

Rolf Kreibich, Fritz Lietsch (Hrsg.)

Zukunft gewinnen!

Die sanfte (R)evolution für das 21. Jahrhundert – inspiriert vom Visionär Robert Jungk



Mit Beiträgen u.a. von Franz Alt; Maximilian Gege; Mathias Greffrath; Bäbel Höhn; Peter Jungk; Rolf Kreibich; Fritz Lietsch; Horst W. Opaschowski; Franz Josef Radermacher; Ortwin Renn; Angelica Schwall-Düren; Ernst-Ulrich von Weizsäcker; Sarah Wiener; Ulrike von Wiesenau



Zukunft gewinnen: Festveranstaltung anlässlich des 100. Geburtstages von Robert Jungk in Berlin. Mit einer Debatte über mehr Demokratie und politisches Engagement unter der Leitung des Vorsitzenden des Landeschülersausschusses Berlin.



Musik verbindet die Welt: Der Chor der Robert-Jungk-Oberschule Berlin präsentiert internationale Lieder für Frieden und Völkerverständigung.



Jung und Alt im Dialog: Zukunftsforscher und Zukunftsgestalter im Gedankenaustausch mit SchülerInnen von Berliner Oberschulen.

Rolf Kreibich, Fritz Lietsch (Hrsg.)

Zukunft gewinnen!

Die sanfte (R)evolution für das 21. Jahrhundert – inspiriert vom Visionär Robert Jungk

Mit Beiträgen u.a. von Franz Alt; Maximilian Gege; Mathias Greffrath; Bärbel Höhn;
Peter Jungk; Rolf Kreibich; Fritz Lietsch; Horst W. Opaschowski; Franz Josef
Radermacher; Ortwin Renn; Angelica Schwall-Düren; Ernst-Ulrich von Weizsäcker;
Sarah Wiener; Ulrike von Wiesenau

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek

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

Alle Rechte vorbehalten

© ALTOP Verlag, München 2015

Redaktion und Organisation: Rolf Kreibich, Fritz Lietsch

Das Werk einschließlich aller seiner Teile ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung außerhalb der engen Grenzen des Urheberrechtsgesetzes ist ohne Zustimmung des Verlags unzulässig und strafbar. Das gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen und die Einspeicherung und Verarbeitung in elektronischen Systemen.

Die Wiedergabe von Gebrauchsnamen, Handelsnamen, Warenbezeichnungen usw. in diesem Werk berechtigt auch ohne besondere Kennzeichnung nicht zu der Annahme, dass solche Namen im Sinne der Warenzeichen- und Markenschutz-Gesetzgebung als frei zu betrachten wären und daher von jedermann benutzt werden dürfen.

Lektorat: Verena Schilffarth; Uta Dobler

Produktionsleitung: Edda Langenmayr

Satz: dtp/layout – agentur für grafik & design, München, www.dtp-layout.de

Titelbild: © Sergey Nivens, fotolia.com

Druckerei: bonitasprint gmbh

Gedruckt mit Druckfarben auf Basis nachwachsender Rohstoffe auf Recyclingpapier Circlesilk Premium White. Die bei der Produktion angefallenen CO₂-Emissionen wurden ausgeglichen.

Printed in Germany

ISBN: 978-3-925646-65-2

Vorwort

Kreibich, Rolf
„Zukunft gewinnen“ 6

Zukunft gewinnen – aber wie?

Schwall-Düren, Angelika
Zukunft gewinnen erfordert Mut – Der Zukunftsforscher Robert Jungk hat 14
bedeutende Weichen gestellt

Spiegel, Peter
Wir-Qualitäten ändern alles – Megatrend WeQ 17

Müllert, Norbert R.
Werkstätten für die Zukunft 25

von Weizsäcker, Ernst Ulrich
Ein große Transformation in kleinen Schritten 31

Gege, Maximilian
Ein Blick in das Jahr 2037 37

Scheub Ute
Die Lösung der Klimakrise liegt uns zu Füßen 44

Jänicke, Martin
Wo es vorangeht – Klimapolitik im globalen Mehrebenensystem 46

Zukunft entwerfen und gestalten

Greffrath, Matthias
„Die Zukunft hat schon längst begonnen“ 60

Höhn, Bärbel
Der Atomausstieg – Vision für eine zukunftsfähige Welt 66

Opaschowski, Horst W.
Lena & Lucas – Über das Leben in neun Jahren 69

Mittelstaedt, Werner
Kulturleistungen für die nachhaltige Entwicklung 73

Jischa, Michael F.
Das Paradoxon unserer Wissensgesellschaft – Mit dem verfügbaren Wissen nimmt 80
gleichzeitig das Nichtwissen zu

Mehr Demokratie und bürgerschaftliches Engagement

von Wiesenau, Ulrike

Vertrauen durch Beteiligung und Transparenz – Die Demokratie-Vision des 98
Berliner Wasser-Volksentscheids

Kreibich, Rolf

Zukunft gewinnen durch Beteiligung an nachhaltiger Entwicklung 105

Menschengerechte Technik und Wirtschaft

Radermacher, Franz Josef

Zukunft gestalten – Potenziale und Gegenkräfte 122

Renn, Ortwin

Diskursive Voraussetzungen für eine nachhaltige Transformation 133
von Wirtschaft und Gesellschaft

Lietsch, Fritz

Unternehmer für eine neue Wirtschaft 143

Holzinger, Hans

Anders Wirtschaften – Warum an einer Postwachstumsgesellschaft kein Weg vorbeiführt 145

Zukunftswissenschaftler und Zukunftsgestalter im Dialog mit der Jugend

Lischke, Eva

Von Robert Jungk lernen: Junge Leute ernst nehmen! 160

Popp, Reinhold

Bildung als Kompass für das Kommende 162

Wiener, Sarah

Zukunft Essen – Wie jeder mit seinem Kochlöffel Zukunft gestalten kann 171

Kreibich, Selma Clara

Lebensmittel verwenden statt verschwenden – „Foodsharing“ als 174
Alternative zur Wegwerfgesellschaft

Mostler, Alea

Unsere Zukunft heißt Bildung 178

Thomas, Uwe

Kann Haiti Zukunft gewinnen? 181

Sonntag Philipp

Raus aus dem finsternen Mittelalter der Menschen 184

Santner Christoph

Eine anastrophale Begegnung – Wie Robert Jungk mein Leben und meine Zukunft prägte 188

Zukunft gewinnen – Freunde und Weggefährten ehren den großen Visionär und Zukunftsgestalter zum 100.

<i>Jungk, Peter Stephan</i> Die andere Seite der Medaille	194
<i>Scheub, Ute</i> Medien sollen Hoffnung machen! Positive statt negative Schlagzeilen	196
<i>Kreibich, Rolf</i> Meine Begegnungen mit Robert (Bob) Jungk	199
<i>Burmeister, Klaus / Beyers, Bert</i> Deine Stimme fehlt	203
<i>Alt, Franz</i> Mein Menschenbeben	208
<i>Mez, Lutz</i> „Bob Jungk“ – mein Lehrer als Technikkritiker und Zukunftsforscher	210
<i>Müller, Michael</i> Gegen die Strömung, gegen den Wind: Bobby, du fehlst uns!	212
<i>Frei, Frederike</i> ErmutigerIn	217
<i>Owsianowski, Rolf-Peter</i> Robert Jungk und der Geist von 1968	218
<i>Quistorp, Eva</i> Entrüstet Euch!	222
<i>Wend, Christian</i> 100 Jahre Jungk: Wann wird sein Geist endlich in Berlin ankommen?	225
<i>Auer, Alfred</i> Vom „Bergwerk“ in das Salzburger Literaturarchiv	227
<i>Spiegel, Peter</i> Die verbleibende Orientierung: Authentizität	230
<i>Sonntag Philipp</i> Die Bomben auf dem Unigelände	231
<i>Spielmann, Walter</i> „Betroffene zu Beteiligten machen“	232
<i>Lietsch, Fritz</i> Nachwort – Vom Reden zum Handeln	254

Zukunft gewinnen!

Durch Robert Jungk haben wir alle begriffen, dass visionäres, unkonventionelles und global vernetztes Denken zwingende Voraussetzungen für Entwurf und Gestaltung „zukunfts-fähiger Zukünfte“ sind. Wir sind überzeugt, dass es wohl das schönste Geschenk für ihn war, für die Tagung und dieses Buch das Thema „Zukunft gewinnen“ auszuwählen.

Von Rolf Kreibich

Die Idee zu diesem Buch kam kurz nach der wunderbaren Veranstaltung „Zukunft gewinnen“, die zum 100. Geburtstag von Robert Jungk im Mai 2013 in Berlin stattfand. Es wird wohl einmalig bleiben, dass so viele Freunde, Weggefährten, Zukunftsdenker und Zukunftsgestalter zusammenkommen, um den großen Visionär und Humanisten, von dem alle viel für ihr Denken und Handeln gelernt haben, zu ehren. Vor allem die persönlichen Beiträge seiner Freunde und Weggefährten bekunden, wie sie alle infiziert wurden von seinem Mut zur Zukunft, seinem Enthusiasmus für eine bessere und gerechtere Welt und seinem unerschütterlichen Optimismus, dass eine bessere Welt möglich ist und kommen wird.

Von diesem Geist sind die Beiträge in diesem Buch geprägt. Sie zeigen langfristige und globale Zukunftsperspektiven aus unterschiedlichen Blickwinkeln, ebenso wie kurz- und mittelfristige Strategien und Maßnahmen, die erforderlich sind, um die weitgesteckten Ziele zu erreichen. Es braucht zwar eine Gesamtbetrachtung der zukunftsrelevanten kulturellen, sozialen, ökonomischen und ökologischen Parameter, um mögliche und wünschbare Zukünfte zu entwickeln, keinesfalls sollen hier jedoch unrealistische Utopien oder ideologische Positionen mit umfassendem Geltungsanspruch aufgebaut werden. Die Beiträge in diesem Buch sind geprägt vom Machbaren und Gestaltbaren und von der Überzeugung, dass nur durch einen transparenten, demokratischen Bürgerdialog Fortschritt und Lebensqualität für alle Menschen im Sinne Nachhaltiger Entwicklung ermöglicht werden.

„Die Aufgabe derjenigen, die sich mit einer human orientierten Gesellschaft befassen, ist es nicht, nun ihrerseits auf elitäre Weise Leitideologien zu entwickeln, sondern Muster gewünschter gesellschaftlicher Zukunft in den vielfältigen Wünschen und Ideen der Menschen zu entdecken, zum Sprechen zu bringen und sichtbar zu machen: ein Prozess, der nie abgeschlossen sein kann, ein Gleichgewicht, das nie definitiv, statisch werden darf, sondern immer wieder Störung durch Neuerungen, Unruhe durch Verbesserungen, niemals aufhörende Selbstkritik als produktive Chancen begreift.“
(Robert Jungk in „Projekt Ermutigung – Streitschrift wider die Resignation“, 1988)

Die Bürgergesellschaft hat sich in den letzten drei Jahrzehnten zu einer starken und innovativen Kraft in Deutschland und Europa entwickelt. Sie ist es hauptsächlich, die heute und in Zukunft die freiheitlich-demokratischen Grundstrukturen verteidigt und fortentwickelt. Vor allem sie wird auch weiterhin zukunftsfähige Perspektiven und Projekte in Gesellschaft, Wirtschaft, Wissenschaft und Bildung anstoßen und implantieren. Robert Jungk war diesbezüglich sehr optimistisch und über-

zeugt davon, dass es zu einem „Menschenbeben“ kommen wird (Menschenbeben 1983). Auch wenn die meisten seiner visionären Gedanken und Vorschläge bis heute Bestand haben, müssen wir an dieser Stelle hinsichtlich ihrer baldigen Umsetzung etwas geduldiger sein. Die empirischen Fakten, insbesondere die Erkenntnisse aus den Demographie- und Jugendstudien, lassen sich keineswegs so interpretieren, dass sich die großen Herausforderungen und Probleme der Zukunft „biologisch“ lösen werden. Im Gegenteil, die heutigen, jüngeren Generationen haben kaum noch politische Leitbilder, aus denen sich ein klarer Orientierungsrahmen für langfristige Zukunftsperspektiven ableiten lässt. Politische Entscheidungen erfolgen in Politik und Wirtschaft weithin kurzfristig und kurzatmig, den situativen und persönlichen Bedürfnissen und Befindlichkeiten angepasst. Die allgemeine Wahrnehmung einer rasanten Komplexitätssteigerung in unserer Gesellschaft ist verbunden mit dem Gefühl der Unüberschaubarkeit sowie mit Unsicherheiten und Ängsten, vor allem im Hinblick auf die fernere Zukunft. Dies drückt sich in weiten Teilen der Bürgerschaft in einem allgemeinen Unbehagen aus. Auch bei den Jugendlichen.

In den Kuschelecken der Gesellschaft wird Meinung kurzlebig

Orientierungen und Entscheidungen sowie die politische Meinungsbildung werden primär von tagesaktuellen Informationen und Diskussionen im Netz und durch Fernsehen, Talkshows und Tagesmedien geprägt. Das führt zu einer Art „Supermarktmentalität“ bei der Informationsgewinnung. Besonders Jugendliche, so die empirischen Befunde, sind stark „konsum-, markt- und leistungsorientiert“ und weithin „unpolitisch“ und mehr oder weniger „auf die Spaßgesellschaft ausgerichtet“. Ein erheblicher Teil „scheut gesellschaftliche Verantwortungsübernahme“. Als neuester Trend führen Verunsicherung und Ängste im Zeichen der zahlreichen weltweiten Krisen und Konflikte sogar zu einer gewissen „Weltflucht“ und zum Rückzug in „wohlstandsgesättigte Kuschelecken der Gesellschaft“.

Hier vor allem setzt das Buch „Zukunft gewinnen“ an. Die Autoren erinnern, dass wir mit dem Leitbild der Nachhaltigen Entwicklung eine reale Vision haben, um eine solide Grundlage für eine zukunftsfähige Entwicklung von Mensch und Natur zu schaffen. Die heute bereits erreichten praktischen Umsetzungen der Leitziele und Strategien der Nachhaltigkeit durch millionenfach erprobte erfolgreiche Initiativen, Projekte, Modelle und Maßnahmen können genügend Anstöße geben, in dieser Weise an der Zukunftsgestaltung aktiv mitzuwirken. Wir zielen mit diesem Buch darauf ab, dass sich gerade junge Leute an diesen großartigen und lohnenden Perspektiven beteiligen, denn Nachhaltigkeitsprojekte haben in der Regel viele Gewinner und nur wenige Verlierer. Das ist auch plausibel, weil für verantwortliche Zukunftsgestalter an oberster Stelle die Gemeinwohlorientierung und die Erhaltung der natürlichen Lebensgrundlagen bei gleichzeitiger Bewahrung und Verwirklichung individueller Freiheiten stehen. Freiheiten dürfen allerdings nicht, wie der herrschende Neoliberalismus es verheißt, unbegrenzt sein, wenn gigantische Schäden an Mensch und Natur und eine unerträgliche Spaltung der Gesellschaft in Arm und Reich die Folgen sind.

Wenn es gelingt, viele Menschen und insbesondere die jungen Generationen für eine Nachhaltige Entwicklung zu begeistern, dann können wir auch optimistisch sein, eine zukunftsfähige und

lebenswerte Zukunft für alle zu gewinnen. Das entspricht dem Credo des großen Visionärs und Zukunftsgestalters Robert Jungk, den wir mit diesem Buch in die Mitte des Denkens und Handelns für diese großen Aufgaben zurückholen wollen.

Den Autorinnen und Autoren dieses Buches gilt mein großer Dank für ihre Mitwirkung. Ebenso möchte ich mich bei meinem Freund Manfred Ronzheimer bedanken, der in zahlreichen Gesprächen zur Konzeption und zum Gelingen des Buches beigetragen hat. Fritz Lietsch gebührt nicht nur besonderer Dank für seinen verlegerischen Einsatz, der half, die Einzelbeiträge zu einem Gesamtwerk in Bezug auf Inhalt und Gestaltung zu machen, sondern auch für seinen seit dreißig Jahren unermüdlichen Einsatz, Zukünfte aktiv zu gestalten.

Rolf Kreibich, Berlin im Oktober 2015

Prof. Dr. Rolf Kreibich

ist Professor für Soziologie der Technik, Technikfolgenabschätzung und Zukunftsforschung. Seine Forschungsschwerpunkte in den Bereichen Zukunftsforschung und Technologiebewertung führten dazu, dass er Mitbegründer mehrerer Zentren und Institute in diesen Bereichen war. Zahlreiche Buchpublikationen und über 500 Fachartikel veröffentlichte er zur Bildungs-, Wissenschafts- und Technologiepolitik sowie der Zukunftsforschung und Nachhaltigen Entwicklung. Rolf Kreibich war in einer Reihe wissenschaftlicher Gremien sowie Enquete-Kommissionen des Bundes und des Landes Berlin tätig. Er ist Vorsitzender des Kuratoriums der Stiftung für die Rechte zukünftiger Generationen, Mitglied des Weltzukunftsrates und des Nachhaltigkeitsrates des Landes Brandenburg. Im Jahr 2013 erhielt er das Bundesverdienstkreuz Erster Klasse der Bundesrepublik Deutschland.

Das Paradoxon unserer Wissensgesellschaft

Mit dem verfügbaren Wissen nimmt gleichzeitig das Nichtwissen zu

Unsere heutige Zeit lässt sich durch das Phänomen „Gegenwartsschrumpfung“ (Lübbe) charakterisieren. Die unbekannte Zukunft rückt ständig näher an die Gegenwart heran. Wir können immer mehr wissen und wissen auch immer mehr. Aber eines werden wir niemals wissen können, nämlich was wir morgen wissen werden, denn sonst wüssten wir es bereits heute. Entscheider in Politik und Wirtschaft stehen vor großen Herausforderungen, weil natürliche und technische Systeme zu Rückkopplungen neigen: Schon einfache Systeme können unvorhersehbar, also chaotisch reagieren. Der Umgang mit Komplexität ist zu der Herausforderung unserer Zeit geworden. Umso wichtiger ist es, systemisches Denken in der Ausbildung zu verankern.

Von Michael F. Jischa

Veränderungen in der Natur werden durch Bilanzgleichungen für Masse, Impuls und Energie beschrieben – wir nennen sie Naturgesetze. Zur Beschreibung natürlicher Vorgänge brauchen wir neben den Bilanzgleichungen weitere Informationen, die das Materialverhalten betreffen. Ein Gletscher hat ein anderes Fließverhalten als ein Lavastrom, und ein Kormoran wird sich in der Luft anders fortbewegen als im Wasser. Es gibt viele Analogien zwischen natürlichen und technischen Systemen, die den gleichen Naturgesetzen unterliegen. So lässt sich die Frage der Überfischung eines Gewässers durch ein Gleichungssystem beschreiben, mit dem auch die Frage nach der Stabilität eines chemischen Reaktors behandelt werden kann. In der Sprache der Mathematik wird unsere Welt durch ein System von nichtlinearen partiellen Differenzialgleichungen zweiter Ordnung beschrieben.

Das Grundproblem aller Managementmethoden bewegt sich auf der Suche nach einfachen und aussagefähigen Bewertungsgrößen zwischen zwei Extremen: Das Einfache ist theoretisch falsch und das Komplizierte ist praktisch unbrauchbar. Kurz: „We need quick and dirty methods“.

Wodurch sind dynamische Systeme charakterisiert? Welche Probleme können bei der Steuerung von komplexen Systemen auftreten? An einfachen natürlichen und technischen Systemen können die grundsätzlichen Probleme studiert werden, die bei der Steuerung von komplexen Systemen jeglicher Art auftreten können. Gründe dafür sind:

- Reale Systeme sind *nichtlinear*.
- Nichtlinearität ist gleichbedeutend mit der Existenz von *Rückkopplungsmechanismen*. In nichtlinearen Gleichungssystemen werden Terme laufend mit sich selbst oder mit anderen gekoppelten Variablen verknüpft. Sie wirken auf sich selbst zurück und können einander aufschaukeln.
- In nichtlinearen Systemen ist das *Ganze stets mehr als die Summe seiner Teile*. Während man bei linearen Differenzialgleichungen aus zwei bekannten Lösungen durch Überlagerung eine neue

Lösung erhält (Prinzip der Superposition), gilt dies bei nichtlinearen Differenzialgleichungen nicht.

- Reale Systeme können *chaotisch* reagieren. Dies hängt von den Parametern des Systems und von dessen Anfangs- und Randbedingungen ab.

Galileo Galilei und der weise Zimmermann

Seit wann wissen wir um diese Probleme? Eine frühe Beschreibung des Phänomens „Nichtlinearität“ ist von Galileo Galilei überliefert. Bedeutende Leistungen im Sinne unserer heutigen Mechanik, jener grundlegenden Disziplin zur Erklärung der Welt, sind von Galilei 1638 in seiner berühmten „Discorsi“ niedergelegt worden, in einer damals üblichen Dialogform. Seine Untersuchungen über die Tragfähigkeit eines Balkens sind die wohl älteste Formulierung eines nichtlinearen Zusammenhangs, dass nämlich die Festigkeit eines belasteten Balkens von seiner Breite linear, aber von seiner Höhe quadratisch abhängt. In der „Discorsi“ diskutieren Simplicio, ein Anhänger der Lehren des Aristoteles, Sagredo, ein fortschrittlich gesinnter und gebildeter Laie, und Salviati, ein die Lehren Galileis verfechtender Wissenschaftler. Galilei lässt Sagredo sagen: „Von der Wahrheit der Sache bin ich überzeugt..., warum bei verhältnisgleicher Vergrößerung aller Teile nicht im selben Maße auch der Widerstand zunimmt.“ Zimmerleute haben aus Erfahrung die längere Kante eines Balkens stets senkrecht gelegt, um die Tragfähigkeit eines Balkens zu erhöhen.

Ständig stoßen wir auf nichtlineare Zusammenhänge. Ein Mensch ist in der Lage, seine eigene Körpergröße zu überspringen. In dieser Beziehung übertrifft ihn der Floh bei Weitem, während noch nicht beobachtet wurde, dass der sehr viel kräftigere Elefant einen Artgenossen zu überspringen vermag. Die Mechanik lehrt uns, warum man bei bloßer geometrischer Vergrößerung oder Verkleinerung keine gigantischen Mücken oder winzige Elefanten „konstruieren“ kann, oder warum Berge und Bäume nicht in den Himmel wachsen.

Die Lösung liegt in den Sternen

Jules Henri Poincaré hat 1912 als Erster den *Determinismus* in Frage gestellt. Er tat dies am Beispiel der Himmelsmechanik, die ja gerade zu einem Triumph des Determinismus geführt hatte. Waren doch die Planeten Neptun und Pluto unseres Sonnensystems zunächst aufgrund von Bahnstörungen der Nachbarplaneten vorhergesagt und anschließend entdeckt worden. Mit irdischen Teleskopen sind bislang rund 500 Planeten gefunden worden, die Sonnen in anderen Sternensystemen umkreisen. Um diese zu finden, suchen Astronomen nach kleinen Unregelmäßigkeiten in der Bahn von Sternen (Kaku 2013). Der Grund für Poincarés Frage nach der Stabilität des Sonnensystems war folgender: Die Newtonschen Gleichungen lassen sich für ein System aus zwei Körpern (Sonne und Erde oder Erde und Mond) exakt lösen. Bei Systemen mit drei Körpern (Sonne, Erde und Mond) ist man auf Näherungslösungen angewiesen. Der kleine zusätzliche Einfluss, den der Mond auf die exakte Zweikörper-Lösung für das System Sonne-Erde hat, musste schrittweise durch eine Reihe von Näherungen hinzugefügt werden. Die Hoffnung lautete, der exakten Lösung nach theoretisch unendlich, praktisch aber endlich vielen Iterationen näherzukommen.

Poincaré machte dabei die Erfahrung, dass das Näherungsverfahren für wenige Iterationen offenbar funktionierte. Er bemerkte jedoch, dass selbst bei winzigen Störungen einige Bahnen ein absolut unvorhersehbares Verhalten zeigen konnten.

Mathematisch ist das Dreikörper-Problem *nichtlinear*. Eigenartigerweise sind die Untersuchungen von Poincaré zunächst nicht weiterverfolgt worden. Erst als in den 1960er-Jahren die Chaosforschung begann, wurde auf seine Untersuchungen zurückgegriffen.

Das Chaos beherrschen

Es ist eine Ironie, dass erst der Computer das Chaos erforschbar machte, wo doch der Computer der Inbegriff des Determinismus ist. Er trifft nach vorgegebenen Befehlen scharfe Entscheidungen mit hoher Genauigkeit und unvorstellbarer Geschwindigkeit. Erst numerische Rechnungen mit dem Computer haben die Brisanz der Aussage „winzige Ursachen können katastrophale Wirkungen haben“ verdeutlicht. So wurde Poincaré fünfzig Jahre später wiederentdeckt. Edward N. Lorenz veröffentlichte 1963 erstmals praktische Konsequenzen dieser Erkenntnis. Und das war, wie so oft in der Wissenschaft, eher das Ergebnis eines Zufalls. Lorenz beschäftigte sich mit mathematischen Modellen zur Wettervorhersage. Seine stark vereinfachten Modellgleichungen bestanden aus einem System von drei gewöhnlichen, nichtlinearen, gekoppelten Differenzialgleichungen erster Ordnung zur Beschreibung der durch Temperaturunterschiede hervorgerufenen Konvektionsbewegung der Atmosphäre. Das Gleichungssystem lässt sich nicht analytisch lösen. Man muss auf in der Mathematik geläufige Näherungsverfahren zurückgreifen. Zur Lösung benötigt man Anfangswerte. Erhalten wir diese Startwerte aus dem Experiment, was der Normalfall ist, so sind sie naturgemäß von beschränkter Genauigkeit. Für die Auswahl der Kleidung mögen ungenaue Angaben über die Temperatur ausreichen, doch als Startwert für eine Wettervorhersage sind sie zu grob.

Der Schmetterlingseffekt und die Chaosforschung

Wir erkennen hier das prinzipielle Problem: Kein Experiment kann uns die Startwerte exakt liefern. Aber warum müssen diese überhaupt exakt sein? Ist es nicht denkbar, dass ein leicht ungenauer Startwert auf das Ergebnis der Modellrechnung einen vernachlässigbaren oder gar keinen Einfluss hat? Das ist in der Tat häufig der Fall, wenn in einem Modell negative Rückkopplungen dominieren. Es sind die positiven Rückkopplungen, die in vielen Modellen enthalten sind, welche aus ungenau bekannten Startwerten unsinnige Ergebnisse machen *können*. Lorenz hatte nun, um lange Rechenzeiten zu vermeiden, Zwischenergebnisse eines früheren Ausdrucks erneut als Startwerte in das Programm eingegeben. Über einen gewissen Zeitraum stimmten die neu errechneten Werte mit jenen der alten Rechnung überein. Doch nach einer gewissen Zeit war jede Ähnlichkeit mit dem vorherigen Resultat verschwunden. Das Modell entwickelte sich in dramatischer Weise anders. Die Ursache wurde rasch klar. Der Computer druckte weniger Stellen hinter dem Komma aus, während er intern mit mehr Stellen hinter dem Komma rechnete. Die von Lorenz eingegebenen Startwerte der Kontrollrechnung wiesen somit kleine Fehler auf. Diese winzigen Abweichungen in den Startwerten konnte das Klimamodell nicht verkraften. Damit waren alle Hoffnungen auf eine langfristige Wettervorhersage geplatzt, denn meteorologische Messdaten sind zwangsläufig ungenau. Lorenz

erkannte, dass man mit einem Computermodell durch Iterationen Chaos erzeugen kann. Er hat dafür den anschaulichen Begriff „Schmetterlingseffekt“ geprägt.

Der Flügelschlag eines Schmetterlings kann irgendwo auf der Erde einen Wirbelsturm auslösen.

Die Systeme sind zwar eindeutig determiniert, können jedoch sehr sensibel auf geringfügig veränderte Anfangsbedingungen reagieren. Dieses Phänomen wird als „deterministisches Chaos“ bezeichnet, mögliche Kippunkte („Tipping Points“) sind inhärente Eigenschaften nichtlinearer Systeme. Für Entscheidungsträger geht es daher um die „Kunst, vernetzt zu denken“ (Vester), um der „Logik des Misslingens“ (Dörner) zu entgehen.

Lineare Systeme sind robust, sie verzeihen Ungenauigkeiten in den Anfangsbedingungen. Nichtlineare Systeme können dagegen außerordentlich sensibel auf winzige Abweichungen in den Anfangswerten reagieren. Mitte der 70er-Jahre ist dafür der Begriff „deterministisches Chaos“ geprägt worden. Er verbindet die nur scheinbar widersprüchlichen Begriffe „deterministisch“ (= vorbestimmt) und „Chaos“ (= Unordnung) miteinander. Das Nebeneinander von Chaos und Ordnung ist zu einem interdisziplinären Forschungsgegenstand geworden. Es hat nicht nur Mathematiker, Naturwissenschaftler und Ingenieure in seinen Bann gezogen. Auch Gesellschafts- und Wirtschaftswissenschaftler befassen sich mit dem Chaos. Wirtschafts- und Börsenkrisen sowie das Zusammenbrechen von Kulturen und Herrschaftssystemen lassen sich oft auf kleine Ursachen zurückführen. Es wird künftigen Untersuchungen vorbehalten bleiben, das Auseinanderfallen des scheinbar stabilen Ostblocks mit Rückkopplungsmechanismen zu erklären.

Halten wir als Fazit fest: Es kann immer dann zu einer Katastrophe, einem chaotischen Verhalten kommen, wenn positive Rückkopplungen in einem nichtlinearen, dynamischen System vorhanden sind, dessen Anfangswerte (zwangsläufig!) nicht absolut genau sein können. Und das ist die Realität der Welt, unabhängig davon, welche Art von Systemen wir betrachten. Das soll im Folgenden anhand von zwei Beispielen erläutert werden. Dazu sollen zuvor charakteristische Wachstumsgesetze vorgestellt werden.

Wachstumsgesetze

Abbildung 1 zeigt das Wachstum der Weltbevölkerung und des Weltenergieverbrauchs seit der Industriellen Revolution. Der Weltenergieverbrauch ist seither deutlich rascher gewachsen als die Weltbevölkerung. Charakteristisch für Wachstum ist die *Verdopplungszeit*. Beim Zerfall radioaktiver Substanzen spricht man analog von der *Halbwertszeit*. Zur Zeit Christi Geburt lebten etwa eine viertel Milliarde Menschen, um 1600 waren es eine halbe Milliarde (Verdopplungszeit 1600 Jahre), um 1830 lebten eine Milliarde (Verdopplungszeit 230 Jahre), 1930 waren es zwei Milliarden (Verdopplungszeit 100 Jahre) und 1974 lebten vier Milliarden Menschen (Verdopplungszeit 44 Jahre). Somit hat die Verdopplungszeit in der Vergangenheit ständig abgenommen. In den letzten Jahrzehnten hat sich die Verdopplungszeit zwischen 35 und 40 Jahren eingependelt. Ende 2011 wurde die Sieben-Milliarden-Marke erreicht, 2050 werden mehr als neun Milliarden Menschen erwartet.

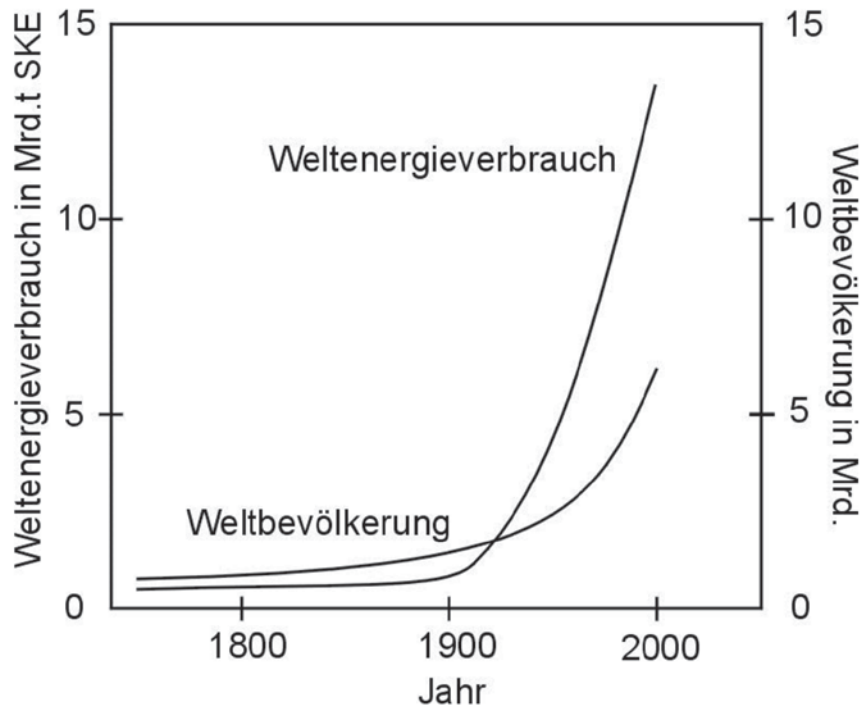


Abb. 1: Entwicklung der Weltbevölkerung und des Weltenergieverbrauchs (in Steinkohleeinheiten) seit der Industriellen Revolution (Jischa 2004, 2014)

Das wichtigste Wachstumsgesetz ist das *exponentielle Wachstum* (Abb. 2). Hierbei ist die Zunahme der Bevölkerung dx/dt der Bevölkerung x proportional, oder der Zuwachs des Kapitals infolge Verzinsung ist dem Anfangskapital proportional. Letztere Aussage würde nur bei kontinuierlicher Verzinsung zutreffen, tatsächlich verzinsen die Geldinstitute jedoch diskontinuierlich. Exponentielles Wachstum bedeutet, dass die Rate dx/dt linear mit der Menge x anwächst. Je mehr Menschen x vorhanden sind, umso mehr werden geboren und umso mehr sterben pro Zeiteinheit. Die Geburtenrate b (von birth) und die Sterberate d (von death) werden auf ein Jahr bezogen, ebenso wie die Wachstumsrate $r = b - d$. Aus dem Ansatz $dx/dt = r \cdot x$ folgt nach Integration $\ln x = r \cdot t + C$. Die Integrationskonstante C wird wegen $x(t = 0) = x_0$ zu $C = \ln x_0$ und es folgt $\ln x - \ln x_0 = \ln x/x_0 = r \cdot t$. Nach Endlogarithmierung folgt das *exponentielle Wachstumsgesetz* $x/x_0 = \exp(r \cdot t)$. Von besonderem Interesse ist die Verdopplungszeit t_v : Nach welcher Zeit hat sich ein Anfangswert x_0 verdoppelt, ist also aus x_0 der Wert $2x_0$ geworden? Wegen $\ln 2 = 0,693 = r \cdot t_v$ gilt die Faustformel $t_v = 70/r$, wobei die Wachstumsrate r in % einzusetzen ist. Beträgt in einem Schwellenland die Wachstumsrate 2 %, so bedeutet das eine Verdopplung der Bevölkerung in 35 Jahren. Einige Entwicklungsländer haben Wachstumsraten zwischen 3 und 4 %, das bedeutet eine Verdopplung in ungefähr 20 Jahren. Das Wachstum der Weltbevölkerung liegt derzeit bei knapp 2 %.

Aus der Diskussion der Abbildung 1 folgt, dass bis auf die letzten Jahrzehnte die Weltbevölkerung stets überexponentiell gewachsen ist, wir sprechen von „hyperbolischem Wachstum“. Ein derartiges Wachstum lässt sich durch den Ansatz $\frac{dx}{dt} = r \cdot x^n$ darstellen mit $n > 1$. Auch diese Beziehung lässt

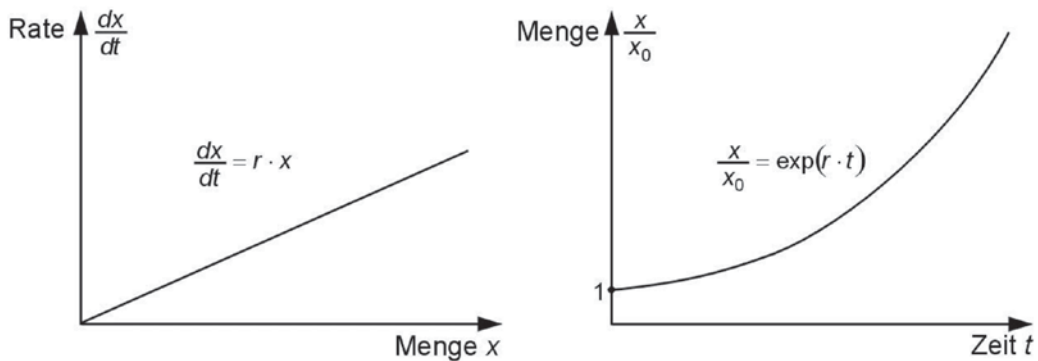


Abb. 2: Exponentielles Wachstum (Jischa 2004, 2014)

sich geschlossen integrieren. Wächst eine Größe überexponentiell, so strebt sie schon für endliche Zeiten gegen unendlich große Werte. Man nennt die Stelle, an der die Funktion im Unendlichen verschwindet, eine „Singularität“. Die Weltbevölkerung ist bis vor rund 50 Jahren überexponentiell gewachsen, seither wächst sie „nur noch“ exponentiell, wie die derzeit nahezu konstanten Verdopplungszeiten belegen. Heutige Szenarien deuten darauf hin, dass sich das Wachstum der Weltbevölkerung in diesem Jahrhundert abschwächen wird.

In natürlichen Systemen gibt es stets Grenzen des Wachstums. Sie können über lange Zeiten weder exponentiell und schon gar nicht überexponentiell wachsen. Pierre F. Verhulst hat 1838 die Beziehung des exponentiellen Wachstums um einen begrenzenden Term ergänzt, das „logistische

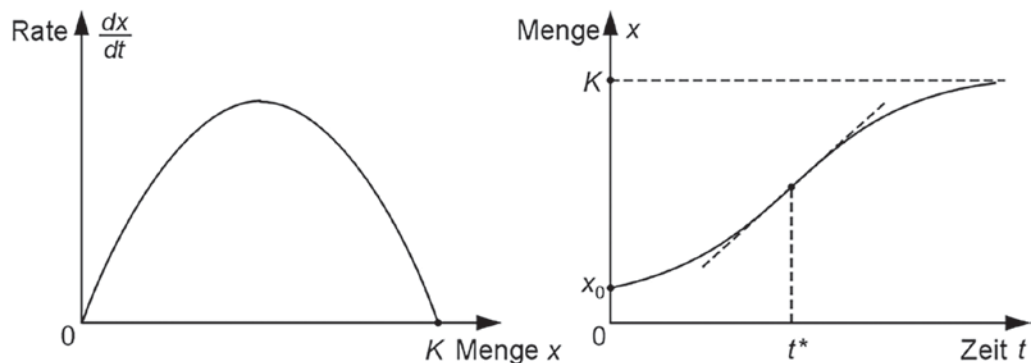


Abb. 3: Logistisches Wachstum (Jischa 2004, 2014)

Wachstum“ genannt wird. Es lautet $dx/dt = r \cdot x (1 - x/K)$. Darin beschreibt K die Kapazitätsgrenze des Systems. Auch diese Beziehung kann geschlossen integriert werden, wie es in Abbildung 3 dargestellt ist. Dort, wo dx/dt , die zeitliche Änderung der Population x , ihr Maximum hat, ist die Steigung der Funktion $x(t)$ am größten.

Deterministisches Chaos beispielhaft

Nach der Darstellung charakteristischer Wachstumsgesetze sollen zwei einfache dynamische Systeme betrachtet werden. Denn nichts ist anschaulicher als eine bildhafte Darstellung. Das erste Beispiel beschreibt ein mechanisches System, das jedem geläufig ist: Das sind zwei ungedämpfte Pendel: ein mathematisches Pendel (links) und das Feder-Masse-Pendel (Mitte) in Abbildung 4.

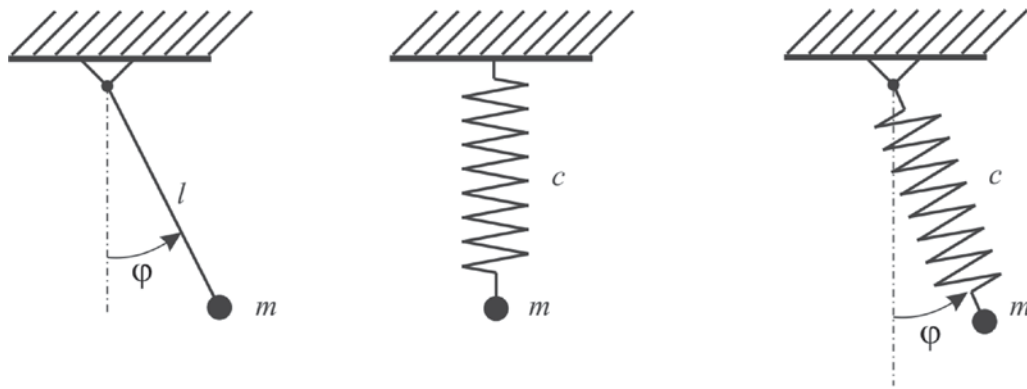


Abb. 4: Punktpendel, Feder-Masse-Pendel, ebenes elastisches Pendel

Mithilfe des Inputsatzes oder des Energiesatzes kann die Schwingungsgleichung des mathematischen Pendels, auch Punktpendel genannt, zur Bestimmung der Auslenkung φ als Funktion in der Zeit t ermittelt werden. Die Schwingungsgleichung für das Feder-Masse-Pendel zur Bestimmung der vertikalen Auslenkung y als Funktion der Zeit t folgt aus dem Impulssatz. In der Kreisfrequenz ω des schwingenden Systems sind die relevanten Parameter zusammengefasst. Das sind die Erdbeschleunigung g und die Pendellänge l bei dem Punktpendel sowie die Federkonstante c und die Masse m bei dem Feder-Masse-Pendel. Beide Schwingungsgleichungen haben die gleiche Form. Die analytische Lösung der linearen gewöhnlichen Differenzialgleichung zweiter Ordnung ergibt eine periodische Sinus-Schwingung, wobei die Periodendauer einer Schwingung und deren Amplitude in eindeutiger Weise von der Kreisfrequenz abhängen.

Wir wollen nun beide Fälle überlagern. Wenn wir die starre Stange des Punktpendels durch eine Feder ersetzen, dann erhalten wir das in Abbildung 4 dargestellte ebene elastische Pendel (rechts). Dieses besitzt nun zwei Freiheitsgrade im Gegensatz zu den beiden einfachen Pendeln mit jeweils einem Freiheitsgrad. Durch Anwendung des Impulssatzes in der horizontalen (x -) Richtung sowie

der vertikalen (y -) Richtung kommen wir zu den Bewegungsgleichungen, die die Schwingungen dieses Pendels beschreiben:

$$\ddot{x} = \frac{c}{m} x \frac{\sqrt{x^2 + y^2} - l_0}{\sqrt{x^2 + y^2}} \quad \ddot{y} = \frac{c}{m} y \frac{\sqrt{x^2 + y^2} - l_0}{\sqrt{x^2 + y^2}} + g$$

Wir erhalten nunmehr zwei gewöhnliche Differentialgleichungen zweiter Ordnung, die *nichtlinear* sind. Der physikalische Grund für die Nichtlinearität liegt darin, dass die Pendellänge von der momentanen Federlänge abhängt. Das Gleichungssystem erlaubt keine analytische Lösung, es muss numerisch integriert werden. Dafür stehen Standardverfahren wie das Runge-Kutta-Verfahren zur Verfügung. Bei vorgegebenen Systemparametern m (Masse), c (Federkonstante) und l_0 (Ruhelänge der unbelasteten Feder) sowie der bekannten Erdbeschleunigung g hängen die Lösungen des Systems der beiden Differentialgleichungen *nur* von den Anfangsbedingungen ab. Dabei können die Anfangsauslenkung und/oder die Anfangsgeschwindigkeit variieren.

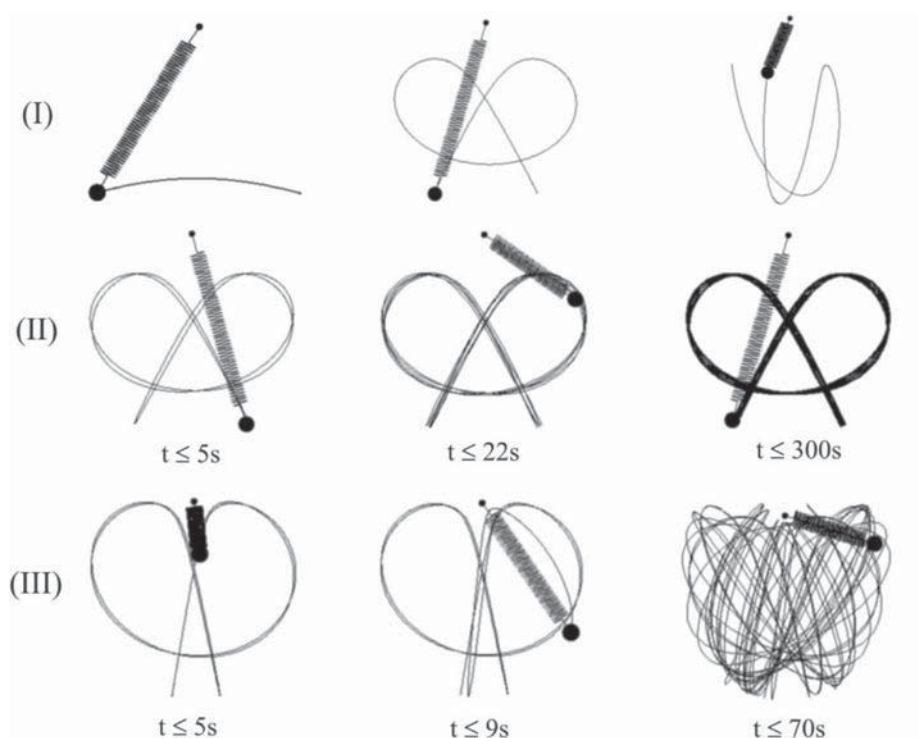


Abb. 5: Lösungskurven für das ebene elastische Pendel

Bei den in Abbildung 5 gezeigten Resultaten der numerischen Simulation ist die Anfangsgeschwindigkeit zu Null angenommen worden, variiert wurde nur die Anfangsauslenkung. Es ergeben sich drei verschiedene Fälle, die sich je nach Wahl der Anfangsbedingungen einstellen können. Es gibt Anfangswerte, die zu *periodischen* Bahnkurven (I) führen. Das Pendel läuft in der numerischen Simulation immer entlang der gleichen Lösungskurven. Von einer periodischen Bahn ausgehend findet man durch eine geringfügige Veränderung der Anfangswerte einen zweiten Typ, die *quasiperiodischen* Bahnkurven (II). Bei weiterer Veränderung der Anfangswerte stellen sich nach einer bestimmten Zeit *chaotische* Bahnkurven (III) ein. Selbst bei diesem einfachen mechanischen Modell mit nur zwei Freiheitsgraden können wir nicht vorab (d. h. vor einer numerischen Integration) entscheiden, welche der drei Bahnkurven sich einstellen wird.

Das zweite Beispiel stammt aus der Ökosystemforschung. Hierzu stellen wir uns zwei Tierarten mit den Populationen x und y vor, die ein gemeinsames Gebiet bewohnen und miteinander um Nahrung und andere Ressourcen konkurrieren. Wir sprechen dann von einem Konkurrenzmodell, das Georgii F. Gause 1934 vorgestellt hat. Jede Art kann für sich allein gedeihen und wächst nach dem logistischen Wachstumsgesetz (Abb. 3). Dabei denken wir etwa an Hasen und Kaninchen auf einer Insel. Die Wachstumsraten der beiden Arten seien r und s , die Kapazitätsgrenzen beider Arten seien K und L . Letztere seien unterschiedlich, da eine Tierart das Gras stärker abfressen kann als die andere. Mit Verwendung des logistischen Wachstums (Abb. 3) nach Verhulst lauten die beiden gekoppelten gewöhnlichen Differenzialgleichungen für die beiden Populationen x und y :

$$\frac{dx}{dt} = \dot{x} = r \cdot x \left(1 - \frac{x}{K}\right) - a \cdot x \cdot y \quad \frac{dy}{dt} = \dot{y} = s \cdot y \left(1 - \frac{y}{L}\right) - b \cdot x \cdot y$$

Der letzte Term drückt die Konkurrenz um die gleiche Nahrungsquelle aus. Dieser ist dem Produkt $x \cdot y$ proportional, wobei die Parameter a und b die Konkurrenzvorteile beschreiben. Ist a groß, so wird die Spezies y der Spezies x gegenüber im Vorteil sein, für große Werte b gilt das Umgekehrte. Wie bei dem klassischen Räuber-Beute-System liegt ein System von zwei gewöhnlichen gekoppelten Differenzialgleichungen vor. Diese sind über den Konkurrenzterm $x \cdot y$ miteinander verknüpft. Auch hier stellen wir die Frage nach möglichen Gleichgewichtszuständen, die aus der Bedingung $dx/dt = dy/dt = 0$ folgen. Im Gleichgewichtszustand gilt somit:

$$r \cdot x \left(1 - \frac{x}{K}\right) = a \cdot x \cdot y \quad \text{und} \quad s \cdot y \left(1 - \frac{y}{L}\right) = b \cdot x \cdot y$$

Hier gibt es genau vier mögliche stationäre Lösungen, wobei die Lösung $x = y = 0$ trivial ist. Liegt nur die Spezies y vor, so folgt für $x = 0$ aus den Gleichgewichtsbedingungen sofort die Aussage $y = L$. Die Spezies y geht dann für große Zeiten gegen ihre Kapazitätsgrenze L , dies entspricht Abbildung 3. Entsprechend geht für $y = 0$ die Spezies x gegen die Kapazitätsgrenze K . Wie bei dem vorangegangenen Beispiel gibt es genau eine stationäre Lösung für das Zusammenleben beider Arten unter Konkurrenz. Diese Lösung folgt aus den Gleichgewichtsbedingungen, aufgelöst nach x und y :

$$x = \frac{(aL-r)sK}{abKL-rs} ; y = \frac{(bK-s)rL}{abKL-rs}$$

Dieser stationäre Gleichgewichtszustand hängt in eindeutiger Weise von den sechs Parametern des Systems ab. Auch hier lautet die entscheidende Frage, wie zeitabhängige Lösungen des Systems außerhalb des stationären Gleichgewichtszustands aussehen. Jede Lösung des Gleichungssystems lässt sich in einem x, y- Diagramm als Punkt darstellen, wobei wir für ein bestimmtes Wertepaar der Anfangswerte x_0, y_0 zur Zeit $t = 0$ jeweils eine Lösungskurve erhalten.

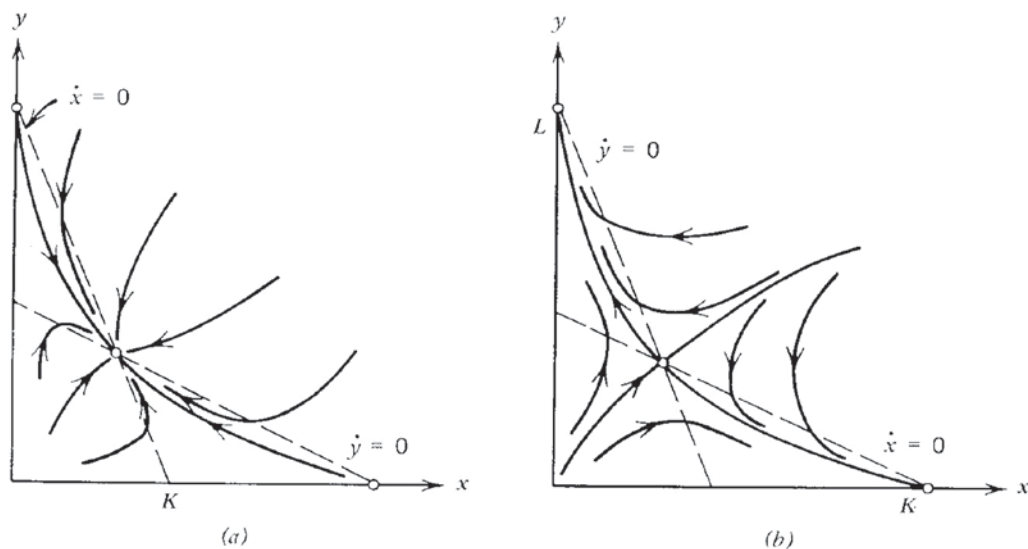


Abb. 6: Lösungen des Konkurrenzmodells (Clark 1990)

Auch hier kann die Lösung nur numerisch erfolgen – Abbildung 6 zeigt beispielhaft einige Lösungskurven. Dies wollen wir ein wenig erläutern, wobei wir zunächst von den Gleichgewichtsbedingungen ausgehen. Daraus erhalten wir für x und y ungleich Null die Gleichungen zweier Geraden:

$$y = \frac{r}{a} \left(1 - \frac{x}{K} \right) = A - Bx \quad \text{für } r\dot{x} = 0$$

$$x = \frac{s}{b} \left(1 - \frac{y}{L} \right) = B - Dy \quad \text{für } r\dot{y} = 0$$

Auf der ersten Geraden ist die Art x konstant, auf der zweiten Geraden die Art y . Je nach Lage dieser beiden Geraden gibt es Fallunterscheidungen. Im Fall (a) ist die Gerade für dx/dt steiler

als jene für dy/dt . Unabhängig von der Wahl der Anfangswerte laufen alle Lösungskurven in den Schnittpunkt beider Geraden, dem stationären Gleichgewichtszustand. Es liegt ein „stabiler Attraktor“ vor, wir sprechen dann von Koexistenz im Wettbewerb. Ist die Steigung der beiden Geraden umgekehrt, also jene für dy/dt größer als jene für dx/dt , Fall (b), dann wird der Schnittpunkt zu einem Sattelpunkt, in dem instabiles Gleichgewicht herrscht. Wir sprechen dann von einem asymptotisch „instabilen Attraktor“. Der Bereich möglicher Lösungen ist nunmehr zweigeteilt. Liegen die Anfangswerte oberhalb einer charakteristischen Linie, so streben alle Lösungskurven gegen den Gleichgewichtszustand $x = 0$ und $y = L$. Liegen die Anfangswerte unterhalb, so streben alle Lösungen gegen $y = 0$ und $x = K$. Die eine Spezies stirbt aus, die andere strebt ihrer Kapazitätsgrenze zu. Auch ohne Kenntnis der numerischen Lösung können die Lösungskurven durch eine Kurvendiskussion qualitativ richtig gezeichnet werden (Beltrami 1993).

In der Literatur finden wir zahlreiche Beispiele für dynamische natürliche und technische Systeme, die aufgrund ihrer innewohnenden Nichtlinearitäten chaotisches Verhalten aufweisen können. Dabei liegt die Betonung auf *können*. Denn es hängt von den Parametern der Systeme und von deren Anfangsbedingungen ab, ob sie chaotisches Verhalten aufweisen oder nicht. Verallgemeinernd können wir sagen, dass kleine Veränderungen (entsprechend den Anfangsauslenkungen in dem besprochenen Beispiel) zu periodischen Lösungen führen. Wir können jedoch nicht vorab entscheiden, bei welchen Anfangsauslenkungen sich keine periodischen Lösungen mehr einstellen – wann also das Chaos beginnt. Dazu brauchen wir eine numerische Simulation, sofern das betrachtete System eine mathematische Modellierung und damit eine Simulation zulässt.

Unser Versagen beim Umgang mit Komplexität

Bevor ich auf Handlungsempfehlungen beim Umgang mit komplexen Systemen eingehen werde, möchte ich Gründe für unser offenkundiges Versagen anführen. *Ein* Grund liegt schlicht darin, dass wir gedanklich zumeist linearisieren. Das Verhängnisvolle daran ist, dass Linearisierungen komplexe Probleme nicht nur drastisch vereinfachen, sondern auch oft sehr erfolgreich sind. Das soll eine kleine Rechenaufgabe veranschaulichen. Stellen wir uns ein Blatt Papier der Stärke 0,1 mm vor, das wir fünfzigmal falten würden: Wie hoch wird der Stapel sein, den wir auf diese Weise erzeugen? Die Lösung lautet: Der Papierstapel entspricht dem 10.000fachen des Erddurchmessers – ähnlich verblüffend ist das bekannte indische Schachbrettmärchen. Oder die Frage, wie hoch der Betrag heute sein würde, wenn ein Vorfahre am Ende des Dreißigjährigen Krieges eine bestimmte Summe Geldes für uns angelegt hätte. Sicher eine theoretische Frage, aber das Ergebnis wäre dennoch überraschend.

Warum haben wir kein Empfinden, keinen Sensor für die katastrophale Dynamik des exponentiellen (oder gar des hyperbolischen) Wachstums? Weil wir es in der Natur und in unserem täglichen Leben meist mit kleinen Wachstumsraten, wie etwa einer niedrigen Verzinsung, zu tun haben, und weil wir letztlich immer in kurzen Zeiträumen denken.

Wir erkennen daran, dass bei kleinen Zeiträumen und kleinen Wachstumsraten durchaus linear extrapoliert werden darf. Mit zunehmenden Zeiträumen und zunehmenden Wachstumsraten werden die Abweichungen zwischen dem tatsächlichen und dem linearisierten Verlauf immer größer.

Der zweite Grund für unser Versagen beim Umgang mit Komplexität liegt darin, dass wir meist in Wirkungsketten und nicht in Wirkungsnetzen denken. An dieser Stelle möchte ich auf zwei „Altmeister“ zurückgreifen: auf den 2003 verstorbenen Biologen Frederic Vester und den Psychologen Dietrich Dörner. Auf die typische Journalistenfrage, wie beide ihr Wirken in einem Satz zusammenfassen würden, hätten sie vermutlich folgende Antwort gegeben: „Wir kämpfen ständig gegen das monokausale, lineare Denken, das allzu dominant ist.“

Beide messen Simulationsspielen einen hohen Stellenwert in der didaktischen Vermittlung von Komplexität zu und beide haben eigene Simulationsspiele entwickelt. Zu Vester sei auf sein letztes Buch „Die Kunst, vernetzt zu denken“ (Vester 1999) verwiesen, in dem seine Veröffentlichungen, seine Ausstellungen und seine Spiele aufgeführt sind. Das von Vester entwickelte Spiel „Ökopolopoly“ ist als Brettspiel und als Simulationsspiel in einer PC-Version erschienen, in einer späteren Fassung „Ecopolicy“ genannt. Damit können in spielerischer Weise nichtlineare, gekoppelte Zusammenhänge zwischen den Variablen eines Systems in einem überschaubaren Wirkungsgefüge „erfahren“ werden. Dieses Spiel ist aus dem Thema „Ökologie in Ballungsräumen“ heraus entstanden, daher sind die acht gewählten Systemelemente, die Variablen, nach den dort herrschenden Lebensbereichen benannt. Dabei werden die Verknüpfungen zwischen den Variablen über Tabellenfunktionen (die von den Spielern verändert werden können) bereitgestellt. Diese Verknüpfungen sollen die realen Wirkungsverläufe möglichst gut wiedergeben und sie sollen derart miteinander vernetzt sein, dass sich genügend Rückkopplungen und Zeitverzögerungen ergeben. Einige der Variablen sind mit sich selbst rückgekoppelt. So wird etwa eine Zunahme der Produktion zunächst eine weitere Zunahme der Produktion stimulieren. Zu hohe Produktion führt jedoch zu Überkapazitäten und Absatzproblemen – die Produktion wird einbrechen. Das Spiel erlaubt Eingriffsmöglichkeiten der Akteure über Aktionspunkte wie politisches Kapital, Handlungsspielraum und Entscheidungspotenzial. Sie bedeuten Einfluss und Vertrauen, Geld, Arbeit, Energie, Rohstoffe und gesicherte Nahrungsversorgung. Nicht vergebene Aktionspunkte werden auf die nächste Runde des Spiels (das nächste Haushaltsjahr) übertragen. Schulden können nicht gemacht werden, der Akteur muss mit den vorhandenen Aktionspunkten auskommen. Die Kunst des „Regierens“ besteht darin, diese Aktionspunkte weise zu verteilen. Ziel des Spiels ist es, eine gewisse Stabilität im Verhältnis der Systemteile zueinander zu erzeugen, ein Gleichgewicht herzustellen. Was aus dem Simulationsspiel gelernt werden kann, sei in Anlehnung an Vester zusammengefasst:

Kein Eingriff in ein vernetztes System bleibt ohne Folgen. In vielen Fällen wirkt ein Eingriff an einer Stelle mit Verzögerungen in teilweise überraschender Weise wieder auf diese Stelle zurück.

Dadurch können sich zunächst positiv erscheinende Änderungen über entsprechende Zwischenglieder ins Gegenteil verkehren. Durch nichtlineare Wechselwirkungen können sich Prozesse derart beschleunigen, dass sie nicht mehr zu kompensieren sind (Bevölkerungswachstum, Umweltbelastung). Vorbeugende Maßnahmen ziehen zwar zunächst einen Teil des begrenzten Aktionskapitals ab, bringen jedoch, je früher man damit anfängt, umso größeren Profit beim Durchlaufen des Re-

gelkreises. Als besonders kritisch erweisen sich Stellen mit positiver Rückkopplung, deren Kontrolle auch den stärksten Einsatz rechtfertigt.

Eine Berücksichtigung großer Zeiträume und vorbeugendes Denken ersparen kostspielige Gegensteuerungen (und Übersteuerungen) des Systems, sie sind effizienter und führen schneller zum Ziel als jedes isolierte Behandeln in zwischen eingetretener Symptome.

Einen Nachteil lediglich als einen solchen zu korrigieren führt ebenso wenig zu einem Gleichgewichtszustand wie das ständige Wiederholen zunächst richtiger Entscheidungen. Nur unter einer klugen dynamischen Folge sich wandelnder Entscheidungen entwickelt sich ein System zur stabilen Selbstregulation.

Als Ergänzung dazu seien Arbeiten von Dörner erwähnt. Hier nenne ich den mehrfach aufgelegten Klassiker „Die Logik des Misslingens – Strategisches Denken in komplexen Situationen“ (Dörner 1989). Seine Erfahrungen mit Laien und Experten zeigen, dass beim Erfassen und Planen komplexer Systeme stets die gleichen schwerwiegenden Fehler gemacht werden.

Es wird in eindimensionalen Wirkungsketten und nicht in Wirkungsnetzen gedacht. Und es werden zeitliche Abläufe – die Dynamik von Wirkungsgefügen – vernachlässigt.

Dörner schreibt, dass Handlungsträger stets in einem System von Verknüpfungen, Wechselwirkungen und Randbedingungen agieren müssen: „Ein Akteur in einer komplexen Handlungssituation gleicht einem Schachspieler, der mit einem Schachspiel spielen muss, welches sehr viele, vielleicht einige Dutzend Figuren aufweist, die mit Gummifäden aneinander hängen, so dass es ihm unmöglich ist, nur eine Figur zu bewegen. Außerdem bewegen sich seine und des Gegners Figuren auch von allein, nach Regeln, die er nicht genau kennt oder über die er falsche Annahmen hat. Und obendrein befindet sich ein Teil der eigenen und der fremden Figuren im Nebel und ist nicht oder nur ungenau zu erkennen.“ (Dörner 1989)

Zur Anschauung sei ein Beispiel aus der Entwicklungshilfepolitik wiedergegeben, bei dem ein zunächst gut gemeintes Eingreifen in ein System ein Problem nicht gelöst, sondern letztlich vollends in die Katastrophe geführt hat:

„Vor Jahren litt ein bestimmter Stamm auf Borneo an Malaria. Die Weltgesundheitsorganisation wusste die richtige Antwort, nämlich literweise DDT zu versprühen, um damit die Moskitos zu töten. Sie sprühten, die Moskitos starben, und die Malaria ging zurück. So weit so gut. Doch dann begannen den Leuten die Hausdächer auf die Köpfe zu fallen, weil, wie es den Anschein hatte, das DDT auch eine parasitäre Wespenart getötet hatte, die normalerweise Raupen, deren Nahrungsmittel wiederum aus Dachstroh besteht, verzehren. Was aber noch schlimmer war: Das DDT vergiftete Käfer, die dann von einigen Eidechsen oder Schlangen gefressen wurden, die wiederum von Katzen aufgefressen wurden. Die Katzen starben dann, dafür gediehen die Ratten, und die

Weltgesundheitsorganisation, die auf diese Weise den Ausbruch einer Rattenplage im Dschungel erzeugt hatte, war dadurch gezwungen, per Fallschirm lebende Katzen über Borneo abzuwerfen.“ (Gibbons 1991)

Das Beispiel zeigt, welche ungeahnte Folgen Eingriffe in komplexe Systeme haben können. Das war seinerzeit ein Plädoyer dafür, das Instrument „Technikfolgenabschätzung/Technikbewertung“ (TA = Technology Assessment) zu etablieren. John H. Gibbons war von 1979 bis 1983 Direktor des 1972 in den USA als Beratungsorgan für den Kongress eingerichteten „Office of Technology Assessment“ (OTA). Das war weltweit die erste staatliche Einrichtung dieser Art. Dadurch wurden in westlichen Industrieländern Diskussionen induziert, die zur Etablierung ähnlicher Einrichtungen führten.

Ich weiß, dass ich nichts weiß

Stellen wir uns das Unbekannte als einen riesigen Ozean vor und unser Wissen als kleine Inseln in dem Ozean. Mit zunehmendem Wissen werden unsere Wissensinseln größer, aber gleichzeitig wachsen die Küstenlinien und damit die Grenzlinien zu dem Unbekannten. Es ist ein Paradoxon der Wissensgesellschaft, dass mit dem verfügbaren Wissen gleichzeitig auch das Nichtwissen zunimmt. Von daher ist die häufig verwendete Bezeichnung „Wissensmanagement“ eigentlich irreführend. Denn bei Entscheidungsprozessen in Wirtschaft und Politik geht es nicht nur darum, das vorhandene Wissen zu managen, sondern mit Nichtwissen umzugehen und dieses Nichtwissen in Entscheidungsprozesse einzubauen. „Handeln trotz Nichtwissen“ (Böschchen et al. 2004) lautet die Herausforderung, es geht um das „Management komplexer Systeme“ (Ludwig 2001). In komplexen Systemen gibt es zwischen Wissen und Nichtwissen viele Schattierungen. Es gibt unscharfes und es gibt unsicheres Wissen, was nicht dasselbe ist. Nichtwissen kann bedeuten, dass wir es heute noch nicht wissen oder dass wir es niemals wissen werden.

Unser Entscheiden reicht weiter als unser Erkennen. Dieser Satz ist über 200 Jahre alt, er stammt von Immanuel Kant und er ist ein schönes Plädoyer dafür, die Disziplin „Technikbewertung“ in Lehre und Forschung auf breiter Front einzuführen. Kant hat einen weiteren Satz geprägt, der an dieser Stelle ebenfalls gut passt: Die Notwendigkeit zu entscheiden ist stets größer als das Maß der Erkenntnis. Anders formuliert: Wie müssen wir mit Nichtwissen in Entscheidungsprozessen umgehen? Die Situation wird durch die unglaubliche Dynamik des technischen Wandels zusätzlich verschärft. Hierzu greife ich auf zwei Philosophen zurück. Hermann Lübbe hat den plastischen Ausdruck „Gegenwartsschrumpfung“ (Lübbe 1994) geprägt. Denn, wenn wir Gegenwart als die Zeitdauer konstanter Lebens- und Arbeitsverhältnisse definieren, dann nimmt der Aufenthalt in der Gegenwart ständig ab. Als eine Folge der unglaublichen Dynamik des technischen Wandels rückt die unbekannte Zukunft ständig näher an die Gegenwart heran. Gleichzeitig wächst in der Gesellschaft die Sehnsucht nach dem Dauerhaften, dem Beständigen. Der Handel mit Antiquitäten, Oldtimern und Repliken blüht, weil sie das Dauerhafte symbolisieren. Zugleich gilt eine für Entscheidungsträger ernüchternde Erkenntnis, die ich nach Karl Popper das „Popper-Theorem“ nenne. Auch wenn sich meine einfache Formulierung nicht direkt bei Popper findet, so lautet eine seiner Kernaussagen etwa folgendermaßen: Wir können immer mehr wissen und wir wissen auch immer mehr. Aber

eines werden wir niemals wissen, nämlich was wir morgen wissen werden, denn sonst wüssten wir es bereits heute. Das bedeutet, dass wir zugleich immer klüger und immer blinder werden. (Popper 1987)

Mit fortschreitender Entwicklung der modernen Gesellschaft nimmt die Prognostizierbarkeit ihrer Entwicklung ständig ab. Niemals zuvor in der Geschichte gab es eine Zeit, in der die Gesellschaft so wenig über ihre nahe Zukunft gewusst hat wie heute. Gleichzeitig wächst die Zahl der Innovationen ständig, die unsere Lebenssituation strukturell und meist irreversibel verändert.

Der Umgang mit Komplexität ist die zentrale Herausforderung unserer Zeit. Dafür sind wir schlecht gewappnet, denn unsere Ausbildungsgänge an den Hochschulen sind nach wie vor reduktionistisch ausgerichtet. Der Reduktionismus ist eben so erfolgreich (gewesen!). Der Umgang mit Komplexität verlangt mehr. Wir brauchen ein „Denken der Zukunft: Lernen, in Beziehungen zu denken. Unterscheidungsvermögen und Anschlussfähigkeit ausbilden“ (Mutius 2000). Bernhard von Mutius plädiert für eine neue Denkkultur. Denn die Wirklichkeit entzieht sich unseren einfachen Vorstellungen. Unsere gedankliche Ausrüstung ist antiquiert. Wir müssen lernen, in Beziehungen zu denken. Wir müssen dem „Dazwischen“ mehr Beachtung schenken. Anschlussfähigkeit ist gefordert, um problemadäquat reagieren zu können. Von Mutius zitiert den ethischen, beziehungsweise „kybernethischen“ Imperativ, den Heinz von Foerster formuliert hat:

„Handle stets so, dass die Zahl der Wahlmöglichkeiten wächst.“

Unser Handeln muss darauf ausgerichtet sein, Suchräume zu erweitern und nicht zu verengen, die Optionenvielfalt zu erhöhen und nicht einzuschränken. Wir haben in der Wissenschaft das Zerlegen, Teilen und Auseinanderdividieren perfektioniert. Der Reduktionismus hat uns sehr weit gebracht, er hat jedoch einen wesentlichen Tatbestand verschüttet: Es geht primär um Systeme, um deren Verhalten und um Fragen nach deren Stabilität und Beeinflussbarkeit. Zweifellos bedarf die Analyse komplexer Systeme der Kenntnisse über die einzelnen Bestandteile des Systems. Um eine chemische Anlage konzipieren und steuern zu können, müssen die einzelnen Komponenten und Verfahrensschritte beherrscht werden. Aber entscheidend ist das systemische Wissen, das kaum gelehrt wird. Erst in jüngerer Zeit taucht der Begriff „System“ nach und nach in Studiengängen, in Vorlesungen, in Institutsbezeichnungen oder in Stellenbeschreibungen auf.

Wir brauchen Ingenieure mit mehr Weitblick. In unseren Ausbildungsgängen herrscht nach wie vor ein eklatanter Mangel an Fächern, die systemisches Denken vermitteln.

Nachdenken über die sozialen und ökologischen Folgen unseres Handelns findet bei Ingenieuren kaum statt, es sei denn in Vorlesungen wie Technikbewertung oder Technikgestaltung (Jischa 2012). Bedauerlicherweise gehört eine derartige Vorlesung bislang nur an wenigen Hochschulen zu den Pflichtveranstaltungen für Ingenieure. Öffentliche Diskussionen über Akzeptanz und Folgen von Technik laufen zumeist ohne Ingenieure ab.

Einfache Rezepte beim Umgang mit Komplexität wird es nicht geben. Die wahrnehmbare Welt ist nun einmal von Nichtlinearitäten geprägt und neigt daher zu Überraschungen. Darüber sollten wir alles andere als unglücklich sein. Denn in einer linearen Welt wäre alles vorhersagbar, wir würden die Zukunft vorausberechnen können. Das wäre nicht nur langweilig, sondern auch überaus erschreckend. Wenn wir schon keine Rezepte angeben können, dann zumindest Empfehlungen. Da jedes System charakteristische Totzeiten besitzt, die wir in der Regel nur ungenau kennen und die stark unterschiedlich sein können, so lautet eine erste Empfehlung, bei äußeren Eingriffen in ein komplexes System zunächst einige Zeit (wie lange?) abzuwarten, bevor ein neuer Eingriff vorgenommen wird. Eine zweite Empfehlung wäre, kleine Eingriffe vorzunehmen.

Nachbemerkung

Was hat dieser Text mit Robert Jungk zu tun? Weitaus mehr, als in dem Beitrag deutlich gemacht wurde. Denn Zukunftsforschung, wie Robert Jungk sie betrieben hat, bedeutet auch stets eine kritische Auseinandersetzung mit der Vergangenheit, der „geronnenen Zukunft“. Abgesehen von den Utopisten, beginnend mit Thomas Morus, Campanella und Francis Bacon im 16. und 17. Jahrhundert, gehört Robert Jungk zu den frühen Pionieren, die sich kritisch mit technischen Allmachtsfantasien und deren Folgen auseinandergesetzt haben. Sein Klassiker „Die Zukunft hat schon begonnen“ von 1952 und weitere Texte zeugen von Weitblick, sie sind von kaum zu überbietender Aktualität. Eine seiner Kernbotschaften lautete: *Der technologische Fortschritt hat seinen Preis, den die Gesellschaft mit der Freiheit des Individuums bezahlt*. 1968 hat der Club of Rome bei seiner Gründung drei Leitsätze formuliert. Sie betrafen

- *die Bedeutung eines holistischen Ansatzes zum Verständnis der miteinander vernetzten Weltprobleme,*
- *die Notwendigkeit von langfristig angelegten Problemanalysen und*
- *die Aufforderung global zu denken und lokal zu handeln.*

Das war eine Vorwegnahme des in dem Brundtland-Bericht von 1987 „wiederentdeckten“ Leitbildes „Nachhaltigkeit“ (Hauff 1987). Klaus Michael Meyer-Abich schrieb, dass „alle bisherigen Aktivitäten zum Schutz der Umwelt nichts an dem für die bisherige Umweltpolitik charakteristischen Dreisatz geändert haben:

- *So geht es nicht weiter.*
- *Was stattdessen geschehen müsste, ist im Wesentlichen bekannt.*
- *Trotzdem geschieht – im Wesentlichen – nichts“.* (Meyer-Abich 1990)

Das lässt sich als abschließendes Fazit in zwei zentrale Problemfelder zusammenfassen. Wie kommen wir vom Erkennen zum Handeln? Und wer sind die handelnden Akteure – auf lokaler, regionaler, nationaler und internationaler Ebene? Was nottäte, ist ein „Gesellschaftsvertrag für eine Große Transformation“ (WBGU 2011).

Prof. (em.) Dr.-Ing Michael F. Jischa

erlangte 1965 nach seiner Lehre als Kraftfahrzeug-Handwerker das Diplom in Maschinenbau an der TH Karlsruhe und erhielt den Redtenbacher-Preis. 1968 folgten seine Promotion und 1971 die Habilitation für Strömungsmechanik an der TU Berlin. Er war als Professor in den Bereichen Thermo- und Fluidodynamik, Strömungslehre und Technische Mechanik in Bochum, Essen und Clausthal-Zellerfeld sowie in verschiedenen Ländern tätig. Einige frühere Mitgliedschaften umfassen die VDI-Ausschüsse „Technikbewertung“ sowie „Gesellschaft und Technik“, die Jury des Deutschen Umweltpreises der DBU und die Hanns-Lilje-Stiftung. Er ist Ehrenpräsident der Deutschen Gesellschaft Club of Rome und emeritierte im März 2012.

Quellenverzeichnis

- Beltrami, E.* (1993): Von Krebsen und Kriminellen. Mathematische Modelle in Biologie und Soziologie, Vieweg, Braunschweig.
- Bösch, S. und andere* (Hg.) (2004): Handeln trotz Nichtwissen, Campus, Frankfurt am Main.
- Clark, C. W.* (1990): Mathematical Bioeconomics. The Optimal Management of Renewable Resources, Wiley & Sons, New York.
- Dörner, D.* (1989): Die Logik des Misslingens, Rowohlt, Reinbek.
- Gibbons, J. H.* (1991): Technikfolgenabschätzung am Office of Technology Assessment. Die Entwicklungsgeschichte eines Experiments, in: Kornwachs, K. (Hg.): Reichweite und Potenzial der Technikfolgenabschätzung, Poeschel, Stuttgart.
- Hauff, V.* (Hg.) (1987): Unsere gemeinsame Zukunft. Der Brundtland-Bericht der Weltkommission für Umwelt und Entwicklung, Eggenkamp, Greven.
- Jischa, M. F.* (1993): Herausforderung Zukunft. Technischer Fortschritt und ökologische Perspektiven, Spektrum Akad. Verlag, Heidelberg.
- Jischa, M. F.* (2004): Ingenieurwissenschaften. Reihe Studium der Umweltwissenschaften, Springer, Berlin.
- Jischa, M. F.* (2005): Herausforderung Zukunft. Technischer Fortschritt und Globalisierung, Elsevier/Spektrum Akad. Verlag, Berlin/Heidelberg.
- Jischa, M. F.* (2008): Management trotz Nichtwissen, in: Gleich, A. von und Gößling-Reisemann, S. (Hg.): Industrial Ecology, Vieweg + Teubner, Wiesbaden.
- Jischa M. F.* (2012): Technikfolgenabschätzung lehren – seit wann, warum und wie?, in: Dusseldorp, M. und Beecroft, R. (Hg.) (2012): Technikfolgen abschätzen lehren. Bildungspotenziale transdisziplinärer Methoden, Springer VS, Wiesbaden.
- Kaku, M.* (2013): Die Physik der Zukunft. Unser Leben in 100 Jahren, Rowohlt TB, Reinbek.
- Ludwig, B.* (2001): Management komplexer Systeme, Edition Sigma, Berlin.
- Lübbe H.* (1994): Im Zug der Zeit, Springer, Berlin.
- Meyer-Abich, K. M.* (1990): Aufstand für die Natur, Hanser, München.
- Mutius, B. von* (2000): Die Verwandlung der Welt. Ein Dialog mit der Zukunft, Clett-Kotta, Stuttgart.
- Neiryneck, J.* (2006): Der göttliche Ingenieur, Expert, Renningen.
- Popper, K.* (1987): Das Elend des Historizismus, Mohr, Tübingen.
- Vester, F.* (1999): Die Kunst vernetzt zu denken, DVA, Stuttgart.
- WBGU* (2011): Welt im Wandel. Gesellschaftsvertrag für eine Große Transformation, Berlin.