

# donella h. meadows

---

mit einführungen  
von jørgen randers  
und ugo bardi

## die grenzen des denkens

wie wir sie mit system  
erkennen und überwinden  
können

 oekom

Bibliothek der Nachhaltigkeit

## **Bibliothek der Nachhaltigkeit**

*Eine Buchreihe des oekom e.V. in Kooperation mit dem oekom verlag,  
herausgegeben von Jacob Radloff und Dr. Manuel Schneider*

Anlässlich des 30-jährigen Verlagsjubiläums haben der oekom verlag und der oekom e.V. gemeinsam die »Bibliothek der Nachhaltigkeit« ins Leben gerufen. Die Reihe präsentiert Autorinnen und Autoren, die als Pioniere und Vordenkerinnen ihrer Zeit voraus waren und ungewöhnliche Wege des Denkens eröffnet haben. Ihre Texte liefern auch heute noch wichtige Impulse für die Diskussion und Praxis der Nachhaltigkeit, Transformation und Zukunftsfähigkeit unserer Gesellschaft.

### **Beirat der Reihe**

Prof. Dr. Günther Bachmann

Ulrich Grober

Dr. Simone Müller

Dr. Barbara Muraca

Prof. Dr. Joachim Radkau

Prof. Dr. Wolfgang Sachs

Prof. Dr. Ernst Ulrich von Weizsäcker

# Inhalt

## *Einführungen*

---

### In Systemen denken

*Jørgen Randers* 13

### Von der Dynamik komplexer Systeme

*Ugo Bardi* 19

### Zur Entstehung von »Die Grenzen des Denkens«

*Diana Wright* 29

## ***Die Grenzen des Denkens***

---

### Vorbemerkung 37

### Die Linse der Systembetrachtung 39

Zwischenspiel – Die Blinden und die Sache mit dem Elefanten:

Warum das Ganze mehr ist als die Summe seiner Teile 47

## Struktur und Verhalten von Systemen – die Grundlagen 48

Mehr als die Summe seiner Teile 48

Die Spielregeln verstehen, nach denen gespielt wird 50

Badewannen-Grundkurs – zeitabhängiges  
Systemverhalten verstehen 56

Wie das System sich selbst regelt – Rückkopplungen 66

Stabilisierende Schleifen – dämpfende Rückkopplung 68

Aufschaukelnde Schleifen – selbstverstärkende  
Rückkopplung 72

## Ein kurzer Besuch im Systemzoo 78

Systeme mit einer Zustandsgröße 79

Systeme mit zwei Zustandsgrößen 107

## Warum Systeme so gut funktionieren 124

Widerstandsfähigkeit 125

Selbstorganisation 129

Hierarchie 132

Zwischenspiel – Die Fabel von den zwei Uhrmachern:  
Warum das Universum in Hierarchien organisiert ist 134

## Warum Systeme uns verblüffen 138

Die Verführung durch Ereignisse 140

Linearer Verstand in einer nichtlinearen Welt 144

Zwischenspiel – Fichtentriebwickler, Tannen und Pestizide:  
Warum wir nichtlineare Beziehungen verstehen müssen 147

Nicht existente Grenzen 150

Mehrschichtige Grenzen 156

Allgegenwärtige Verzögerungen 160

Eingeschränkte Rationalität 163

Zwischenspiel – Stromzähler in niederländischen Haushalten:  
Warum wir mehr und bessere Information brauchen 169

## Systemfallen ... und Entwicklungschancen 170

Änderungsresistenz – erfolglose Korrekturen 171

Die Tragödie der Allgemeingüter 177

Leistungsschwund 183

Eskalation 186

Erfolg den Erfolgreichen – Konkurrenzausschluss 190

Verlagerung der Verantwortung – Sucht 196

Umgehung der Regeln 202

Falsche Zielsetzung 204

Zwischenspiel – Das Design von Segelbooten: Warum wir die  
richtigen Ziele setzen müssen 209

## Wandel schaffen: Stellen für wirksames Eingreifen 211

Eine Liste der Hebelpunkte, mit denen in ein System  
eingegriffen werden kann 214

Zusammenfassung der Hebelpunkte 238

Leben in einer Welt der Systeme 240

Richtlinien für ein Leben in einer Welt der Systeme 245

Zusammenfassung der Richtlinien 264

## Anhang 265

Systemdefinitionen: ein Glossar 265

Zusammenfassung der Systemprinzipien 267

Modellgleichungen 270

Anmerkungen 279

Dank der Herausgeberin 283

## *Zu Leben und Werk*

---

Die Hoffnung bewahren:  
Donella Meadows' Erbe

*Ugo Bardi* 287







# Einführungen

---



# In Systemen denken

*Jørgen Randers*

Ich freue mich, dass dieses Werk von Donella (Dana) Meadows, ein wahres Juwel von einem Buch, neu aufgelegt wird. Ich freue mich, weil das bedeutet, dass mehr Menschen mit dem Systemdenken und seinem immensen Potenzial für das Verständnis der modernen Welt vertraut gemacht werden können – insbesondere mit Blick auf die Entstehung moderner Gesellschaften.

## Was bedeutet »in Systemen denken«?

Das Denken in Systemen beziehungsweise Systemdenken erhöht das Verständnis der Welt, weil es dazu zwingt, jeden politischen Vorschlag in einem breiteren Zusammenhang und über einen längeren Zeitraum hinweg zu betrachten. Systemdenker berücksichtigen nicht nur die unmittelbaren Auswirkungen einer Idee, ihre direkten und kurzfristigen Folgen. Wer in Systemen denkt, bezieht automatisch die mittelbaren Auswirkungen mit ein, auch die indirekten und langfristigen Folgewirkungen, die ein Eingriff in ein soziales System nach sich zieht. Und sie nehmen dabei eine breite Perspektive ein, betrachten nicht nur die beabsichtigten Effekte, sondern auch die unbeabsichtigten Nebenwirkungen. Unter dem Strich sind Systemdenker deshalb weitaus bessere Führer auf dem Weg in die Zukunft als die vielen, die Vorschläge nur auf der Grundlage ihrer unmittelbaren Wirkung bewerten.

Danas Juwel ist ein praktischer Führer für alle, die Systemdenker werden möchten. Sicher bedarf es einiger Mühe, sich durch das ganze Werk zu arbeiten. Wenn man das geschafft hat, ist es umso schwerer, zu altem, linearem und kurzfristigem Denken zurückzukehren. Aus der

Sicht des Systemdenkers ist es unnatürlich, unzureichend und unverantwortlich, die langfristigen und unbeabsichtigten Folgen einer vorgeschlagenen gesellschaftspolitischen Intervention zu ignorieren.

## Warum lineares Denken noch immer populär ist

Wenn das Denken in Systemen all diese Vorteile aufweist, warum hat es sich dann nicht massiv verbreitet, seit Dana vor über 35 Jahren die Gedanken, auf denen dieses Buch basiert, erstmals formuliert hat? Zunächst weil viele – vielleicht die meisten – Menschen in erster Linie an den kurzfristigen Wirkungen einer Maßnahme interessiert sind. Sie sind zuvörderst auf ihr eigenes kurzfristiges Wohlergehen und das ihrer engsten Familienangehörigen und Freunde bedacht. Die Folgen für andere Menschen, zumal wenn sie sich möglicherweise erst Jahrzehnte später einstellen, stehen in der Regel weniger im Fokus.

Zweitens sind diese mittelbaren Auswirkungen, selbst wenn man den Blick auf sie richten möchte, kaum greifbar. Soziale Systeme sind so komplex, dass man die Gesamtheit der Folgen eines politischen Eingriffs nur schwer voraussehen kann – in der kurzfristigen Perspektive, vor allem aber auf lange Sicht. In vielen, wahrscheinlich in den meisten Fällen benötigt man einen Computer, um zu zuverlässigen Ergebnissen zu kommen. Dabei hofft der Systemdenker, dass das Modell gut genug ist, fundierte Erkenntnisse über die zukünftige Realität zu liefern. Erfahrene Systemdenker achten aber darauf, keine festen Schlüsse zu ziehen, ehe sie sich vergewissert haben, dass das geplante Vorgehen, auf das sich ihr Interesse richtet, tatsächlich wie gewünscht in ihrem Computermodell des Sozialsystems simuliert werden kann.

Der dritte Grund, warum sich das Systemdenken nicht wie ein Lauffeuer verbreitet hat, nachdem sich bereits in den 1960er Jahren mit Computersimulationen und Timesharing die technischen Grundlagen für seine praktische Umsetzung herausgebildet hatten, liegt wohl schlicht darin, dass kurzfristiges Denken dem Menschen fast eine Million Jahre lang gute Dienste geleistet hat. Wir haben uns zu Herren

über unseren kleinen Planeten entwickelt, weil wir die kurzfristige Optimierung gut beherrschen. Erst im letzten Jahrhundert sind wir so viele und so mächtig geworden, dass wir die langfristigen Folgen unseres Handelns nicht mehr ignorieren können. Die globalen Auswirkungen der menschlichen Aktivitäten werden jedoch immer gravierender; die althergebrachte Art des Handelns trägt nicht mehr. Es ist ein Novum dieses Jahrhunderts, dass negative Folgen unserer Handlungen zwar immer noch erst mit einiger Verzögerung spürbar werden, aber noch innerhalb der Lebenszeit derjenigen, die die langfristigen Auswirkungen bei ihren Entscheidungen missachtet haben.

Aus diesen Gründen setzt sich das Systemdenken nur langsam durch und wahrscheinlich wird das auch so bleiben. Der Kampf darum gleicht einem Ringen um einen Paradigmenwechsel, dem Zusammenstoß zweier Weltansichten. Die neue »radikale Sicht« trägt erst dann den Sieg davon, wenn die Anhänger der »konventionellen Weisheit« zähneknirschend anerkennen müssen, dass ihre Lösungen nicht mehr funktionieren, dass eine neuen Sichtweise nötig ist, um tragfähige Lösungen zu finden. Das aber zieht sich hin – über Generationen.

Der heutige Konflikt zwischen Systemdenkern und den, wie ich sie nennen möchte, klassisch reduktionistischen Wissenschaftlern, ist bereits über fünfzig Jahre alt. Und die reduktionistische Wissenschaft steht immer noch erhobenem Haupte da. Die meisten Experten folgen nach wie vor dem Einwand, dass eine Gesamtsicht des Systems zu oberflächlich sei, um die wirkliche Tiefe des menschlichen Wissens zu erfassen, und Empfehlungen, die vom reduktionistischen Denken abweichen, daher wenig zuverlässig seien.

## Wirkmächtiges Systemdenken: »Die Grenzen des Wachstums«

Anfang der 1970er Jahre eskalierte der Paradigmenkonflikt zwischen Systemdenken und reduktionistischer Wissenschaft. Der Grund lag im Erscheinen der Studie »Die Grenzen des Wachstums«<sup>1</sup>, die auf dem Computersimulationsmodell World3 basierte. Dana Meadows war die

Hauptautorin des Buchs, und sie begriff schon sehr früh, wie tief der Widerspruch zwischen der darin vertretenen Sicht des menschlichen Lebens auf dem Planeten Erde und dem realen Wachstum der Weltbevölkerung und des ökologischen Fußabdrucks war.<sup>2</sup>

Das Systemdenken ermöglichte dem Erfinder der Systemdynamik, dem MIT-Professor Jay W. Forrester, den sich entwickelnden Konflikt zwischen menschlichem Tun und den Grenzen des Planeten begrifflich zu fassen. Dana und wir anderen hatten das Privileg, seine Entdeckung in eine allgemeinverständliche Sprache zu übersetzen. Wir entwickelten sein Modell World2<sup>3</sup> zu dem detaillierteren systemdynamischen Modell World3 weiter. Mit seiner Hilfe studierten wir die verschiedenen möglichen Entwicklungen der Weltbevölkerung, der Wirtschaftsproduktion und des Fußabdrucks auf unserem begrenzten Planeten. In unserer Analyse nahmen wir einen Zeitraum von 100 Jahren in den Blick und beschrieben mögliche Szenarien auf globaler Ebene. »Die Grenzen des Wachstums« erschien 1972, wurde in 36 Sprachen übersetzt und erreichte eine Gesamtauflage von neun Millionen Exemplaren. Ein wahrer Durchbruch für angewandtes Systemdenken.

Aber auch ein Dorn im Auge der Vertreter des rivalisierenden Paradigmas. Der Widerstand gegen die Schlussfolgerungen der Studie – vor allem die Notwendigkeit, den ökologischen Fußabdruck des Menschen zu verringern, wenn wir gut und lange auf unserem begrenzten Planeten leben wollen – war von Beginn an heftig. Und er hielt länger an, als wir Autoren es je erwartet hätten. Im Lauf der Jahrzehnte entwickelte sich der Paradigmenkonflikt zu einer anhaltenden Konfrontation zwischen zwei Weltsichten – hier das Motto »Festhalten am Wachstum des Bruttosozialprodukts auf der Grundlage von fossilen Energieträgern um jeden Preis«, dort »Wandel zu einer grünen und gerechten Welt auf der Grundlage erneuerbarer Energien«. Das ist nur die heutige Version des seit jeher fruchtlosen Streits »Wachstum versus Nichtwachstum«. Für welche Seite Sie sich entscheiden, wird zweifellos stark von der Botschaft beeinflusst werden, die Dana in diesem Buch vermittelt.

## Ein Plädoyer für offenes Denken

Auf den folgenden Seiten zeigt Dana, dass wir das Geschehen auf unserem Planeten besser verstehen, wenn wir unseren Fokus auf den Kern des Problems richten und uns nicht von Voreingenommenheiten leiten lassen, die das unvermeidliche Resultat unserer Erziehung und Bildung sind. Sie lehrt uns, offen an Probleme heranzugehen, nicht nur als Physiker, Historiker, Wirtschaftswissenschaftler, Politikwissenschaftler. Sie erinnert uns daran, dass wir stets nach den grundlegenden Mechanismen fragen müssen, die zu unserem Problem geführt haben. Wo liegen seine Ursachen? Was wird geschehen, wenn nichts unternommen wird? Wie werden sich verschiedene Lösungen auswirken, nicht nur kurzfristig, sondern auf lange Sicht?

Ich bin mir sicher, dass Ihnen das Buch gefallen wird. Und ich hoffe, dass Sie nach der Lektüre zuversichtlicher an die Aufgabe herangehen, den wahren Wert der angeblichen Lösungen zu erkennen, die immer wieder in der öffentlichen Debatte moderner Gesellschaften auftauchen. Doch seien Sie, wenn Sie sich vom Systemdenken überzeugen lassen, auf die anhaltende Gegnerschaft derjenigen gefasst, die Ihr Paradigma nicht übernehmen wollen. Kurzfristiges reduktionistisches Denken ist tief in der demokratischen Marktwirtschaft verwurzelt – und wird nicht so schnell untergehen.

### Zum Autor

Jørgen Randers, geboren 1945, studierte in Oslo und am MIT, wo er 1973 promoviert wurde. Er gilt als einer der renommiertesten Wissenschaftler auf den Feldern der Zukunftsforschung, Klimaforschung und Systemdynamik. Zusammen mit Donella und Dennis Meadows war er 1972 einer der Hauptautoren des Berichts an den Club of Rome »Die Grenzen des Wachstums«. Randers war Präsident der BI Norwegian Business School und stellvertretender Generaldirektor des WWF International.

# Anmerkungen

- 1 Meadows, Dennis L. et al. (1972): Die Grenzen des Wachstums, Stuttgart.
- 2 Meadows, Donella H. (1980): The Unavoidable a Priori, in: Randers, Jørgen (Hrsg.): Elements of the System Dynamics Method, Cambridge, S. 23–56.
- 3 Forrester, Jay W. (1971): World Dynamics, Cambridge.



# Von der Dynamik komplexer Systeme

*Ugo Bardi*

Donella Meadows' Buch »Die Grenzen des Denkens« ist ein Beitrag zu einer Revolution des menschlichen Denkens. Sie begann in den 1960er Jahren mit der Arbeit von Jay Forrester über Systemdynamik<sup>1</sup> und 1972 ging die weltbekannte Studie »Die Grenzen des Wachstums« aus ihr hervor.<sup>2</sup> Um diese Revolution zu verstehen, müssen wir zunächst einmal begreifen, dass sie sich auf eine Klasse von Systemen bezieht, die die Welt bilden, mit der wir in einer Wechselbeziehung stehen: auf »komplexe Systeme«. Für komplexe Systeme gibt es viele mögliche Definitionen. Die beste ist vielleicht: Sie sind alle interessant! Formel-er ausgedrückt könnte man auch sagen, dass komplexe Systeme von starken Wechselwirkungen zwischen ihren Teilen geprägt sind. Diese starken Wechselwirkungen werden üblicherweise als »Rückkopplung« bezeichnet, als Verstärkung oder Abschwächung einer Störung von außen. Ein komplexes System ist dynamisch, es bewegt und verändert sich, entwickelt sich weiter und ist in gewissem Sinne »lebendig«. Lebende Geschöpfe sind denn auch ein gutes Beispiel für solches Verhalten. Schauen wir uns einen Stein an – er ist kein komplexes System. Tritt man dagegen, wird er sich ein Stück wegrollen. Eine Katze hingegen ist ein komplexes System. Tritt man sie, dreht sie sich vielleicht um und beißt einen. Solche Systeme überraschen uns oft, sie schlagen immer zurück, manchmal mit aller Macht.

## Das Verhalten komplexer Systeme

Das heißt nicht, dass diese Systeme unberechenbar oder völlig chaotisch sind. Wie alles in diesem Universum gehorchen auch sie den Gesetzen der Thermodynamik; es sind thermodynamische Maschinen,

angetrieben von den Energiepotenzialen, aus denen sie hervorgegangen sind. Eine Pflanze wandelt die Energie um, die sie von der Sonne erhält, ein Tier die Energie aus der Nahrung, die es aufnimmt, und eine menschliche Gesellschaft wandelt die Energie der Ressourcen um, auf denen ihre Wirtschaft basiert. Solche Systeme haben eine Bewegungsrichtung: Sie bewegen sich wie ein Fluss – immer abwärts. Nicht, dass das System einen freien Willen hätte, vielmehr neigen seine Teile dazu, den leichtesten Weg einzuschlagen. Stellen Sie sich einen Erdbeben vor: Das Gestein, das einen Haufen oder Hügel bildet, weiß nichts über Lawinen, die Steine stützen sich einfach gegenseitig. Doch wenn ein Stein den Raum hat, nach unten zu rollen, wird er es tun. Und wenn dadurch wiederum Raum für andere Steine entsteht, werden auch sie nach unten rollen. Das ist ein klassisches Beispiel für eine sich verstärkende Rückkopplung: Ein einzelner Stein, der in Bewegung gerät, löst eine große Erdlawine aus. Hier offenbart sich das Gesetz, dass alle Systeme mit der höchstmöglichen Geschwindigkeit Energiepotenziale umwandeln. Diese Tendenz führt zum »Seneca-Effekt«: das Wachstum schreitet langsam voran, der Zusammenbruch kommt plötzlich.<sup>3</sup>

Das Verhalten komplexer Systeme ist nie präzise vorherzusagen, aber erklären kann man es. Im Grunde ist das für den menschlichen Verstand nicht schwer: Wir werden in eine Welt komplexer Systeme geboren und wir leben mit ihnen. Wir wissen, dass das Verhalten von Katzen oft überraschend ist, aber wir wissen auch, dass unsere Katze sofort auftaucht, wenn wir die Schachtel mit den Leckerlis schütteln. Menschen sind (vielleicht) kompliziertere Geschöpfe als Katzen, aber auch sie sind nicht unberechenbar, das wird Ihnen jeder Werbe- oder Propaganda-Experte bestätigen. Wir sind also auf komplexe Systeme eingestellt, unsere Fähigkeit mit ihnen umzugehen wurde während Abertausender Jahre der Evolution immer weiter verfeinert.

Und dennoch missverstehen wir die Welt um uns herum mitunter so gründlich, dass man nur erstaunt sein kann, wie Menschen so falsch liegen können. Beispiele finden sich im Alltag zuhauf, etwa im Umgang mit Familienangehörigen und Freunden: Wie schnell lässt sich eine Beziehung oder eine Karriere mit einem einzigen leichtfertigen Fehlgreif ruinieren. In größeren Systemen neigen die Menschen dazu, die

Ressourcen zu zerstören, die ihre Lebensgrundlage bilden: Das ist die tödliche Wirkung des »Overshoot« beziehungsweise des Raubbaus, dem der Zusammenbruch folgt. Solange eine Ressource reichlich vorhanden ist, glauben die Menschen offenbar, sie werde sich niemals erschöpfen. Und deshalb beuten sie sie schneller aus, als sich die Ressource regenerieren kann. Die amerikanischen Bisons beispielsweise wurden in solchen Massen gejagt, dass sie beinahe ausgestorben wären, genauso die Wale. Unseren fossilen Energiequellen wird es nicht anders ergehen: Fossile Brennstoffe werden in größeren Mengen produziert denn je – aber wie lange wird das noch möglich sein?

## Die Überwindung der Grenzen des Denkens

Die Ursache der falschen Wahrnehmung komplexer Systeme liegt vielleicht darin, dass unsere heutige Welt weitaus komplizierter ist als die Welt, in der unsere fernen Vorfahren lebten. Die Grundstrukturen unseres Denkens beruhen auf relativ simplen heuristischen Modellen, die für unsere frühgeschichtlichen Ahnen, die in kleinen Gruppen lebten, völlig ausreichten. Heute aber stehen wir vor der Aufgabe, die weltweiten »Gemeinschaftsgüter«, die Ressourcen eines ganzen Planeten zu bewirtschaften und zugleich für zukünftige Generationen zu bewahren. Kein Zweifel: Bei der Bewältigung dieser Aufgabe machen wir keine gute Figur. Wir fügen dem Ökosystem solch enorme Schäden zu, dass manche Experten davon ausgehen, dass die menschliche Spezies am Rande der Auslöschung stehe. Die Welt scheint heute zu kompliziert für uns zu sein. Das heißt aber nicht, dass es uns unmöglich ist, sie zu verstehen. Unser Verstand ist nach wie vor ein hervorragendes Werkzeug, aber er muss in die Lage versetzt werden, die große Zahl von Parametern zu berücksichtigen, die die Welt um uns konstituieren. Und innerhalb gewisser Grenzen müssen diese Parameter quantifiziert werden, um Ordnung in das scheinbare Chaos des Geschehens zu bringen. Wir müssen lernen zu unterscheiden zwischen dem, was wichtig ist, und dem, was nur marginale Bedeutung hat. Wir müssen verstehen, was die Wirtschaft in eine bestimmte Richtung treibt und

wie das Ökosystem auf das Wachstum der Weltbevölkerung reagiert. Kurz, wir benötigen das Rüstzeug, um die Macht des menschlichen Verstandes zu vergrößern.

Das war auch die Vorstellung, die Jay Forrester in den 1960er Jahren antrieb. Es war seine Idee, die Macht der Computer zu nutzen, um große Datenmengen zu verarbeiten und den menschlichen Geist somit von einer Aufgabe zu befreien, der er nicht gewachsen ist. Dabei haben es Forrester und seine Schüler vermieden, in die Falle zu tappen, die man mit der Redensart »Wo man Müll hineinsteckt, kommt auch Müll heraus« beschreiben könnte – und die (bis heute) die meisten Versuche charakterisiert, mithilfe von Computern Voraussagen zu treffen. Für sie war klar, dass der Computer lediglich ein Instrument des menschlichen Verstandes war, um eine Aufgabe besser zu bewältigen, zu deren Lösung die Evolution ihn befähigt hatte: Modelle der Welt zu entwickeln. Forrester war davon überzeugt, als er schrieb:

*Jeder von uns verwendet ständig Modelle. Jeder Mensch benutzt instinktiv Modelle, um Entscheidungen zu treffen, sei es im Privatleben oder im Beruf. Die Bilder, die wir uns von unserer Umgebung machen, sind Modelle. In unserem Kopf gibt es keine realen Familien, berufliche Tätigkeiten, Städte, Regierungen oder Länder. Wir verwenden ausgewählte Konzepte und Beziehungen als Repräsentanten realer Systeme. Ein mentales Bild ist ein Modell. Gesetze werden stets auf der Grundlage von Modellen erlassen. Alle Handlungen der Exekutive beruhen auf Modellen. Die Frage ist nicht, ob wir Modelle benutzen oder nicht. Die Frage ist lediglich, welches der verschiedenen Modelle wir wählen.<sup>4</sup>*

Wir haben also gar keine andere Möglichkeit, uns ein Bild von der Zukunft zu machen, als mithilfe von Modellen. Hierbei müssen wir darauf achten, dass wir nicht in die »Verharmlosungsfalle« tappen wie viele, die die Klimawissenschaft verunglimpfen. »Das sind ja nur Modelle«, sagen manche – womit sie meinen, dass Modelle keine »realen Dinge« seien. In gewisser Weise stimmt das, aber zugleich ist es völlig falsch. Wir alle treffen tagtäglich Aussagen über die Zukunft. Aber

Modelle können uns nur Informationen über *mögliche* Zukünfte liefern. Mit anderen Worten: Streng genommen sind »alle Modelle falsch« insofern, als kein Modell mit der Wirklichkeit identisch ist. Andererseits aber »können alle Modelle nützlich sein, wenn man ihre Grenzen kennt«. Modelle sind Werkzeuge, sie prophezeien nicht.

## Die Steuerung komplexer Systeme

Als Mitarbeiterin von Jay Forrester und eine der Hauptautoren der Studie »Die Grenzen des Wachstums« war sich Donella Meadows dieser Faktoren sehr bewusst. Sie hat vieles zu den Untersuchungen beigetragen, am meisten vielleicht dadurch, dass sie bei ihrer Arbeit über die Anwendung formal-mathematischer Modelle hinausging. Sie versuchte, aus den gewonnenen Erkenntnissen praktische Regeln abzuleiten, die sich jeder zu eigen machen kann. Das war das Grundkonzept von »Grenzen des Denkens«, mit dem sie die Leser befähigen wollte zu verstehen, wie Systeme funktionieren – auch ohne oder mit nur wenigen formalen Modellen. Das 2008 posthum veröffentlichte Werk hat seinen Ursprung in Donella Meadows' Artikel über »Hebelpunkte« von 1997<sup>5</sup>, einer faszinierenden Abhandlung darüber, wie man komplexe Systeme steuern kann. Ihr Konzept folgt einer Überlegung Jay Forresters, dem Begründer der Systemdynamik. In dem Artikel schreibt Donella Meadows:

*Diejenigen von uns, die bei dem großartigen Jay Forrester am MIT studiert haben, werden eine seiner Lieblingsgeschichten nicht vergessen. »Die Menschen wissen intuitiv, wo sich die Hebelpunkte befinden. Ich habe mehrfach Analysen eines Unternehmens vorgenommen und dabei einen Hebelpunkt gefunden. Dann bin ich zu der Firma gegangen und musste feststellen, dass alle den Hebel in die falsche Richtung schieben!«*

Eine faszinierende Beobachtung – die man häufig machen kann. Etwa bei dem sogenannten Jevons' Paradoxon, das wir als die »Mutter aller

kontraintuitiven Effekte« bezeichnen könnten. Ihm zufolge führt etwa eine höhere Effizienz bei der Nutzung von Ressourcen nicht dazu, dass weniger von dieser Ressource genutzt würde. Effektivere Heizungs-systeme in Wohnhäusern beispielsweise können die Bewohner veranlassen, die Zimmertemperaturen zu erhöhen – es kostet sie ja nicht mehr.

Noch faszinierender ist der Gedanke, dass man diese Hebelpunkte nutzen kann, um ein großes, komplexes System in eine gewünschte Richtung zu lenken. Man steuert ein Auto mithilfe des Lenkrads und der Fußpedale – winzige Apparate verglichen mit den Tonnen, die das ganze Auto wiegt. Aber ein Auto ist kein komplexes System; es reagiert (innerhalb bestimmter Grenzen) linear auf das, was der Fahrer macht. Komplexe Systeme hingegen reagieren nichtlinear – sie schlagen immer zurück (manchmal mit aller Macht). Sie zu steuern, ist also eine verzwickte Angelegenheit.

Donella Meadows erweiterte Forresters Ideen zunächst auf neun, dann auf zwölf Regeln. Diese Regeln wurden zum Ausgangspunkt ihres Werks »Die Grenzen des Denkens«; sie sind nun im Kapitel »Wandel schaffen: Stellen für wirksames Eingreifen« zu finden. Die Grundlage dieser Ideen ist ein einfaches Konzept: Kämpfe nicht gegen das System, versuche nicht, den Fluss umzukehren, sondern lenke ihn nur vorsichtig ab, reguliere ihn, beruhige ihn, lass ihn stets in die Richtung fließen, in die sich das System bewegen will. Wenn man versucht, ein komplexes System zu zwingen, sich so zu verhalten, wie man es will, wird man es mit der Entropie zu tun bekommen – und die Entropie gewinnt immer.

## Die Rolle der Hebelpunkte

Ich denke, diese Empfehlungen lassen sich am besten nicht mit mathematischen Gleichungen oder Fallstudien illustrieren, sondern mit einer Erzählung. Ich weiß nicht, ob Kurt Vonnegut (1922–2007) je von Donella Meadows gehört hat, aber sein Roman »Galapagos« von 1985 liefert uns ein großartiges Beispiel, das einer Abhandlung über

Systemdynamik entnommen sein könnte. In dem Roman geht es um eine Gruppe von Menschen, die Schiffbruch erleiden und auf einer entlegenen Insel stranden. Um zu überleben, sind sie auf eine natürlich Quelle angewiesen. Die Quelle ist durch einen Vulkankrater entstanden, eine Art riesige Badewanne, die vom Regen immer wieder aufgefüllt wird. Durch einen kleinen Abfluss am Boden sickert das Wasser nach draußen. Die Protagonisten des Romans haben das Glück, dass dieser Abfluss groß genug ist, um sie anhaltend mit Wasser zu versorgen, ohne dass der Krater deshalb austrocknen würde:

*Der Krater des ehemaligen Vulkans war eine riesige Schüssel, in der sich das Regenwasser sammelte. Vor der Sonne versteckte der Krater das Wasser unter einer dicken Schicht von Vulkanschutt. Andererseits hatte die Schüssel aber einen winzigen Sprung, und dieses Leck war die Quelle.*

*Trotz der vielen Zeit, die er dazu gehabt hätte, gab es für den Kapitän keinerlei Möglichkeit, die Quelle irgendwie zu verbessern. Das Wasser sickerte einfach aus seiner Felsspalte und tropfte dann in ein bereits vorhandenes natürliches Becken, das sich ungefähr zehn Zentimeter unter der Spalte befand. [...]*

*Wenn der Kapitän zum Beispiel ein paar anständige Werkzeuge gehabt hätte, wie Hacken und Schaufeln und Hämmer und Stemmeisen, hätte er sicher einen Weg gefunden, die Quelle im Namen von Wissenschaft und Fortschritt innerhalb kürzester Zeit zu verstopfen oder so zu erweitern, dass der gesamte Wasservorrat des Kraters innerhalb von ein, zwei Wochen verbraucht worden wäre.<sup>6</sup>*

Vonneguts Insel zeigt uns anschaulich, wie wir die Hebel komplexer Systeme falsch einsetzen können. Stellen wir uns einen ähnlichen, komplizierteren Fall vor, nämlich die Gewinnung von Rohöl. Es gibt ein riesiges »Becken«, das die Ressource enthält, die wir nutzen: Öl. Der einzige Unterschied zum vorherigen Beispiel besteht darin, dass sich das Ölbecken nicht von selbst wieder auffüllt. Vor einiger Zeit, es ist rund zehn Jahre her, meinten einige Leute, aus der Quelle sprudle nicht genügend Öl. Es folgte ein Wettlauf um noch tiefere, schnellere,

bessere Bohrungen, der zu der kurzlebigen »Schieferöl-Revolution« führte. Niemand scheint darüber nachgedacht zu haben, dass die Ölvorräte umso schneller erschöpft sind, je schneller man sie aus dem Boden holt. Das Ergebnis des Bohrwahns in den ersten zwei Jahrzehnten des 21. Jahrhunderts war die Ölschwemme, die 2014 zum Einbruch der Ölpreise führte und die Ölindustrie beinahe zerstörte. Wir werden teuer für diesen kurzen Augenblick des Überflusses bezahlen, wenn der Ölregen in einer nicht allzu fernen Zukunft ausbleibt.

Ein solches Desaster ist wie viele andere nicht unvermeidbar: Donella Meadows zeigt uns, dass wir in dynamische Systeme eingreifen können; wir müssen nur cleverer sein als die Entropie. Das ist sicherlich nicht einfach; aber es ist auch nicht unmöglich. Wir müssen nur begreifen, dass sich ein komplexes System wie ein Fluss verhält – man kann ihn nicht bergauf lenken. Aber man kann ihn mithilfe von Staudämmen, den Ventilen des Systems, und Reservoirs, seinen Beständen, regulieren. Und man kann den Fluss nahezu mühelos in die eine oder andere Richtung lenken. Vorausgesetzt, man versucht nicht, ihn den Berg hinauffließen zu lassen.

Wie kann man diese Erkenntnisse nutzen? Bedenken Sie, dass alle Systeme danach streben, die Rate des Energieflusses zu maximieren; das gelingt, wenn man es zulässt, dass sich das System optimiert, wenn man also alle Ventile vollständig öffnet. Das Ergebnis wird in der Regel eine Katastrophe sein: ein unkontrolliertes rapides Wachstum, dem ein Kollaps folgt (die Seneca-Klippe), oder ein *Boom-Bust*-Zyklus, wie er für ökonomische Systeme typisch ist. Wenn man hingegen die Ventile verengt, also an einem Hebelpunkt ansetzt, kann man ein ruhigeres Verhalten des Systems erreichen. Man kann einen »Overshoot« und den folgenden Kollaps verhindern, vielleicht sogar das Nachhaltigkeitsniveau erreichen, das einen passablen konstanten und vorausagbaren Energiefluss gewährleistet. Man kann die Fangquote einer Fischerei so begrenzen, dass der Fischbestand sich reproduzieren und stabilisieren kann. Man kann Überschwemmungen und Dürren verhindern, indem man einen Fluss reguliert. Man kann die Ausbeutung einer nicht erneuerbaren Ressource wie etwa der fossilen Energieträger regulieren, indem man den Durchsatz verlangsamt und zugleich



einen Teil der Ressourcen nutzt, um erneuerbarer Energien zu entwickeln, die die nicht erneuerbaren Vorräte ersetzen können, ehe diese zur Neige gehen. Ich habe das als »Methode des Sämanns« bezeichnet. Sie erinnert an die Weisheit früherer Bauern, die stets einen Teil ihrer Ernte als Saat für das folgende Jahr zurückhielten.<sup>7</sup>

## Die Revolution des Denkens

Diese Überlegungen waren der Ausgangspunkt für die Studie »Die Grenzen des Wachstums« von 1972, in der auf der Grundlage mathematischer Modelle empfohlen wurde, das Wachstum zu verlangsamen, um einen »Overshoot« und den Kollaps zu verhindern. Und sie sind auch die Basis der Arbeit von Donella Meadows. Bis heute wurden diese Empfehlungen nicht gehört, und wir sind immer noch auf die Vorstellung fixiert, wir müssten die Geschwindigkeit des Wachstums möglichst hoch halten, wie wir es in den vergangenen Jahrhunderten getan haben. Das aber ist der völlig falsche Weg, um ein System zu steuern, das sich zweifellos im »Overshoot« befindet und uns unweigerlich in den Ruin treiben wird. Haben wir noch die Zeit zu lernen, wie wir unseren Planeten schonen können? Es bedarf einer echten Revolution des Denkens. Aber Revolutionen können geschehen. Die Revolution des Denkens wird eine sein, die von Donella Meadows vorangetrieben wurde.

## Zum Autor

Ugo Bardi, geboren 1952, lehrt Physikalische Chemie an der Universität Florenz, wo er zu neuen Ansätzen der Energiegewinnung forscht. Bardis Beschäftigung mit dem Stoiker Seneca und dessen Erkenntnis, dass Wachstum sich langsam entfaltet, der Kollaps hingegen plötzlich eintritt, fand Niederschlag in seinem Buch »Der Seneca-Effekt«. Außerdem hat er den Bericht »Der geplünderte Planet« an den Club of Rome verfasst und betreibt das Blog »Cassandra's Legacy«.

# Anmerkungen

- 1 Bardi, Ugo (2016): Jay Wright Forrester (1918–2016): His Contribution to the Concept of Overshoot in Socioeconomic Systems, in: *Biophysical Economics and Resource Quality* 1(2), 12.
- 2 Meadows, Dennis L. et al. (1972): *Die Grenzen des Wachstums*, Stuttgart.
- 3 Bardi, Ugo (2017): *Der Seneca-Effekt. Warum Systeme kollabieren und wie wir damit umgehen können*, München.
- 4 Forrester, Jay W. (1971): Counterintuitive Behavior of Social Systems, in: *Simulation* 16(2), S. 61–76.
- 5 Meadows, Donella H. (1999): *Leverage Points: Places to Intervene in a System* [[www.donellameadows.org/archives/leverage-points-places-to-intervene-in-a-system/](http://www.donellameadows.org/archives/leverage-points-places-to-intervene-in-a-system/); 05.07.2019].
- 6 Vonngeut, Kurt (1985): *Galapagos*, München, S. 233 f.
- 7 Sgouridis, Sgouris; Bardi, Ugo; Csala, Denes (2016): The Sower's Way. Quantifying the Narrowing Net Energy Pathways to a Global Energy Transition, in: *Environmental Research Letters* 11(9), 094009.

Wie können wir in einer Welt, die chaotischer, vernetzter und dynamischer ist als je zuvor, den existenziellen Herausforderungen der Menschheit begegnen? **Donella H. Meadows'** nachgelassenes Werk zeigt mit klarer Sprache, einfachen Erläuterungen, praxisnahen Beispielen und einer Prise Humor, wie komplexe Systeme funktionieren, wie sie sich gegenseitig beeinflussen und wie man sie steuern kann.

Ohne Meadows' Verständnis der Systemdynamik wäre der bahnbrechende Bericht an den Club of Rome »The Limits to Growth« nicht möglich gewesen. Wer das Gedankengebäude hinter den Wachstumsgrenzen verstehen will, muss dieses Standardwerk von den Grenzen des Denkens lesen.

Die *Bibliothek der Nachhaltigkeit* präsentiert Autorinnen und Autoren, die als Pioniere und Vordenkerinnen ihrer Zeit voraus waren und ungewöhnliche Wege des Denkens eröffnet haben. Ihre Texte liefern auch heute noch wichtige Impulse für die Diskussion und Praxis der Nachhaltigkeit, Transformation und Zukunftsfähigkeit unserer Gesellschaft.