileadmin/bioland/file/aktuelles/gentechnik/gentechnik_Positionspapier_Raiffeisenverband_ASA-Studie.pdf)

Kromp-Kolb, Helga und Herbert Formayer (2005): Schwarzbuch Klimawandel. Wie viel Zeit bleibt uns noch? Ecowin Verlag der TopAkademie GmbH, Salzburg

Fuggle, R.F (2005): Case Study 5. Lake Victoria: A case Study of complex interrelationships. in: Africa Environmental Outlook. Case Studies. Human Vulnerability to Environmental Change. UNEP, p.75-85

UNEP, United Nations Environment Programme (1999). Global Environmental Outlook 2000. Download unter: <http://geo.unep-wcmc.org/geo>

UNEP, United Nations Environment Programme (2002). Global Environmental Outlook 3. Download unter: <http://geo.unep-wcmc.org/geo>

IPCC, Intergovernmental Panel for Climate Change (2007): Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Summary for Policymakers. Downlaod unter <http://www.ipcc.ch/SPM2feb07.pdf>

Latif, Mojib (2007): Bringen wir das Klima aus dem Takt? Hintergründe und Prognosen. Frankfurt a.M.

Müller-Kraenner, S. (2007): Energiesicherheit. Die neue Vermessung der Welt. München

Richardson, K. (2005): Der globale Wandel und die Zukunft der Ozeane. Auf dem Weg zu einer Wissenschaft für das System Erde. In: E.P. Fischer und K. Wiegandt: (Hg.): Die Zukunft der Erde. Was verträgt unser Planet noch?, Frankfurt a.M.

Spangenberg, H.J. (forthcoming): Integrated Scenarios for Assessing Biodiversity Risks. Sustainable Development 15.

Vester, F. (1999). Unsere Welt – ein vernetztes System. Deutscher Taschenbuch Verlag. 10. Auflage.

Wagner, H.-J. (2007): Was sind die Energien des 21. Jahrhunderts? Der Wettlauf um die Lagerstätten. Frankfurt a.M.