

## Prolog: Worum geht es?

Als Junge habe ich beobachtet, dass sich bei schwachem Wind Bäume und Blätter kaum bewegen, dagegen umso heftiger, je stärker der Wind weht. Daraus habe ich den Schluss gezogen, dass sich die Bäume – durch welche Kraft auch immer – bewegen und dadurch den Wind erzeugen. Später habe ich gelernt, dass die Bäume durch den Wind bewegt werden. Ursache und Wirkung haben sich umgekehrt. Daran möchte ich die Begriffe *Korrelation* und *Kausalität* verdeutlichen. Meine erste Beobachtung war insoweit korrekt, als es einen Zusammenhang, eine *Korrelation*, zwischen der Bewegung der Bäume und der Stärke des Windes gibt. Meine Schlussfolgerung war jedoch falsch. Nicht die Bäume machen den Wind, sondern der Wind bewegt die Bäume. Die *Kausalität* hatte sich umgekehrt.

Dieses Muster ist typisch für viele Diskussionen, ein Beispiel hierfür sind Talkshows. Niemand bestreitet, dass es eine Korrelation zwischen Preisen und Löhnen gibt. Preise *und* Löhne steigen. Wenn es um die Frage nach dem *warum* geht, nach der Kausalität, dann erleben wir ein typisches Schauspiel. Die Sichtweise der Arbeitgeber lautet, die Preise müssen steigen weil die Löhne steigen. Die Argumentation der Gewerkschaften lautet umgekehrt, die Löhne müssen steigen weil die Preise steigen. Dieses Muster eindeutiger Korrelationen aber unterschiedlich behaupteter Kausalitäten erleben wir ständig. Bei der Diskussion zwischen politischen Parteien, unterschiedlichen gesellschaftlichen Gruppen und zwischen Staaten. Von Charles de Gaulle habe ich die Formulierung »Staaten haben keine Freunde, sie haben Interessen« in Erinnerung. Das gilt generell. Alle Diskussionspartner in Talkshows und Workshops vertreten Interessen. Diese werden argumentativ kaschiert. Geäußerte Kausalitäten der Gegenseite werden gerne mit der Vokabel ideologisch behaftet und die eigene Position als ideologiefrei dargestellt, als objektiv und rational. Der Begriff Rationalität ist verräterisch, denn es gibt unterschiedliche Rationalitäten. Das wird bei Risikodiskussionen deutlich. Die *Akzeptabilität* der Experten bei Technologien wie etwa Kerntechnik, Fracking und Gentechnik ist etwas anderes als die *Akzeptanz* der Gesellschaft.

In dem Buch geht es um *Korrelationen* und *Kausalitäten* bei *natürlichen* und *technischen Systemen*, diese lassen sich durch *Naturgesetze* beschreiben. Eine *mathematische Modellierung* der Systeme ist die Voraussetzung für eine anschließende *Simulation* und Interpretation der Ergebnisse. Es werden einfache Modelle vorgestellt, an denen die *Dynamik in Natur und Technik* erläutert wird. Es ist mein zentrales Ziel, das *Prinzip Dynamik* zu erläutern.

Nur dann können wir den *Wandel verstehen und gestalten*. Denn nichts ist beständiger als der Wandel.

Eine kurze Antwort auf die Frage *worum geht es* lautet »So geht es nicht weiter. Was stattdessen geschehen müsste, ist im Wesentlichen bekannt. Dennoch geschieht es – im Wesentlichen – nicht«, siehe „*Aufstand für die Natur*“ (Meyer-Abich 1990). Es geht um das große Ganze; eine Auflistung gegenwärtiger und zukünftiger Krisen liest sich wie ein Horrorszenario. Es soll hier nicht nur um ein weiteres Buch zur Schilderung krisenhafter Entwicklungen gehen. Dazu gibt es hinreichende Literatur, auf die ich mich beziehe. Es geht in diesem Buch primär um die Frage, *was wir wissen müssen*, um dynamische Entwicklungen in Natur und Technik zu beschreiben, zu verstehen und zu managen. Erst *danach* können Handlungsoptionen entwickelt werden. Ich werde Vorschläge unterbreiten, in welcher Weise die universitäre Ausbildung in den technischen und naturwissenschaftlichen Studiengängen verbesserungsbedürftig ist. Hier ist einiges aus dem Ruder gelaufen, die Fokussierung auf eine direkte *Verwendbarkeit und Beschäftigungsfähigkeit (Employability)* hat nicht dazu geführt, dass wir *Ingenieure und Naturwissenschaftler mit Weitblick* ausbilden.

Teil I befasst sich mit grundlegenden Begriffen, über die eine erstaunliche Unwissenheit besteht. Obwohl es sich um Begriffe handelt, mit denen wir ständig umgehen. Wir denken linear, obwohl wir von nichtlinearen Phänomenen umgeben sind. Wer kann erklären, was exponentielles Wachstum bedeutet? Alle Handlungen in Politik und Wirtschaft führen zu *Rückkopplungen*, deren Resultate nicht selten die ursprüngliche Absicht konterkarieren. Wir leben innerhalb *vernetzter Systeme*, deren Mechanismen wir kaum verstehen. *Regelkreise* sind allgegenwärtig, auch wenn wir sie kaum zur Kenntnis nehmen.

Zur Erläuterung der grundlegenden Begriffe ist ein wenig Mathematik erforderlich, insbesondere zur Darstellung charakteristischer Wachstums-gesetze. Ich werde im Text sparsam mit Mathematik umgehen, denn *jede Formel in einem Buch halbiert die Zahl der Leser*. Daher wird eine behutsame Einführung in die Theorie mathematischer Ableitungen und der Differenzialgleichungen gegeben. Das wird für die weiteren Erläuterungen notwendig sein. Gleichwohl habe ich versucht, den Text so zu gestalten, dass er auch ohne Formeln verstanden werden kann. Schön wäre es, wenn Teil I bei den Lesern das Interesse an der Mathematik fördern oder gar wecken könnte. Denn die Naturgesetze, die Bilanzgleichungen für Masse, Impuls und Energie, sind in der Sprache der Mathematik geschrieben. Ohne Mathematik ist alles nichts. Mathematik ist *die* zentrale Voraussetzung für das Verständnis der naturwissenschaftlichen und technischen Disziplinen.

In Teil II werden charakteristische dynamische Prozesse in Natur und Technik beispielhaft erläutert. Dabei geht es nicht um Vollständigkeit, sondern um das Herausarbeiten charakteristischer Eigenschaften dynamischer Systeme. Ein Feder-Masse-Pendel und zwei Populationen, die um die gleiche Nahrungsquelle konkurrieren, *können chaotisch reagieren*. Sie entziehen sich auf merkwürdige Weise einer Vorhersage. Die Anfangsbedingungen entscheiden darüber, *wie* sich dynamische Systeme entwickeln, vorhersagbar oder chaotisch. Dieser Teil ist eine Einführung in die Disziplin *Modellierung und Simulation*. Hier gilt das Bonmot, dass alle Modelle falsch sind, aber einige nützlicher seien als andere. Es kommt in komplexen Systemen primär darauf an, die erste *nichttriviale* Lösung zu finden. In diesem Teil wird der Schritt *von gewöhnlichen zu partiellen Ableitungen* vollzogen. Bei der Behandlung dynamischer Prozesse in der Atmosphäre sind die Zustandsgrößen Druck, Dichte, Temperatur und Windgeschwindigkeit von Ort und Zeit abhängig. Zu deren Beschreibung werden *partielle Differenzialgleichungen* benötigt, sie sind ein Kernstück der Angewandten Mathematik.

Teil III ist dynamischen Prozessen unserer Erde gewidmet. Am Beginn steht eine Einführung in die Evolution der Erde. Daran schließt sich die Himmelsmechanik an, sie markiert den Beginn der *Wissenschaftlichen Revolution*. Vor gut 500 Jahren begann jenes große europäische Projekt *Aufklärung* und *Säkularisierung*, bestehend aus den Prozessen *Renaissance*, *Humanismus*, *Reformation* und *Heliozentrismus*. „*Das Wunder Europa*“ (Jones 1991) führte zur „*Verwandlung der Welt*“ (Osterhammel 2009), ausgehend von Europa. Es werden dynamische Prozesse in den Sphären Luft, Wasser und der Erdoberfläche beschrieben. Daran schließt sich die Behandlung der Biosphäre, der Biodiversität und der Artenvielfalt an. Eine kurze Geschichte der Ökologie rundet den Teil ab.

Teil IV behandelt dynamische Prozesse in der Technik, dazu ist ein kurzer Einstieg in die Naturgesetze erforderlich. Da diese in gleicher Weise für natürliche und technische Systeme gelten, wird stets die Brücke zu natürlichen Systemen geschlagen. Ein Kriterium für die Auswahl der Beispiele ist das Aufzeigen von Analogien. Der Verkehrsfluss ähnelt bei geringem Verkehr der Strömung eines Gases, bei dicht fließendem Verkehr der Strömung einer Flüssigkeit und im Stau einem Festkörper. Der *Stau aus dem Nichts* hat Ähnlichkeit mit bestimmten Zuständen von Schüttgütern und der Ausbildung von Sanddünen. Wellen sind universelle Phänomene. Es gibt seismische Wellen nach einem Erdbeben, Monsterwellen nach einem Tsunami, Wasserwellen und unsichtbare Wellen zur Übermittlung von Informationen durch Rundfunk und Fernsehen. Die vor wenigen Jahrzehnten eingeführte Disziplin *Bionik* verbindet in interessanter und überraschender Weise natürliche und technische Systeme. Abgeschlossen wird dieser Teil durch ein

Staunen über die Mathematik, die als universelle Metadisziplin über allem schwebt.

Teil V vertieft die Frage *Worum geht es?* Ausgehend von dem Begriff *Anthropozän* wird in bekannte Problemfelder eingeführt. Das sind der anthropogene Treibhauseffekt, die Vernutzung der Ressource Wasser, die Bedrohung der Ozeane und der Artenvielfalt sowie die Frage nach der Ernährung der wachsenden Weltbevölkerung. Nach einem Exkurs über die Wahrnehmung der Zukunft im Wandel der Geschichte werden die „*Grenzen des Wachstums*“ (Meadows u. a. 1972) sowie die Geschichte und charakteristische Publikationen des *Club of Rome* behandelt. Danach werden die *Bewusstseinswende* der 1960er Jahre sowie verschiedene Phasen der *Umweltschutztechnik* und *Umweltpolitik* beschrieben. Es wird auf internationale und nationale Aktivitäten und Konferenzen sowie auf charakteristische Bücher jener Zeit eingegangen. Das abschließende Kapitel schildert Ansätze, das diffuse Leitbild *Nachhaltigkeit* zu operationalisieren. Dazu wird auf das Instrument *Technikbewertung* eingegangen.

Teil VI hat autobiografischen Charakter, ich werde darin auf eigene um 1990 an der TU Clausthal begonnene Aktivitäten in Lehre und Forschung zurückgreifen. Im Wintersemester 1991/92 habe ich erstmalig neben meinen Lehrverpflichtungen in Mechanik und Strömungsmechanik im Rahmen des Studium Generale eine Vorlesung „*Herausforderung Zukunft*“ mit einer Behandlung der *Weltprobleme* gehalten. Die Resonanz war groß, im Audimax mit 300 Plätzen saßen – bei damals 3 000 Studenten – etliche auch auf den Treppenstufen. Als Vertiefungen sind daraus die Vorlesungen „*Technikbewertung*“ sowie „*Dynamische Systeme in Natur, Technik und Gesellschaft*“ hervorgegangen. Alle drei Vorlesungen sind wenig später Pflichtveranstaltungen geworden. Die Aktivitäten in der Lehre wurden begleitet durch die Gründung einer Arbeitsgruppe *Forum Clausthal*, die sich in Seminarveranstaltungen schwerpunktmäßig dem Thema *Nachhaltigkeit* gewidmet hat. Meine Forschungsthemen habe ich seit jener Zeit verlagert auf *Technikbewertung*, *Nachhaltigkeits-Management* und den Zusammenhang (*Korrelation*) zwischen *Gesellschaft und Technik*. Der vorliegende Text ist stark davon geprägt.

Bedauerlicherweise kokettieren Entscheidungsträger nicht selten damit, von Mathematik, Physik und Chemie wenig zu verstehen. Wir leben nach wie vor in einer Welt der „*Zwei Kulturen*“ (Snow 1959), geprägt durch das Schisma von *Geistes- und Gesellschaftswissenschaften* einerseits und den *Natur- und Technikwissenschaften* andererseits. Das habe ich in Vorträgen vor Hörern der *ersten Kultur* leidvoll erlebt. Etliche Male habe ich im Kloster Loccum im Rahmen der Vikars-Ausbildung vor Theologen über Themen vorgetragen, die ich in diesem Buch behandle. Die Bevölkerungsdynamik

lässt sich ohne eine Diskussion typischer Wachstumsgesetze nicht erläutern. Wenn ich den Vikaren vorab die Frage stellte, wie viele Kinder bezogen auf eine Stadt wie Goslar (50 000 Einwohner), Hildesheim (100 000 Einwohner) oder Hannover (500 000 Einwohner) innerhalb eines Jahres geboren werden und wie viele Menschen sterben, dann erhalte ich die korrekte Antwort: Zweimal bzw. zehnmal so viele wie in Goslar. Wenn ich das in die Formel  $dx/dt = (b - d)x$  übersetze, dann geht bei vielen Hörern reflexartig eine innere Klappe herunter und nur wenige hören zu. Die Formel beschreibt die Änderung der Population  $x$  mit der Zeit  $t$ , dabei bedeuten  $b$  die Geburtenrate (*birth*),  $d$  die Sterberate (*death*), die Differenz  $b - d = r$  (*rate*) ist die Wachstumsrate. Aus dem Ratenansatz folgt nach Integration das *exponentielle Wachstum*, eines der wichtigsten Wachstumsgesetze überhaupt.

Das Schisma zwischen den *Zwei Kulturen* ist nach Snow mehrfach behandelt worden. In „*Bildung*“ (Schwanitz 1999) wird behauptet: »Die naturwissenschaftliche Kenntnisse werden zwar in der Schule gelehrt; sie tragen auch einiges zum Verständnis der Natur, aber wenig zum Verständnis der Kultur bei [...] Naturwissenschaftliche Kenntnisse müssen zwar nicht versteckt werden, aber zur Bildung gehören sie nicht«. Das zeugt von Arroganz und Ignoranz. Die fällige Gegenrede „*Die andere Bildung – Was man von den Naturwissenschaften wissen sollte*“ (Fischer 2001) folgte unverzüglich.

»Das Buch ist kein Konzentrat, sondern bietet eher Geschmacksproben an.« Das Zitat aus dem Vorwort des Buches „*Erfahrung Mathematik*“ (Davis u. Hersch 1985) beschreibt meine Intention. Ich möchte einerseits das Interesse an mathematischen, naturwissenschaftlichen und technischen Grundlagen wecken, *denn unsere Gesellschaft ist zunehmend technologisch durchimprägniert*. Zum zweiten möchte ich – in der Sprache des *Club of Rome* – auf die Weltprobleme eingehen und Lösungsansätze behandeln. Dazu sind naturwissenschaftliche und technische Grundlagen notwendig. Aber *notwendig und hinreichend* verlangt mehr, *wir brauchen Naturwissenschaftler und Ingenieure mit mehr Weitblick*. Für diese Zielgruppe habe ich das Buch geschrieben. Ich würde mir wünschen, dass auch Vertreter anderer Disziplinen das Buch mit Gewinn lesen. Es zeichnet sich immer deutlicher ab, dass sich die Probleme der realen Welt nicht innerhalb der klassischen akademischen Disziplinen behandeln lassen. Die disziplinar ausgerichteten Lehrpläne und akademischen Strukturen haben auf die „*Herausforderung Zukunft*“ (Jisca 1993) bislang unzureichend reagiert. Erst die *Bewusstseinswende der 1960er Jahre* hat punktuell zur Gründung von Einrichtungen geführt, in denen Experten aus unterschiedlichen akademischen Disziplinen problemorientiert zusammenarbeiten. In Teil VI skizziere ich Vorschläge, die diesen Mangel beheben können.

Den Text habe ich mit der Spracherkennungssoftware Dragon NaturallySpeaking direkt in das Notebook diktiert. Wie bei früheren Büchern haben mich studentische Mitarbeiter engagiert unterstützt. Zu Beginn hat Jaffan Hussein Formeln geschrieben und Bilder gezeichnet. Die Arbeit hat Jonathan Hering fortgesetzt, der Bilder gezeichnet und Formeln erstellt hat. Anschließend hat Jonathan aus der Worddatei eine Latex Version erstellt und Formatierungen bis zur endgültigen Druckversion nach Vorgaben des Verlags vorgenommen. Bei der Gelegenheit hat Jonathan Verbesserungen im Text vorgeschlagen, denen ich in der Regel gerne gefolgt bin.

Ich danke Thomas Hanschke, Präsident der TU Clausthal, für seine wohlwollende Begleitung meiner Aktivitäten im Ruhestand. Weiter danke ich meinen Kollegen Gunther Brenner und Stefan Hartmann für die angenehme Atmosphäre im Institut für Technische Mechanik. Als intellektueller Sparringspartner ist mein früherer Mitarbeiter und Kollege Christian Berg unverzichtbar. Das gilt ebenso für meine Freunde im Kreis der *Deutschen Gesellschaft Club of Rome*. Nicht zuletzt danke ich meiner Frau Heita, die Phasen meiner geistigen Abwesenheit ertragen musste.

Eine abschließende Bitte: Auch wenn Sie eine Abneigung gegen die grundlegende Disziplin *Mathematik* hegen, sollten Sie das *Prinzip Nichtlinearität* (Kap. 1) und charakteristische *Wachstumsgesetze* (Kap. 2) verinnerlichen, notfalls mit sachkundiger Unterstützung aus Ihrem Bekanntenkreis. Sie werden anschließend verstehen, warum in der beliebten Fernsehsendung *Klein gegen Groß* bei sportlichen Übungen – etwa Situps – 10-jährige Mädchen und Jungs Spitzensportler schlagen können.

Eine generelle Bemerkung: Als ich die Formulierung *liebe Christinnen und Christen* zum ersten Mal hörte, habe ich das für einen Scherz gehalten. Derartige Formulierungen haben sich eingebürgert. Ich folge diesem Trend nicht. Ich möchte die *Naturwissenschaftlerinnen* und *Ingenieurinnen* bitten, sich gleichfalls angesprochen zu fühlen, wenn ich von *Naturwissenschaftlern* und *Ingenieuren* spreche.

Clausthal-Zellerfeld, im Frühjahr 2018

Michael F. Jischa