


Stefan Thurner

**DIE
ZERBRECHLICHKEIT
DER WELT**



**Kollaps oder Wende.
Wir haben es in
der Hand.**

Von
einem der
führenden
Komplexitäts-
forscher
Europas

edition a

Stefan Thurner

Die Zerbrechlichkeit der Welt

Аннотация

Der Klimawandel schreitet voran, die Gesellschaft ist tief gespalten und der Wirtschaft droht ein Kollaps verheerenden Ausmaßes. Der Komplexitätsforscher Stefan Thurner, Berater der österreichischen Bundesregierung bei der Bekämpfung der Corona-Krise, zeigt anhand der Wissenschaft komplexer Systeme, wie zerbrechlich die Welt geworden ist und wie wir sie mit Hilfe von Wissenschaft und Big Data doch noch zur besten aller Zeiten machen können.

Содержание

INHALT	6
KAPITEL 1: EINE FANTASTISCHE CHANCE	7
KAPITEL 2: DIE FASZINIERENDE WELT DER KOMPLEXEN SYSTEME	33
WAS SIND KOMPLEXE SYSTEME?	34
COMPUTER VERÄNDERN ALLES	38
SINN AUS DATEN	41
WIE BRINGT MAN DATEN IN EINEN KONTEXT?	43
KOMPLEX ODER KOMPLIZIERT?	47
NETZWERKE, NETZWERKE, NETZWERKE	49
MEHR ALS DIE SUMME DER TEILE	51
MAKROEIGENSCHAFTEN	54
ANPASSUNGSFÄHIG UND RESILIENT	57
TIPPING POINTS	59
KONTROLLIERBARKEIT	62
ZERBRECHLICHKEIT	64
Конец ознакомительного фрагмента.	67

STEFAN THURNER

**DIE
ZERBRECHLICHKEIT
DER WELT**

**KOLLAPS ODER WENDE.
WIR HABEN ES IN DER HAND.**

edition a

Stefan Thurner:

Die Zerbrechlichkeit der Welt

Alle Rechte vorbehalten

© 2020 edition a, Wien

www.edition-a.at

Cover: Isabella Starowicz

Satz: Sophia Stemshorn

ISBN 978-3-99001-429-5

E-Book-Herstellung und Auslieferung:

Brockhaus Commission, Kornwestheim

www.brocom.de

INHALT

KAPITEL 1: EINE FANTASTISCHE CHANCE

KAPITEL 2: DIE FASZINIERENDE WELT DER

KOMPLEXEN SYSTEME

KAPITEL 3: DIE ZERBRECHLICHKEIT VON

KOMPLEXEN SYSTEMEN

KAPITEL 4: DIE ZERBRECHLICHKEIT DES

FINANZSYSTEMS

KAPITEL 5: DIE ZERBRECHLICHKEIT DES

PLANETEN

KAPITEL 6: DIE ZERBRECHLICHKEIT DER

ZIVILGESELLSCHAFT

KAPITEL 7: GEFANGEN IM DILEMMA ODER

SCHRITTE NACH VORNE?

KAPITEL 1: EINE FANTASTISCHE CHANCE

Die Welt ist ein komplexes System, das aus vielen anderen miteinander interagierenden komplexen Systemen besteht. Die Wissenschaft beginnt, das zu verstehen. Damit könnten wir die aktuellen großen Probleme aus eigener Kraft lösen. Wir müssen es nur wollen.

Wenn wir alles über jeden und jede wüssten, was wäre dann? Was könnten wir mit diesem Wissen anfangen?

Einen Eindruck von der Antwort auf diese Frage bekam ich vor einiger Zeit, als ein genialer Mathematik-Student mein Büro betrat. Er wollte eine Dissertation schreiben und ich fragte ihn, was ihn an der Mathematik oder der Physik fasziniere. Er meinte, dass er sein Diplom zwar in Mathematik gemacht habe, dass ihn aber weder Mathematik noch Physik besonders interessieren würden. Wofür er wirklich brennen würde, seien Computerspiele. Er erzählte mir, dass er mit einem Freund Online-Spiele spiele, wann immer sie Zeit hätten.

Ich beschloss, freundlich zu bleiben, ihm noch zwei Minuten zu geben und mich dann unter irgendeinem Vorwand zu verabschieden. Indessen berichtete er weiter. Die verfügbaren Massive Multiplayer-Online-Computerspiele seien meistens relativ schlecht. Deshalb hätten sein Freund und er ein eigenes

erfunden, entwickelt und online gestellt: das Pardus-Spiel. Ich fragte ihn, wie viele Menschen das spielen würden. »Nicht ganz 500.000«, antwortete er.

»Wie viele?«, fragte ich.

»Fast eine halbe Million«, sagte er.

Das Pardus-Spiel, das die beiden entwickelt hatten, ist eine Art Science-Fiction-Version unserer Welt. Die Spieler und Spielerinnen leben als Avatare in ihren Raumschiffen und Satelliten in fernen Sonnensystemen. Wer in dieser Welt landet, stellt zuerst einmal fest, dass er oder sie kein Geld hat. Man muss also arbeiten, um vernünftig leben zu können, einen Job suchen oder sein eigenes Unternehmen gründen. Avatare arbeiten und produzieren dabei als Mitarbeiter oder Unternehmerinnen die verschiedensten Güter, andere vertreiben diese und handeln mit ihnen, wieder andere kaufen und konsumieren sie. Dabei geben sie ihr verdientes Geld wieder aus, etwa für Prestige-Objekte wie schöne neue Raumschiffe oder sie investieren in neue Fabriken.

Neben dem ökonomischen gibt es im Pardus-Universum auch ein reges soziales Leben. Spieler und Spielerinnen treffen einander und interagieren miteinander. Sie kommunizieren in Chats, Foren und über private Nachrichten. Sie bilden Gruppen, nicht nur in Form von Freundschaften oder Unternehmen, sondern auch in Form von politischen Parteien, Städten oder Staaten.

Es gibt kein eigentliches Ziel des Spiels. Jede Spielerin und jeder Spieler beziehungsweise jeder Avatar muss seinen

Sinn darin selbst finden und sich seine Ziele selbst stecken. Unter den Avataren gibt es Reiche und Arme, Industrielle und VagabundInnen, UnternehmerInnen und Angestellte, PolitikerInnen und Kriminelle, FührerInnen und Geführte, PräsidentInnen und EinzelgängerInnen. Es gibt auch Spieler und Spielerinnen, die sich als Piraten organisieren, und welche, die sich als Reaktion darauf organisieren, um die Piraten zu bekämpfen und loszuwerden. Eine Polizei bildete sich, genauso wie ein Justizsystem.

Es gibt sogar Avatare, die als WissenschaftlerInnen verstehen wollen, wie das Spiel funktioniert, darunter BiologInnen und PhysikerInnen. Die virtuellen BiologInnen klassifizieren die Spacemonster, die PhysikerInnen sehen sich an, wie viel Energie ihr Raumschiff verbraucht, wenn sie damit an einem Planeten vorbeifliegen, und ziehen daraus Rückschlüsse auf die Struktur des virtuellen Universums.

Ich fragte den Studenten, ob er und sein Freund die Daten, die jeder Avatar hinterließ, mitschreiben würden. Er nickte. »Etwa ein halbes Terabyte pro Halbjahr fällt an«, sagte er. »Wir schreiben alles mit. Jede einzelne Aktion.«

Die Schöpfer des Pardus-Universums wussten, wer in welcher Sekunde wo war, wer sich wie verhielt, wer sich wie mit anderen verband, wer wie mit Geld umging, wer in welcher Situation wie reagierte, wer wem etwas schenkte und wer wem etwas stahl oder sonst etwas Böses tat. Sie wussten tatsächlich alles über jeden und jede. Mir dämmerte, dass damit wahrscheinlich

zum ersten Mal in der Wissenschaftsgeschichte ein kompletter Datensatz über eine menschliche Gesellschaft vorlag, auch wenn diese virtuell war. Ein Datensatz, der sich wissenschaftlich analysieren ließ. »Ich glaube, wir haben hier ein Thema für eine Dissertation«, sagte ich zu dem Studenten. Wir begannen eine lange gemeinsame Reise der Erforschung der Pardus-Welt¹. Heute ist der Student, Michael Szell, Professor an der IT-Universität in Kopenhagen.

Zunächst hatten wir eine entscheidende Frage zu klären. Ließ das Verhalten der Spieler im Pardus-Universum wirklich Rückschlüsse auf das Verhalten von Menschen in der echten Welt zu? Nur dann wäre die Arbeit mit den Daten, die diese Spieler hinterließen, auch wirklich relevant.

Das Ergebnis war eindeutig. Wir fanden heraus, dass sich die SpielerInnen in der virtuellen Welt in vielen Bereichen sehr ähnlich wie in der realen verhielten. Wir konnten zum Beispiel nachweisen, dass Freundschafts-, Kommunikations-, aber auch Handels- oder Feindschafts-Netzwerke sehr nahe an das herankamen, was man in der echten Welt beobachtet.

Wir begannen also, die Pardus-Daten systematisch auszuwerten. Eine unserer ersten Erkenntnisse war, dass Menschen gerne Beziehungsdreiecke schließen, genauso wie es Soziologen schon vor fast achtzig Jahren postuliert hatten². Wenn ein Mensch A etwa auf einer Party seine Freunde B und C trifft und feststellt, dass diese sich nicht kennen, wird A normalerweise B und C einander vorstellen, und sich freuen, wenn sie sich

kennenlernen und anfreunden. Wir Menschen scheinen darauf programmiert zu sein, auf diese Weise Dreiecke zu schließen.

Soziale Netzwerke, die aus vielen Dreiecken bestehen, sind besonders stabil. Wenn jemand in einem Netzwerk mit vielen geschlossenen Dreiecken ausfällt, passiert nicht viel, das Netzwerk verändert sich kaum, hält weiter zusammen und »funktioniert«. Der Homo Sapiens legt Wert auf stabile soziale Netzwerke³. Das wussten wir bereits, doch nun konnten wir es erstmals messbar machen und quantifizieren.

Bevor das Spiel im Pardus-Universum beginnt, muss jeder Spieler und jede Spielerin das Geschlecht des Avatars wählen, das sich im weiteren Verlauf nicht mehr ändern lässt. Also sahen wir uns als nächstes die Unterschiede an, wie Frauen und Männer ihre sozialen Netzwerke knüpfen. Einige Klischees bestätigten sich dabei, andere konnten wir widerlegen.

Zum Beispiel sahen wir, dass Frauen besser darin sind, Dreiecke zu schließen. Sie sind also besonders gute Netzwerkerinnen, wenn es darum geht, stabile Netzwerke zu bilden. Bei Männern sahen wir, dass sie sich besonders gerne mit Menschen vernetzen, die selbst gut vernetzt sind. In solchen Netzwerken lassen sich zwar Informationen schneller weitergeben, sie sind aber weitaus weniger stabil. Wenn in einem solchen Netzwerk ein einziger Knotenpunkt ausfällt, kann ein Teil des Netzwerks auseinanderbrechen.

Wir fanden und dokumentierten eine ganze Reihe weiterer Unterschiede zwischen virtuellen Männern und Frauen. So ist

bei Frauen die sogenannte »Wechselseitigkeit« größer als bei Männern. Wenn ich einen Link oder eine Beziehung zu dir etabliere, etablierst du dann auch einen Link zu mir? Frauen tun das öfter als Männer.

Wenn eine Frau einer anderen Frau sagt, »du bist meine Freundin«, kommt die Antwort meist sehr schnell. »Ja, ich bin auch deine Freundin«, lautet sie fast immer. Wenn ein männlicher Avatar zu einem anderen männlichen sagt »du bist mein Freund«, braucht der andere viel länger für eine Antwort, oder er gibt gar keine. Männer haben mehr Feinde als Frauen. Pardus-Avatare, die von besonders vielen anderen Menschen gehasst werden, werden aber vorwiegend von Frauen gehasst.

Wenn eine Frau eine andere Frau als Feindin markiert, ignoriert die andere das meistens. Wenn hingegen ein Mann einen Mann als Feind markiert, reagiert der meist sehr schnell: »Ja, ich hasse dich auch«. Frauen ziehen eher positive Verhaltensweisen an als Männer. In Gruppen mit Frauen gibt es weniger Aggression. Und Frauen umgeben sich viel lieber mit anderen Frauen als Männer sich mit anderen Männern umgeben. Frauen kommunizieren insgesamt mehr als Männer. Andererseits sind die sogenannten Super-Kommunikatoren meist männlich. Das sind die Menschen beziehungsweise Pardus-Avatare, die mit extrem vielen anderen kommunizieren.

Das Pardus-Universum versetzte uns in die Lage, praktisch jede jemals aufgestellte sozialwissenschaftliche These mit Daten zu überprüfen, um so, mit naturwissenschaftlicher Präzision,

Aussagen über Gesellschaften zu treffen. Darüber, wie der Homo Sapiens tickt, wie er sich organisiert und welche Formen des Zusammenlebens er typischerweise entwickelt.

So konnten wir anhand der Analyse von Feindschafts-Netzwerken besser verstehen, wie Bestrafung funktioniert. In einer Reihe von wissenschaftlichen Publikationen konnten wir außerdem der Frage nachgehen, wie sich der virtuelle Mensch in Hierarchien organisiert, woher die Armut kommt und ob der Mensch eher gut oder eher böse ist. Wir fanden heraus, wie der Homo Sapiens mit Aggression umgeht, und um wieviel er aggressiver wird, wenn er durch unfreundliche Aktionen seiner Mitspieler gereizt wird.

Die für mich verblüffendste Erkenntnis aus unseren Pardus-Analysen war, dass es relativ gut vorhersehbar ist, was Avatare als Nächstes tun. Wenn wir wussten, was ein Spieler bisher getan hatte und wie sich andere Spieler ihm gegenüber verhielten, und das wussten wir wie gesagt immer, konnten wir berechnen, was die nächste Aktion dieses Spielers sein würde. Mit einer Trefferquote von mehr als neunzig Prozent.

Das ist doch alles nur ein Spiel, könnten wir sagen, das ist nicht die echte Welt und nicht alles, was wir im Pardus-Universum beobachten und verstehen, gilt auch für das echte Leben. Doch wenn schon in einem Computerspiel Informationen enthalten sind, aus denen wir so viel über die Spezies Mensch und uns als Gesellschaft lernen können, was könnten wir dann erst aus den Informationen lernen, die in weitaus größerer Menge in der

echten Welt anfallen?

Praktisch jeder Mensch hinterlässt durch permanente digitale Fingerabdrücke einen ungeheuren Strom von Daten, die mittlerweile unaufhaltsam aufgezeichnet werden. Telefongesellschaften und Google besitzen unsere Aufenthaltsorte zu jedem Zeitpunkt. Sie kennen die Gesprächspartner aller Handynutzer und manchmal sogar ihre Gesprächsinhalte. Google weiß, welche Fragen wen beschäftigen, Amazon weiß, wer was kauft, die Nachrichtenagenturen, Netz- und Social-Media-Anbieter wissen, was wen interessiert, was wer liest, wie sich Meinungen bilden, wie sich Menschen organisieren, wie sie sich unterhalten, wie sie wählen und so weiter.

Wir als Gesellschaft im digitalen Umbruch sammeln nicht nur Informationen über uns Menschen. Überall platzieren wir Sensoren, die Daten erheben und mitschreiben. Wir vermessen schon fast alles, was auf dem Planeten und in seiner Nachbarschaft vor sich geht. Wir erstellen dadurch eine digitale Kopie unseres Planeten, in der wir alles speichern, was geschieht. Das Wetter, den Verkehr, wer was wo anbaut, produziert und transportiert, Meeresströme, die Abholzung, die Klimaerwärmung, die Kontinentalverschiebung, Erdbeben, Gravitationswellen und sogar wie sich Berge heben und senken. Sind wir auf dem Weg zur Allwissenheit? Das vermutlich nicht, aber wir sind definitiv auf dem Weg zu vollständiger Information über mehr und mehr Systeme. Alles, was man über sie wissen

kann, wird als Information gespeichert.

Information an sich ist noch nicht viel wert, egal wie viel davon vorhanden ist. Wir müssen sie erst »verstehen« und in nutzbares Wissen verwandeln, bevor sie wirksam wird.

Wir müssen Wissen erst aus Information destillieren. Das ist seit jeher die zentrale Rolle und Aufgabe der Wissenschaft, auf die ich noch detailliert zu sprechen kommen werde. Es lässt sich jedenfalls sagen, dass die früher oder später komplette Erfassung aller Vorgänge auf dieser Welt uns unfassbare Möglichkeiten eröffnet. Möglichkeiten, die wichtig werden könnten.

Aber warum erzähle ich das in einem Buch, das von der Zerbrechlichkeit der Welt handelt und davon, was uns bedroht und wo wir ansetzen können, um Katastrophen zu vermeiden? Ich erzähle es, weil ich möchte, dass Sie dieses Buch mit einer positiven Perspektive lesen, obwohl es eigentlich von dunklen Dingen handelt.

Die Zahl der derzeit auf diesem Planeten lebenden Menschen, knapp acht Milliarden, die Art und Weise, wie wir übereingekommen sind, uns zu organisieren, uns fortzubewegen, zu wohnen, uns zu ernähren oder uns zu unterhalten, führt zu einer Reihe von Problemen, die kritisch sind. Kritisch in dem Sinne, dass sie das Zeug dazu haben, unsere gegenwärtige Zivilisation zu einem relativ abrupten Ende zu bringen, zu einem unwiderruflichen und unumkehrbaren Kollaps.

Zu diesen kritischen Problemen gehört allen voran der Klimawandel. Die Erderwärmung, hervorgerufen durch unsere

Lebensweise und die dazu notwendigen Dinge wie die Industrie, die Infrastruktur, der Verkehr und die Landwirtschaft werden zu massiven Veränderungen in Bezug auf die Bewohnbarkeit und die Möglichkeiten zur Bewirtschaftung des Planeten führen.

Die Gefahren sind bekannt. Ansteigende Meeresspiegel führen zu Bevölkerungswanderungen, Wetteränderungen führen zu Dürren und Verödung, Zerstörung von Ökosystemen führt zu mehr Treibhausgasen und so weiter. Die Gefahren wachsen auch deshalb, weil viele der ihnen zugrundeliegenden Prozesse selbstverstärkend sind. So etwa setzen Permafrostböden beim durch die Erderwärmung hervorgerufenen Auftauen riesige Mengen des Treibhausgases Methan frei. Zu diesen Gefahren gehört auch, dass der Golfstrom stoppen könnte und Europa nicht mehr mit seiner Wärmeenergie versorgt. Doch davon mehr in Kapitel fünf.

Der zweite große Problemkreis, der uns bedroht, ist die Zukunft der Zivilgesellschaft. Demokratie und ihre Institutionen sind nicht gottgegeben, sondern beruhen darauf, dass der Großteil der Menschen an sie glaubt. Doch es bestehen Anzeichen dafür, dass viele aufhören, an die Demokratie als funktionierendes Gesellschaftssystem zu glauben. Den Umstand, dass es nach wie vor Missstände wie Korruption, gesellschaftliche Unfairness oder eine sich immer schneller öffnende Schere zwischen Arm und Reich gibt, schieben die sogenannten National-Populisten in aller Welt der Unfähigkeit der Demokratie und ihren Institutionen in die Schuhe. Als

Lösung propagieren sie die Zerschlagung der Demokratie, ohne eine Vision anzubieten, was nachher geschehen soll.⁴

Dass die Demokratie der einzige verlässliche Garant für Freiheit, Gleichheit, Fairness oder Solidarität ist, wird von immer weniger Menschen so gesehen. Dabei steht Demokratie für etwas, das wir im Westen mehr als 300 Jahre lang bitter erkämpft haben. Für die Befreiung von Adel und Kirche, von Dogmen, Ideologien und Führern. Im Zuge dieser Entwicklung hat die westliche Gesellschaft Erfolge erzielt, die ihresgleichen suchen. Meinungs- und Redefreiheit, Frauenrechte und allgemeines Mitspracherecht gehören dazu, ebenso wie die Abschaffung der Diskriminierung aufgrund von Rasse, Glauben, Nationalität oder sexuellen Präferenzen und allmählich sogar das Zugeständnis von Rechten für andere lebende Geschöpfe. Wir haben es geschafft, Millionen von Menschen in mehr oder weniger prosperierenden Staaten zu verwalten, praktisch ohne Führer, oder mit solchen, die relativ machtlos sind. Das ist vielleicht die größte zivilisatorische Meisterleistung, die wir als Menschheit jemals erbracht haben.

Der mögliche Zerfall der gegenwärtigen westlichen Zivilgesellschaft würde nichts weniger bedeuten, als ein Zurück in Abhängigkeiten und den Verlust der Freiheiten, die uns erlauben, uns als Menschen voll zu entfalten. Er würde zur Wiederauferstehung von Führern führen, die Macht wieder offen einsetzen, sowie den uneingeschränkten Aufstieg von Datenmonopolisten und die totale digitale Manipulation

bedingen. Für all diejenigen, die ihre Freiheit lieben, wäre das die ultimative Katastrophe.

Aber auch andere Entwicklungen gefährden die Zivilgesellschaft. Dazu gehören Veränderungen, die langsam vor sich gehen, aber deshalb nicht weniger Grund zur Sorge geben. Wie wirkt sich eine Überalterung der europäischen Gesellschaft aus? Wann kippt das Pensionssystem, wann das Gesundheitssystem, wann der Sozialstaat? Welche Rolle spielen dabei die Migration oder das Wiedererstarken des politischen Einflusses von Religion? Wie wird die Digitalisierung alles verändern? Wer verliert den Job? Wer verliert ohne Job den Sinn im Leben, selbst wenn es ein bedingungsloses Grundeinkommen gäbe?

Die Stabilität der Wirtschaft und des Finanzsystems sind ebenso wenig gottgegeben. Trotz massiver Effizienzsteigerungen sind dort die Risiken nicht verschwunden. Sie sind in den vergangenen Jahrzehnten sogar gestiegen. In den letzten zehn Jahren haben wir zwei massive Finanzkrisen durchlebt und die durch Corona ausgelöste Wirtschaftskrise hat, während ich das hier schreibe, gerade erst begonnen.

Die beiden »großen Probleme« Klimakrise und Gefährdung der Zivilgesellschaft sowie die damit zusammenhängenden Probleme, wie der Verlust des gesellschaftlichen Zusammenhalts und die Instabilität des Wirtschafts- und Finanzsystems, das alles könnte zum Untergang unserer Zivilisation führen. Der Kollaps kann plötzlich und unvermutet kommen. Ohne spektakuläre

Anzeichen, durch kleine, unscheinbare Auslöser. Die »großen Probleme« hängen miteinander zusammen. Der Klimakollaps kann den Kollaps der Zivilgesellschaft und ihrer Institutionen auslösen, und umgekehrt.

Dass Gesellschaften und Zivilisationen kollabieren, aussterben oder von anderen Kulturen absorbiert werden, ist an und für sich nichts Ungewöhnliches. Luke Kemp von der Universität Cambridge hat gezeigt, dass die durchschnittliche Lebensdauer von Antiken Kulturen etwas mehr als 300 Jahre betrug⁵. Wir können es uns schwer vorstellen, dass die Welt, so wie wir sie kennen, einfach verschwindet. Es gibt in der Geschichte einige Beispiele dafür, dass sich Menschen den Untergang der Welt, in der sie lebten, nicht vorstellen konnten.

Die Römer etwa hielten sich bis zum Schluss für unbesiegbar. Doch egal, ob innere politische Konflikte, religiöse und soziale Umbrüche, Seuchen und Klimaänderung, oder ob Bürgerkriege und Angriffe von außen durch Germanen, Hunnen oder Vandalen daran schuld waren, im Jahr 480 unserer Zeitrechnung hörte ihre Welt auf zu existieren. Durch Chaos, Gewalt, Zerstörung und einen multiplen sozio-ökonomischen Kollaps.

Auch die Rapa Nui auf den Osterinseln dürften den Untergang ihrer Welt nicht kommen gesehen haben⁶. Wahrscheinlich verursachten sie ihn selbst, indem sie für den Bau ihrer riesigen Steinfiguren ihre Wälder abholzten, bis die Insel, durch den permanent wehenden Wind, der Austrocknung und der Bodenerosion schutzlos ausgesetzt war. Die Auswirkungen, die

das auf ihre Versorgung mit Nahrungsmitteln hatte, ließ die Bevölkerung rapide schrumpfen, bis nichts mehr von ihr übrig war, außer einer Insel mit der geringsten Artenvielfalt im Pazifik und stummen steinernen Zeugen ihres Untergangs. Hätten die Rapa Nui das kommen gesehen, hätten sie ihre Forstwirtschaft überdacht und aufgehört, Baumstämme als Rollen für den Transport von Steinen zu benutzen?

Wie lange dachten die Mayas, dass ihre Welt ewig Bestand haben würde? Wie lange bevor der letzte Habsburger Kaiser Karl I. auf »jeden Anteil an den Staatsgeschäften« verzichtete, dachten die Österreicher, die Monarchie würde für immer weiterbestehen? Wie lange dachten die Deutschen, sie könnten den Zweiten Weltkrieg noch gewinnen? Bis wie lange vor dem Fall des Eisernen Vorhangs dachten die Russen, ihre Union der Sozialistischen Sowjetrepubliken sei ein tragfähiges Konzept, das bis ans Ende der Zukunft reichen würde?

Gesellschaften kollabieren oft unmittelbar. Warum ist ein herannahender Kollaps so schwer zu sehen? Auch Finanzkrisen treten oft unmittelbar auf. So hatte praktisch kein Ökonom die Finanzkrise der Jahre 2008 und 2009 auf dem Radar. Warum erkennt niemand die Anzeichen, warum hört niemand die Warn Glocken schrillen? Wieso gibt es im 21. Jahrhundert eigentlich keine Frühwarnsysteme für Kollaps?

Die Antwort hat etwas mit komplexen Systemen zu tun. Unsere Gesellschaft, unsere Wirtschaft, unser Gesundheitssystem genauso wie das Klima oder das

Finanzsystem sind komplexe, dynamische Systeme. Auch wenn diese Systeme vollkommen unterschiedlich sind, haben sie eines gemeinsam: Sie kollabieren plötzlich. Über weite Strecken hinweg sind sie erstaunlich stabil, robust und anpassungsfähig, sie erlauben auch Fehler, aber wenn sie zu gewissen Punkten gelangen, dann kollabieren sie – unvermittelt. Diese Punkte sind die sogenannten Tipping Points. Ein Tipping Point oder ein Kipp-Punkt ist ein »Übergangspunkt«. Nachdem ein System so einen Punkt erreicht, ist nichts mehr so, wie es vorher war.

Tipping Points sind wie Klippen, die unter der Wasseroberfläche verborgen sind. Wenn man mit einem Schiff draufdonnert, sinkt man. Ein anderes Bild für einen Tipping Point ist eine Wanderung, die jemand in dichtem Nebel in einer Berglandschaft unternimmt, die von steilen Abhängen umgeben ist. Wenn der Wanderer an einen Abhang kommt, reicht ein falscher Schritt und er stürzt unvermittelt ab.

Bisher war es nur möglich, die Klippen, über die unsere Vorfahren gestürzt sind, im Nachhinein zu sehen – sobald sich der »Nebel« verzogen hatte. Erst die Geschichte konnte klären, wieso der Abgrund auf einmal da war, und oft nicht einmal sie, wie wir im Fall des römischen Reichs wissen.

Wenn antike Kulturen etwa 300 Jahre alt wurden, wie alt ist unsere? Wann unsere gegenwärtige Kultur genau ihren Anfang nahm, ist nicht leicht zu sagen und bleibt zu einem gewissen Grad willkürlich. Man könnte behaupten, sie begann mit den klassischen Griechen. Oder doch eher mit dem Beginn

der modernen Gesellschaft, also mit der Renaissance, mit der Erfindung der modernen Wissenschaft, dem Humanismus, dem Buchdruck, der Reformation und der Entdeckung der Seewege nach Indien und Amerika? Wenn man letzteres wählt, ist unsere Welt, also die moderne Gesellschaft, rund 400 bis 500 Jahre alt. Ist sie damit bereits überfällig?

Eine ernstzunehmende Antwort auf die Frage, wann unsere Gesellschaft kollabieren wird, versuchte mein Kollege Peter Turchin von der Universität Connecticut und dem Complexity Science Hub Vienna vor zehn Jahren zu geben. Turchin hat sich auf die mathematische Modellierung historischer Gesellschaften und deren Kollaps spezialisiert. Seine Vorhersage ist schlicht und ergreifend: »2020«⁷.

Prophetische Aussagen dieser Art sind eher untypisch für die Wissenschaft. Hinter der Prognose steckt natürlich mehr. Peter Turchin hat ein mathematisches Konzept entwickelt, das es ihm erlaubt, das Zu- und Abnehmen von sozialen Spannungen und Unruhen über mehrere Jahre vorherzusagen. Durch eine Kombination von biologischen, sozialen und politischen Beobachtungsdaten kann er Kennzahlen berechnen, die ihm erlauben, das Auseinanderdriften großer Bevölkerungsschichten früher als andere zu erkennen⁸. Ob die Unruhen in den USA im Sommer 2020 bereits Anzeichen des von ihm angekündigten Kollaps sind, bleibt abzuwarten. Dass soziale Spannungen, politische Polarisierung und Versuche, die Zivilgesellschaft gezielt zu spalten, zwischen 2010 und 2020 drastisch

zugunommen haben, daran besteht kein Zweifel.

Wenn unsere Gesellschaft tatsächlich untergehen sollte, wäre das nichts Neues. Hunderte Zivilisationen und Gesellschaften haben dasselbe Schicksal erlitten. Das einmalige an unserem Untergang wäre, dass wir dieses Mal das Zeug dazu gehabt hätten, die Klippen zu sehen, die uns zu Fall bringen.

Die Wissenschaft hat in Kombination mit der Möglichkeit, immer mehr Daten zu sammeln und im Prinzip alle Informationen auf dem Planeten abrufbereit zur Verfügung zu haben, erstmals die Voraussetzungen dafür, Tipping Points im Vorhinein zu sehen. Wir wissen inzwischen mit Sicherheit, dass sie tatsächlich existieren und dass es keinen Sinn macht, ihre Existenz zu verleugnen. Wir sehen das zum Beispiel eindrücklich im Zusammenhang mit der Klimaerwärmung. Das Zusammenspiel von Wissenschaft und globalem Datenmonitoring erlaubt uns erstmals zu sehen, worauf wir im Nebel zusteuern.

Die Vorstellung, dass wir mit Fortschritt, Wissenschaft, der positiven Nutzung von Daten und insbesondere mit der digitalen Kopie des Planeten die »großen Probleme« erkennen und lösen werden, ohne dass unsere Nachkommen dafür bitter bezahlen müssen, ist die positive Perspektive dieses Buches. Sie handelt von der realistischen Möglichkeit, uns als globale Gesellschaft auf eine Weise neu zu erfinden, sodass wir den Untergang vermeiden. Wir sind nach wie vor weit davon entfernt, die »großen Probleme« zu lösen, und es bleibt weiterhin ungewiss,

ob wir es schaffen werden, bevor einige Systeme die Tipping Points erreichen. Aber wir können und sollen es versuchen, mutiger und bewusster als bisher. Denn es besteht eine echte Chance.

Dass sich zehntausende Wissenschaftler mit Ärzten, Entscheidungsträgern, Sozialarbeitern und Ökonomen organisieren und zusammenarbeiten können, um ein praktisches Problem zu lösen, haben wir in der Corona-Krise eindrucksvoll gesehen. Ohne den Beitrag der Wissenschaft und ihren Möglichkeiten, weltweit Daten zu sammeln, auszuwerten und in konkrete Handlungsanweisungen zu übersetzen, hätte das Virus vermutlich unsere Gesundheitssysteme grenzenlos überlastet und Millionen von Menschen das Leben gekostet. Die Botschaft ist klar: Um den durchaus möglichen Kollaps unserer Welt, ihre Verwandlung in etwas, das wir bestimmt nicht haben möchten, abzuwenden, sollten wir alles tun, um die Kipp-Punkte der entscheidenden Systeme besser identifizieren zu lernen. Das schaffen wir ausschließlich mit Wissenschaft und Forschung in Kombination mit Big Data. Egal was es kostet, der Kollaps ist teurer. Er ist unbezahlbar teuer.

Zum Aufbau. Ich werde zunächst in Kapitel zwei zeigen, was die Wissenschaft der komplexen Systeme kann. Sie ist eine relativ junge und eventuell die aktuellste aller Wissenschaften, die großteils am Santa Fe Institute in Neumexiko in den 1980er-Jahren entworfen wurde. In Kapitel drei geht es darum, was ein Kollaps überhaupt ist und wie man ihn

wissenschaftlich beschreiben kann. Wir werden sehen, wie die Wissenschaft komplexer Systeme mit ihrer nüchternen, mathematisch-physikalischen Perspektive dazu beitragen kann, Kipp-Punkte zu identifizieren, um so die wahren Schwachstellen in den unterschiedlichen Systemen sichtbar zu machen.

In Kapitel vier stelle ich dar, wie zerbrechlich unser Finanzsystem ist, in Kapitel fünf, wie es um unser Klima und unsere Ökosysteme bestellt ist. In Kapitel sechs geht es schließlich um die Zerbrechlichkeit unserer Zivilgesellschaft.

Ich werde versuchen zu zeigen, dass die Antwort auf die Gefahren der Klimakrise nicht in einem Öko-Kommunismus oder einer Öko-Diktatur liegt, wie sie manche predigen. Sie besteht auch nicht in der Rückkehr in eine idealisierte romantisierte Welt von gestern. Ich werde vielmehr zeigen, dass die Antwort im technischen Fortschritt, in der Wissenschaft der komplexen Systeme, in Big Data und der Rechenleistung von Computern liegt. Es geht dabei um eine Kombination von technischen Neuerungen mit mentalen Veränderungen in sozio-ökonomischen Netzwerken. Dank dieses Fortschrittes haben wir gegenüber allen bisher untergegangenen Kulturen eben diesen einen entscheidenden Vorteil: Sie konnten die Klippen nicht sehen, über die sie gestürzt sind. Sie hatten keine Chance. Wir haben eine.

Wir sind auf dem Weg, diese Chance für uns nutzbar zu machen, bereits einige Schritte gegangen. Das Computerspiel Pardus war für uns ein erster Hinweis darauf, wie

wissenschaftliche Modelle der Zukunft aussehen könnten. Eine kleine künstliche Welt im Computer mit sämtlicher und vollständiger Information darüber, was in ihr passiert und passiert ist. Während ich das schreibe, sind 16 Jahre vergangen, seit Michael Szell und sein Freund das Computerspiel online stellten und damit ein digitales Modell der Gesellschaft und eine Art Petrischale zur Erforschung unserer Spezies und unserer Kultur schufen. Inzwischen sind wir mit solchen Modellen sehr viel weiter. Wir können langsam damit beginnen, die echte Welt als 1:1-Modell mit vollständigen Datensätzen zu modellieren. Erst mit der Zusammenführung der Daten in einem Modell dieser Art macht die digitale Kopie des Planeten Sinn. Erst so können wir beginnen, diese Informationen in nachhaltiges und verwendbares Wissen zu verwandeln.

Sobald wir solche 1:1-Modelle der relevanten Systeme haben, werden wir das Thema Kollaps auf eine vollkommen neue Art verstehen lernen. Wir werden nicht nur die Tipping Points besser identifizieren und lokalisieren können, wir werden auch konkrete Lösungsvorschläge für aktuelle Probleme in virtuellen Modellen ausprobieren können, lange bevor wir sie in der echten Welt zum Einsatz bringen.

In diesem Buch werden wir einige Beispiele für Schritte in diese Richtung kennenlernen. Ich möchte das anhand eines Blicks hinter die Türen des Complexity Science Hub Vienna tun, einer jungen wissenschaftlichen Einrichtung, die mit dem Ziel entstand, die Erforschung komplexer Systeme voranzutreiben,

um unmittelbaren Sinn und gesellschaftlichen Nutzen aus Daten zu gewinnen und um so einen Beitrag in Richtung eines digitalen Humanismus leisten zu können. Gegründet haben ihn im Jahr 2015 die Technische Universität Wien, die Technische Universität Graz, die Medizinische Universität Wien und das Austrian Institute of Technology.

Im Wiener Palais Strozzi, dem Sitz des Complexity Science Hub, arbeiten wir an einer Art Flugsimulator für die Welt, nur dass wir anstatt von Flugzeugen Finanzsysteme, Gesundheitssysteme und sogar ganze Volkswirtschaften simulieren. Wir arbeiten dort zum Beispiel an einem virtuellen Modell der Wirtschaft Österreichs. So wie Eisenbahn-Fans in ihren Kellern Modelleisenbahnen bauen, die immer realistischer werden, so bauen wir unsere digitale Modellrepublik, die ebenso zunehmend realistischer wird.

Wir bauen sie mit Daten, indem wir verschiedene, anonymisierte Datensätze zusammenführen. Mit Datensätzen aus der Verwaltung, der Finanz, der Wirtschaft und der Bevölkerung bilden wir in unserem Modell die Akteure sowie deren Interaktionen untereinander ab.

In diesem Modell steht alles mit allem über verschiedene Netzwerke miteinander in Beziehung. Ganz ähnlich wie im Pardus-Spiel. Firmen zahlen Gehälter, Haushalte deponieren Überschüsse auf der Bank. Firmen und Haushalte nehmen Kredite auf, Haushalte konsumieren Produkte der Firmen, Firmen liefern sich gegenseitig Waren und Banken verleihen

Geld an andere Banken am Interbanken-Markt.

Menschen und Firmen stehen durch Kreditnetzwerke, Produktionsnetzwerke, Zuliefernetzwerke oder Arbeitgeber-Arbeitnehmernetzwerke in Beziehung. Netzwerke können oft aus Datenbanken rekonstruiert werden. Sie ändern sich von Tag zu Tag. Unser Ziel ist es, eine virtuelle Republik zu basteln, mit der wir spielen können, in die wir von außen eingreifen können, die wir virtuellen Schocks aussetzen können und wo wir Dinge ausprobieren können, wie es in der echten Welt nie und nimmer möglich wäre. Wissenschaft bekommt damit eine neue, fast spielerische Dimension, mit unmittelbarem Nutzen für die Gesellschaft und ihre Entscheidungsträger.

Mit solchen Modellen können wir in Zukunft versuchen, eine neue Dimension von Fragen zu beantworten, die sich bisher jeder Beantwortung entzogen haben. Unter anderem lässt sich dann berechnen, wie ein stabiles System aussehen muss, wodurch es instabil wird, und wie wir es bestmöglich schützen können. Wir können erstmals quantifizieren, was Stabilität wirklich ist, was Resilienz bedeutet, welche Schocks ein System aushält und welche zu groß sind. Wir lernen erstmals, wie Effizienz und Stabilität miteinander in Zusammenhang stehen.

Mit den Möglichkeiten, die die Wissenschaft komplexer Systeme in Kombination mit Data Science und Methoden der Künstlichen Intelligenz derzeit erschließen, eröffnen sich auch der Politik neue Dimensionen. Der gebräuchliche Fachausdruck dafür ist evidence-based governance, evidenzbasierte Politik.

Derzeit werden Entscheidungen in der Politik oft subjektiv getroffen, und das aus gutem Grund: Einzelne Menschen, egal wie intelligent sie sind, können die Vielzahl von Zusammenhängen, die in komplexen Systemen und ihren Netzwerken typischerweise auftreten, nicht erfassen. Noch viel weniger können sie die Konsequenzen vorhersehen, die eintreten, wenn sie an solchen Systemen etwas verändern.

Entscheidungsträger haben dank ihrer Erfahrung oft ein gutes Gefühl dafür, was ihre Entscheidungen bewirken könnten. Sobald sie ihre Entscheidungen getroffen haben, können sie aber auch nur darauf hoffen, dass sie auch wie beabsichtigt funktionieren. Bis heute hatten wir praktisch keine Möglichkeit, das Funktionieren von Entscheidungen vorab zu testen oder die zu erwartenden, nicht beabsichtigten Nebenwirkungen systematisch im Voraus sichtbar zu machen.

Die Vision ist, dass in Zukunft Entscheidungsträger auf die digitale Kopie eines Landes als Werkzeug zurückgreifen können, um die Auswirkungen von Entscheidungen, Regulierungen oder Gesetzen virtuell durchzuspielen. Sie können ausprobieren, ob eine Entscheidung wirklich die geplanten Ziele erreichen würde, und ob sie zu unerwarteten Folgen führen würde, an die vorher niemand gedacht hatte.

Wir könnten anhand solcher, digitaler Modelle ein bisschen besser in die Zukunft blicken. Wir könnten besser abschätzen, was passieren könnte, wenn wir dieses tun, oder was passiert, wenn wir jenes tun. Nähern wir uns mit einer politischen

Entscheidung oder einer gesellschaftlichen Verhaltensänderung den Klippen, und wenn ja, wie schnell? Oder gehen wir ihnen damit aus dem Weg?

In diesem Zusammenhang ergibt sich ein generelles Problem, dass man sich erst an Maschinen und Algorithmen gewöhnen muss, die Probleme lösen, die selbst Experten eventuell nicht mehr überblicken können. Hier tauchen neue Fragen auf: Sollen Maschinen die Kontrolle über die zentralen Lebensadern unserer Gesellschaft übernehmen? Es geht hier um das unbehagliche Gefühl, Kontrolle und Kompetenz an Algorithmen abzugeben.

Wie können wir sicherstellen, dass wir die Kontrolle über Algorithmen und Daten behalten, Transparenz schaffen und gleichzeitig massiven Missbrauch ausschließen? Grundsätzlich sollte wohl gelten: Was Maschinen besser können als Menschen, sollen auch Maschinen machen, ganz besonders dann, wenn es um so heikle Fragen wie die Sicherheit eines Finanzsystems, der Wirtschaft, der Umwelt oder die des Staates geht.

In der Medizin hat dieses Umdenken bereits eingesetzt. Wir haben uns in kurzer Zeit daran gewöhnt, dass künstliche Intelligenz Tumore besser erkennen kann als die besten Radiologen. Kaum jemand, außer vielleicht Radiologen, hat ein Problem damit. Das zeigt natürlich nicht notwendigerweise, wie gut Maschinen und Algorithmen bereits sind, sondern wie limitiert menschliche Entscheidungen oft sind, denen wir unser Wohlergehen und Leben anvertrauen.

Ein Wort zu Daten und Datenschutz. Im Zuge der

Digitalisierung werden Daten heute in ungeheurem Ausmaß erhoben. Nichts deutet darauf hin, dass dieser Trend abnimmt. Es werden immer mehr. Ob wir es wollen oder nicht, wir müssen mit der Digitalisierung und Big Data leben. Ein riesiges Problem, das mit der Digitalisierung einhergeht, besteht darin, dass es sich bei Daten zum Teil um personenbezogene Daten handelt, die zum Schaden und Nachteil von Personen und Personengruppen verwendet werden können. Viele Unternehmen weltweit verwenden diese Daten, um mit ihnen Profite zu machen. Die entsprechenden Geschäftsmodelle sind zum Teil relativ harmlos, wie etwa Werbung, zum Teil aber unfassbar unethisch und kriminell und reichen von massivem Wahlbetrug bis zu Verhetzung und Erpressung. Der Skandal um Cambridge Analytica im Jahr 2018 hat eventuell nur die Spitze des Eisbergs gezeigt, was an Niederträchtigkeit möglich ist.

Doch Daten haben auch eine ungemein positive Seite. Sie geben uns die Möglichkeit, unsere Umwelt, Gesundheit und Gesellschaft nachhaltig und drastisch besser zu machen und damit unser Leben angenehmer. Und sie geben uns die einmalige Chance – und davon handelt das Buch – die beiden »großen Probleme« zu lösen. Solchen positiven Nutzen aus Big Data zu generieren, ist zuerst einmal eine Aufgabe der Wissenschaft. Das aus mehreren Gründen.

Die Wissenschaft kann mit Daten umgehen. Seitdem es sie gibt, braucht sie Daten. Ohne sie funktioniert sie nicht. Mit dem gegenwärtigen Datenvolumen kann man in den nächsten

Jahren mit einer regelrechten Erkenntnisexplosion rechnen, vor allem in der Medizin, den Sozialwissenschaften und der Wirtschaftswissenschaft.

Die Wissenschaft verfolgt in der Regel keine unmittelbaren kommerziellen Interessen und verwendet Daten in einer Weise, die keine Persönlichkeitsrechte verletzt. Wissenschaft hält durch ihre ethischen Standards den Datenschutz und Normen ein. Arbeiten mit zweifelhaften Daten beziehungsweise Daten zweifelhafter Herkunft oder Verarbeitung werden in seriösen wissenschaftlichen Journalen nicht akzeptiert.

Die Wissenschaft ist mit an vorderster Front, um bessere Methoden für einen ethischen Umgang mit Daten zu entwickeln, die es erlauben, sie einerseits für den Fortschritt der Gesellschaft positiv nutzen zu können und andererseits den Missbrauch und die Verletzung von Persönlichkeitsrechten auszuschließen. Zum Beispiel durch die Entwicklung von Methoden und Algorithmen der Anonymisierung. Das sind natürlich auch die Ziele und die ethischen Prinzipien, die der Complexity Science Hub Vienna in seiner Arbeit verfolgt.

KAPITEL 2: DIE FASZINIERENDE WELT DER KOMPLEXEN SYSTEME

Wir sind auf dem Weg, so gut wie alle Informationen dieser Welt aufzuzeichnen und zu speichern. Wir wissen aber oft noch nicht genau, was wir damit anfangen sollen. Die Wissenschaft Komplexer Systeme kann helfen, aus Daten nutzbares Wissen zu generieren. Wissen, das wir zukünftig verwenden können, um die großen Probleme unserer Zeit zu meistern.

WAS SIND KOMPLEXE SYSTEME?

Komplexe Systeme bestehen immer aus vielen einzelnen Elementen, die miteinander verknüpft sind und dadurch Netzwerke bilden. So etwa sind wir Menschen als Einzelteile des komplexen Systems »Gesellschaft« miteinander durch unser Familiennetzwerk, das Netzwerk unserer Freunde, das Netzwerk unserer Telefonate und Emails, das Netzwerk unserer Banktransaktionen oder das Netzwerk unserer Feindschaften verbunden.

Es ist eine der faszinierenden Eigenschaften komplexer Systeme, dass sich ihre Einzelteile über die Zeit hinweg verändern können. Sie verändern sich aber meistens nicht einfach so, sondern aufgrund der Netzwerke, in die sie eingebettet sind. Durch die Veränderung der Netzwerke verändern sich die Einzelteile und durch die veränderten Einzelteile verändern sich die Netzwerke.

Im Finanzsystem zum Beispiel sind die einzelnen Elemente die Banken, die mit Netzwerken von Kontrakten, Krediten oder Versicherungen miteinander verbunden sind. Die Eigenschaft einer Bank, zum Beispiel, wie viel Geld sie hat, bestimmt, welche Kontrakte sie in Zukunft eingehen kann. Die Eigenschaft »verfügbare Geldmenge« einer Bank bestimmt, wie das Netzwerk der Kontrakte sich im nächsten Augenblick verändern kann. Das Netzwerk der Kontrakte wiederum bestimmt, wie sich

der Reichtum der Banken im nächsten Augenblick verändern wird, denn diese Kontrakte bestimmen den Geldfluss.

Die Quintessenz von komplexen Systemen ist, dass sich die Eigenschaften der Elemente und die Netzwerke zwischen ihnen ständig ändern und sich gegenseitig nach bestimmten Regeln beeinflussen. Der Zustand eines Elements hat Einfluss auf das Netzwerk, und das Netzwerk beeinflusst den Zustand jedes einzelnen Elements. Diese gegenseitige Beeinflussung funktioniert etwa so wie das berühmte Henne-Ei-Problem. Was war vorher da? Henne oder Ei? Eine Frage, die schwer zu lösen ist. Ohne Henne kein Ei und ohne Ei keine Henne.

Ähnlich schwierig ist die Frage zu klären, wie sich der Einfluss des Netzwerkes auf die Elemente und der gleichzeitige Einfluss der Elemente auf das Netzwerk auswirken. Während man das eine auf Basis des anderen verstehen möchte, verändert sich das andere. Das macht die Sache ungemein schwierig, eben komplex.

Der Mensch kann mit Komplexität nicht besonders gut umgehen. Komplexität übersteigt schnell jede mentale Kapazität. Für ein biologisches Gehirn ist es schlicht unmöglich, die vielen Bauteile eines komplexen Systems im Blick zu behalten. Noch viel unmöglicher ist es, die Netzwerke der gegenseitigen Abhängigkeiten zu verstehen und die Konsequenzen der gegenseitigen Beeinflussungen und die dadurch hervorgerufenen Veränderungen der Bestandteile nachzuvollziehen. Wenn ein Netzwerk aus einer bestimmten

Anzahl von Knoten besteht, sagen wir, diese Anzahl ist »N«, dann gibt es $N^2 - N$ Möglichkeiten, wie sie sich beeinflussen können. Wenn ein Netzwerk zum Beispiel aus tausend Bestandteilen besteht, gibt es fast eine Million mögliche Beziehungen zwischen ihnen.

Auch die Wissenschaft konnte solcher Systeme bislang nicht Herr werden. Über Jahrhunderte konnte sie praktisch keine vernünftigen Schlüsse über Komplexität ziehen. Gleichzeitig ist der Mensch permanent mit komplexen Systemen konfrontiert, muss also mit Komplexität leben und mit ihr umgehen. Komplexe Systeme umgeben uns überall, egal wohin wir blicken. Praktisch alles, was wir interessant finden, ist ein komplexes System. Alles Lebende, jedes gesellschaftliche, ökologische, wirtschaftliche, finanzielle System ist komplex.

Komplexe Systeme zeigen eine ungemeine Vielfalt an Phänomenen, die sich nicht verstehen lassen, wenn man die Elemente einzeln betrachtet. Um mit einer scheinbar unbeherrschbar komplexen, vernetzten Welt umgehen zu können, hat sich der Mensch im Laufe der Geschichte deshalb allerlei ausgedacht. Lange Zeit sah man hinter vielen komplexen Phänomenen übernatürliche Kräfte am Werk, die man letztlich nur mit Göttern, Dämonen, dem Schicksal oder den Sternen »verstehen« konnte. Nur mit Hilfe höherer Einflüsse und göttlicher Lenkung konnte man »erklären«, wodurch es zu Krankheiten und Seuchen kommt, warum Kriege ausbrechen, warum Menschen Städte bauen, oder warum sich Vogel- und

Fischschwärme bilden.

Die Naturwissenschaft konzentrierte sich in den vergangenen 300 Jahren auf die Erforschung einfacher Systeme, denen keine dynamischen Netzwerke zugrunde liegen. Das Erfolgsrezept war der sogenannte Reduktionismus, eine philosophische und naturwissenschaftliche Vorgehensweise, bei der man versucht, ein System in seine Einzelteile zu zerlegen, diese – weil sie meistens einfacher sind, als »das Ganze« – zu verstehen, um dann aus der Funktionsweise der Einzelteile zu schließen, wie »das Ganze« funktioniert. Man versucht kurz gesagt, das Ganze aus den Eigenschaften seiner Einzelteile heraus zu verstehen.

Wie weit wir mit dieser Vorgehensweise gekommen sind, zeigen uns die Physik, die Chemie und die Molekularbiologie. Wir ernähren derzeit fast acht Milliarden Menschen, alle können miteinander jederzeit von Angesicht zu Angesicht kommunizieren, indem sie in Glasplatten sprechen. Wir verstehen die Funktionsweise von Viren und haben bereits vor einem halben Jahrhundert nicht nur Menschen auf den Mond geschickt, sondern auch, wenn auch vollkommen sinnlos, ein dazugehöriges Auto, das Lunar Roving Vehicle.

COMPUTER VERÄNDERN ALLES

Das Verständnis komplexer Systeme wurde erst mit der Erfindung des Computers möglich. Hätten wir nur unser Gehirn, Bleistift, Papier und vielleicht noch eine einfache Rechenmaschine, wie das vor sechzig Jahren noch der Fall war, wären wir nach wie vor nicht in der Lage, komplexe Systeme zu verstehen. Wir hätten weder Daten noch die Möglichkeit, mit ihnen etwas Sinnvolles anzufangen. Wir hätten zum Beispiel keine Chance, die globalen Ausbreitungsmuster eines neuartigen Virus entlang von sozialen Kontaktnetzwerken zu verstehen. Und selbst, wenn wir genaue Daten darüber hätten, wer wen angesteckt hat, wir wüssten nicht, wie man daraus wirksame Gesundheitsmaßnahmen ableiten sollte. Wir könnten einfach nicht Schritt halten mit den sozialen Netzwerken, wie sie sich in Folge der Pandemie verändern, und damit das Verhalten der Menschen verändern, und diese wiederum die Netzwerke.

Computer, Big Data und quasi unbegrenzter Speicherplatz ermöglichen es uns, solche Systeme jetzt besser zu verstehen. Big Data liefert uns nicht nur die Daten zu allen Einzelteilen, sondern auch zu deren Verbindungen und Wechselwirkungen. Mit Hilfe von Computern und Datenbanken können wir nachverfolgen, wie sich Netzwerke und Eigenschaften gleichzeitig verändern.

Heute können wir als Menschheit dank der Informations- und Computer-Technologie im Prinzip wissen, wer mit wem

kommuniziert. Man könnte es zum Beispiel in Daten der sozialen Medien oder in den Daten von Telefongesellschaften nachverfolgen. Man sieht, wer welche Inhalte im Netz anklickt und vermutlich liest, wer welche Dinge bestellt und konsumiert. Man kennt jede Zahlung mit Karte, jede Überweisung wird aufgezeichnet, man kennt das Einkaufsverhalten Einzelner und das ganzer Bevölkerungsgruppen. Man weiß, wer welche Filme sieht und kennt Netzwerke von denen, die miteinander befreundet oder verfeindet sind, man kennt durch GPS die Bewegungen all derjenigen, die es am Smartphone nutzen, man weiß, wer was produziert, wer gerade woran arbeitet und wer in welchen Verhaltensmustern gefangen ist. Man kennt die Herzschläge, Atemzüge und Blutsauerstoffwerte derer, die sie mit ihren Smartwatches in die Cloud laden. Konzerne können damit das Gesundheitsprofil der betreffenden Menschen täglich aktualisieren und mit den gekauften Medikamenten abgleichen.

In neuen Autos befinden sich bereits mehrere SIM-Karten. Manche Modelle melden direkt an den Autohersteller oder an die Versicherung, wie konzentriert der Fahrer ist und was im und um das Auto herum passiert. Man lässt Kühe Sensoren schlucken, die uns in Echtzeit sagen, was im Kuh-Magen gerade vorgeht, und die uns anzeigen, wenn eine Kuh krank zu werden droht. Man beobachtet mit Sensoren Verrottungsprozesse in Mülltonnen und erfasst den CO₂-Ausstoß von Müllhalden. Man kann den Standort und die Fracht jedes Schiffes zu jeder Zeit lokalisieren, man überwacht sämtliche Flugzeuge und Passagiere

und kann verfolgen, wo Bäume gefällt und wo Urwälder in Palmölplantagen umgewandelt werden.

GPS-Daten machen selbst minimale Veränderungen messbar. Die millimeterweisen Bewegungen von Bergen etwa, oder den Anstieg des Meeresspiegels. Jeder Befehl auf den Computern wird mitgeloggt, jeder Radfahrer wird gezählt, jeder LKW auf jeder Autobahn wird erfasst. Wir haben begonnen, alles, was sich auf dem Planeten tut, mitzuschreiben und zu speichern. Kameras, Chips, Speicherkarten und Sensoren übersehen praktisch nichts mehr.

Diese Vermessung der Welt findet in ungeheurem Ausmaß statt und es sieht nicht so aus, als gäbe es ernstzunehmende Tendenzen, die dem Einhalt gebieten würden. Wir produzieren mehr und mehr Sensoren. Sie nehmen die physische und digitale Wirklichkeit wahr, verwandeln sie in Daten und speichern sie. Die digitale Kopie des Planeten wird immer genauer. Wie viele Terabytes und Zettabytes sind das? Weil es exponentiell mehr werden, brauchen wir immer neue Worte dafür. Yottabyte zum Beispiel. Ein Yottabyte besteht aus 1.000.000.000.000.000, oder, anders gesagt, tausend Billionen Gigabyte.

SINN AUS DATEN

Was können wir mit dieser digitalen Kopie des Planeten anfangen? Wenn wir das alles wissen, warum sind wir dann nicht viel weiter? Wieso wissen wir nicht, wie viele Menschen im Jahr 2050 auf dem Planeten leben werden, um wieviel Grad sich die Erde in den nächsten fünfzig Jahren erwärmen wird, wieso wissen wir nicht, wann der nächste Hurrikan kommt, wieso wissen wir im Sommer 2020 nicht, ob es im Herbst eine zweite COVID-19-Welle geben wird? Warum wissen wir nicht, ob es heute Abend einen Verkehrsstau in Wien geben wird, wie wahrscheinlich ein massiver Volksaufstand in den USA ist oder wie teuer die nächste Finanzkrise in Deutschland für die Bürger werden wird?

Wir wissen das alles und noch sehr viel mehr nicht, weil diese Systeme komplex sind, und wir diese Komplexität nicht beherrschen. Wir wissen nicht, wie wir die Daten, die wir über diese Systeme sammeln, verwenden sollen und wie sie uns helfen könnten, besser mit Komplexität umzugehen.

Bevor wir einen Schritt weiterkommen, müssen wir aus diesen Daten verwendbares Wissen generieren. Wie in Kapitel eins besprochen, sind Daten alleine oft noch nicht viel wert. Damit Wert entsteht, muss man sie erst in einen »Kontext« bringen. Erst dann kann man versuchen, Sinn daraus zu generieren. Kontext entsteht, wenn Daten zusammengeführt und in einen Bezug

zueinander gebracht werden, sodass man konkrete Fragen an sie richten kann. Erst dann entsteht eine nützliche digitale Kopie des Planeten. Erst der Bezug kreiert Sinn. Sonst bleibt Information meist sinnlos.

WIE BRINGT MAN DATEN IN EINEN KONTEXT?

Daten beschreiben fast immer eines von zwei Dingen: Entweder sie geben die Eigenschaften von Dingen wieder, zum Beispiel wie viel Geld Frau Müller am Konto hat oder wie schnell das Auto von Herrn Mayer gerade jetzt fährt. Oder sie geben an, wie eine Sache mit einer anderen in Verbindung steht. Letzteres ist nichts anderes als eine Verbindung in einem Netzwerk, ein »Link«. Also zum Beispiel: Herr X hat am 2. Juni 2020 Frau Y angerufen, das heißt, am 2. Juni waren X und Y durch ein Telefonat in Verbindung, es bestand ein »Kommunikationslink von X nach Y«. Diesen Link kann man nun in einer Datenbank speichern.

Daten sind bereits oft in einer Form, die die Essenz von komplexen Systemen ausmacht. Sie bilden bereits ab, was für die Beschreibung von komplexen Systemen notwendig ist: die Eigenschaften der Bauteile und die Netzwerke zwischen ihnen. Das ist der Grund, weshalb die Wissenschaft komplexer Systeme wunderbar mit Big Data zusammenpasst.

Wenn es gelingt, in Daten einen Kontext herzustellen, können wir damit fantastische Dinge tun. Wir können daraus vollkommen neuartiges Wissen gewinnen und neue Einsichten, zum unmittelbaren Nutzen für die Menschheit. Diese Kopie gibt uns die Möglichkeit, den Homo Sapiens und seine

Gesellschaften, Institutionen und sozialen Systeme erstmals wirklich zu verstehen, in einer Qualität, die bisher nur in den Naturwissenschaften möglich war. Fast so wie im Pardus-Spiel – nur in echt.

Diese Entwicklung ist mitunter das Spannendste, das ich bisher erlebt habe, denn es erlaubt der Menschheit in weiterer Folge, die Planung unserer Gesellschaft in Zukunft weitaus besser in den Griff zu bekommen. Und sie schafft eine ernstzunehmende Möglichkeit, die »großen Probleme« rational anzugehen und zu meistern.

Die Wissenschaft komplexer Systeme versucht systematisch, Kontext in Daten herzustellen. Um das zu tun, bedient sie sich oft sogenannter Agenten-basierter Modelle. Das sind Computermodelle, bei denen die Bauteile eines Systems als »Agenten« abgebildet werden. Diese Agenten haben Eigenschaften und stehen in Beziehungen zueinander. Diese Beziehungen bilden Beziehungsnetzwerke. Die Modelle beschreiben dann anhand sogenannter update-Regeln, die in Computeralgorithmen implementiert werden, wie sich die Agenten aufgrund der Beziehungen zueinander verändern, und wie sich die Beziehungen aufgrund der neuen Eigenschaften der Agenten zeitlich ändern. Der Algorithmus beschreibt also die zeitlichen Updates von Agenten und Netzwerken. Daten werden dann dazu verwendet, um die update-Regeln zu identifizieren, und um die Eigenschaften der Bauteile sowie die der Netzwerke möglichst realistisch abzubilden.

Besser verständlich wird die Sache anhand eines Beispiels, wie sich Viren ausbreiten. Menschen – die Agenten – haben immer eine von drei Eigenschaften: Sie sind entweder gesund und sind durch einen speziellen Virus ansteckbar, oder sie sind angesteckt und krank, oder sie sind nach überstandener Krankheit wieder gesund und immun und können daher nicht noch einmal angesteckt werden. Diese Agenten stehen über soziale Netzwerke miteinander in Verbindung. Immer, wenn eine Verbindung zwischen einem angesteckten und einem ansteckbaren zustande kommt, kann der ansteckbare angesteckt werden und seine Eigenschaft verändert sich. Seine sozialen Netzwerke ändern sich ebenfalls: Sobald ein Agent glaubt, dass sein Freund angesteckt ist, vermeidet er einige Tage den Kontakt, um nicht selbst angesteckt zu werden. Das nennt sich Social Distancing.

Wenn sich alle so verhalten, lässt sich nicht nur ausrechnen, wie sich die Seuche ausbreitet, sondern auch, wie sich Sozialkontakte über den Seuchenverlauf hinweg verändern. Wenn man das Social Distancing nicht berücksichtigt, kommt man manchmal auf extrem falsche Vorhersagen über die Seuchenausbreitung. An solchen bestand kein Mangel während der Corona-Krise.

Durch das erwähnte »in Kontext bringen« und durch das Verbinden von Agenten durch Netzwerke entsteht in der Wissenschaft komplexer Systeme manchmal eine Zusammenschau von verschiedenen Disziplinen. Es entsteht

sogenannte Interdisziplinarität. Die Komplexitätsforschung verbindet das Fachwissen aus mehreren verschiedenen Bereichen, wie etwa der Physik, der Biologie, den Sozialwissenschaften, der Chaostheorie oder der Spieltheorie und der Theorie der Differenzialgleichungen aus der Mathematik.

KOMPLEX ODER KOMPLIZIERT?

Viele Phänomene und Systeme sind kompliziert. Sie sind deswegen aber noch lange nicht komplex. Wie wir besprochen haben, entsteht Komplexität erst, wenn die unterschiedlichen Bauteile eines Systems und ihre Verbindungen sich gegenseitig beeinflussen und sich in enger Abhängigkeit voneinander über die Zeit hinweg verändern.

Ein Beispiel aus der Physik: Die Planetenbewegung ist vielleicht kompliziert, speziell wenn man sie selbst berechnen soll, aber sie ist nicht komplex. Die Bauteile, nämlich die Sonne und die Planeten ändern sich nicht, nur ihre Position verändert sich. Auch ändert sich die Interaktion zwischen ihnen nicht. Die Wechselwirkung bleibt immer dieselbe: die Schwerkraft. Diese ändert zwar die Position der Planeten, aber die Bewegung der Planeten ändert in der klassischen Physik nichts an der Schwerkraft. Die Wechselwirkung bleibt dieselbe. Das System ist also nicht komplex. Auch eine Rakete, die zum Mond fliegt, ist nicht komplex. Sie folgt bekannten, vielleicht manchen etwas kompliziert anmutenden Differenzialgleichungen. Es kommen aber keine sich verändernden Netzwerke vor.

Ganz anders verhält es sich bei gesellschaftlichen Phänomenen. Wieder ein einfaches Beispiel: Ein Freund, mit dem ich durch einen »Freundschaftslink« verbunden bin, schenkt mir ein Buch zum Geburtstag. Die Lektüre ändert

nun zum Beispiel nachhaltig meine Sichtweise zum Thema Tierschutz. Am nächsten Tag gehe ich in eine Tierklinik und spende ihr tausend Euro, was mir nicht nur Freude macht, sondern auch viele neue Freunde einbringt. Die Interaktion, mit der mein Freund mir das Buch geschenkt hat, ändert zunächst meine Eigenschaften, indem sie meinen Altruismus steigert, und bringt mir dann eine Menge neuer Interaktionen ein.

Durch die Veränderung der Individuen verändert sich das Netzwerk ihrer Freundschaften, und durch die Veränderung des Freundschaftsnetzwerkes verändern wir uns als Individuen. Das ist komplex.

NETZWERKE, NETZWERKE, NETZWERKE

Die meisten komplexen Systeme sind natürlich auch sehr kompliziert. Als Faustregel gilt: Wenn sich ein Netzwerk über die Zeit hinweg verändert und sich dadurch die Eigenschaften der Komponenten des Netzwerks verändern, dann ist ein System meist auch komplex. Mit dieser Definition wird nun klar, welche Systeme tatsächlich komplex sind: Jedes Ökosystem, jedes soziale System, jedes Finanzsystem, jede Zelle ist komplex. Aber auch jedes Lebewesen, ein Ameisenhaufen, das Gesundheitssystem, das Klima, das Internet und so fort. Das alles sind komplexe Systeme.

Als Organismen sind Menschen selbst komplexe Systeme. Sie sind umgeben und eingebettet in natürliche komplexe Systeme. Als soziale Wesen errichten sie ständig neue komplexe Systeme, wie zum Beispiel ihre sozialen Netzwerke. Die Welt besteht aus miteinander verwobenen, interagierenden, aufeinander einwirkenden und sich ständig verändernden komplexen Systemen.

Hinter vielen komplexen Systemen stehen oft mehrere dynamische Netzwerke, die miteinander direkt zusammenhängen und sogenannte »Netzwerke von Netzwerken« bilden. So zum Beispiel hängen das Stromversorgungsnetzwerk, das Internet und das

Kommunikationsnetzwerk zusammen. Das wird bei einem Stromausfall deutlich: Wenn ein umstürzender Baum eine Stromleitung lahmlegt und ein Transformator durchbrennt, sollte diese Störung natürlich über das Kommunikationsnetzwerk an eine Reihe von Personen weitergeleitet werden. Wenn durch den Stromausfall aber die Stromversorgung des Internets oder des Kommunikationsnetzwerks nicht mehr funktioniert, dann geht das nicht mehr. Dann kann man nicht mehr davon ausgehen, dass die notwendigen Maßnahmen an den anderen Stellen des Stromversorgungsnetzwerkes getroffen werden, dass zum Beispiel Transformatoren vom Netz genommen werden, damit sie nicht ebenfalls durchbrennen. So verursacht der Ausfall eines Netzwerkes den Ausfall eines anderen und verstärkt dadurch noch das Ausmaß des ersten. Wir werden im Laufe des Buches noch öfter auf Ausfälle dieser Art zurückkommen.

MEHR ALS DIE SUMME DER TEILE

Oft werden komplexe Systeme beschrieben als solche, bei denen »das Ganze« mehr ist als die »Summe seiner Teile«. Aus dem bisher Gesagten ergibt sich bereits, was den Unterschied zwischen der Summe der Teile und dem Ganzen ausmacht: Es ist das Netzwerk der Interaktionen. Diese Netzwerke von Wechselwirkungen führen letztlich zu den Eigenschaften und Phänomenen der komplexen Systeme, die man beim Betrachten der Einzelteile – ohne Netzwerk – nie erwarten würde.

Man kann eine einzelne Ameise noch so genau untersuchen, studieren und bis ins kleinste Detail verstehen, man würde aus den entdeckten Eigenschaften der einzelnen Ameise niemals erwarten, dass sie in Gemeinschaft mit anderen Ameisen einen komplexen Staat errichten würde mit klaren Aufgaben, Arbeitsteilung und einem einfachen Sozialleben. Man würde vielleicht noch erwarten, dass eine einzelne Ameise, wenn man sie auf einen Tisch setzt, in einem zufälligen Muster herumspazieren würde. Doch setzt man zwei Ameisen auf den Tisch, beginnt die eine dem Geruch der anderen zu folgen. Früher oder später werden sich beide in einem Kreis verfolgen. Das ist etwas völlig anderes als das zufällige Wandermuster einer einzelnen Ameise. Wenn hunderte Ameisen zusammen sind, beginnen sie, einen Staat zu bilden. Das ist wieder ein vollkommen anderes System mit vollkommen anderen

Eigenschaften.

Ähnlich verhält es sich mit Neuronen, den auf Erregungsleitung spezialisierten Nervenzellen. Ein einzelnes Neuron funktioniert im Grunde ähnlich wie ein elektrisches Kabel. Es leitet einen elektrischen Impuls entlang des Axons, eines schlauchartigen Zellfortsatzes. Das ist nicht komplex. Doch wenn mehrere Neuronen über Synapsen, vergleichbar etwa mit biologischen »Lötstellen«, zusammengeschaltet sind, geschieht etwas vollkommen Unerwartetes: Sie können plötzlich lernen. Einige von ihnen können zum Beispiel einen Schaltkreis bilden, der im Kopf einer Fliege deren Flugverhalten steuert. Wenn sehr viele Neuronen zusammenkommen, entsteht irgendwann einmal sogar etwas wie ein Bewusstsein. Es sind immer dieselben Bauteile, die Nervenzellen, es sind immer dieselben Verbindungen, die Synapsen. Entscheidend für die »kognitiven« Eigenschaften ist die Plastizität der Schaltstellen, also der Umstand, dass die »Lötstellen« nicht immer gleich gut miteinander verbunden sind, sondern sich verändern. Zellverbindungen, die oft verwendet werden, werden stärker »verlötet«, das neuronale Netzwerk ändert sich. Wesentlich für die kognitiven Fähigkeiten ist auch die Größe des Systems.

Das Phänomen, dass sich die Eigenschaften eines komplexen Systems nicht unmittelbar aus dessen Bauteilen erschließen, nennt man Emergenz. Das Wort kommt aus dem Lateinischen und bedeutet »herauskommen« und bezeichnet das Hervorkommen von neuen Eigenschaften eines Systems

infolge des Zusammenspiels seiner Elemente. Der Ameisenstaat und das Fliegenhirn sind Beispiele für Emergenz. Ein weiteres, offensichtliches Beispiel dafür ist Massenpanik, die in großen Menschenmengen entstehen kann. Ein Verhalten, das einzelne Menschen allein nicht zeigen. Oder das Verhalten von Fischen oder Vögeln in Schwärmen. Man nennt Phänomene, die aus den sogenannten Mikroeigenschaften seiner Bauteile in Kombination mit deren Wechselwirkungsnetzwerken entstehen, die Makroeigenschaften. Manchmal wird Emergenz als das Gegenteil vom erwähnten Reduktionismus gesehen, bei dem versucht wird, »das Ganze« durch das Verständnis der Elemente allein zu verstehen. Bei komplexen Systemen ist das eben nicht möglich.

MAKROEIGENSCHAFTEN

Komplexe Systeme bilden häufig sogenannte Makroeigenschaften aus. Sie können dabei unterschiedliche Systemzustände einnehmen. Ein einfaches, nicht komplexes Beispiel für eine Makroeigenschaft sind die Aggregatzustände von Wasser. Chemisch gesehen ist Wasser immer eine Ansammlung von Molekülen, die meist aus zwei Wasserstoffatomen und einem Sauerstoffatom bestehen. Je nach Temperatur bewegen sich diese Moleküle unterschiedlich schnell und sind dadurch unterschiedlich stark aneinander gebunden. Ist es kalt, ist Wasser fest, bei Raumtemperatur ist es flüssig, und durch Erhitzen wird es irgendwann dampfförmig. Es ist immer dasselbe Molekül – mit drei grundverschiedenen Makroeigenschaften.

Ein anderes Beispiel für eine Makroeigenschaft ist der Zustand einer Volkswirtschaft. Es gibt einen Systemzustand, in dem die Wirtschaft boomt, in dem Vollbeschäftigung herrscht und Überschüsse produziert werden, die umverteilt werden können. Alle haben Arbeit und den meisten geht es gut. Auch für jene, die nicht arbeiten, ist genug vorhanden. Dieselben Menschen mit exakt denselben Eigenschaften und denselben Fähigkeiten können sich aber auch in einem anderen Systemzustand befinden, in dem die Wirtschaft am Boden liegt, viele arbeitslos sind und wo so wenig produziert wird, dass die

meisten verarmt sind. In diesem Zustand macht es für niemanden mehr Sinn, die Initiative zu ergreifen, und niemand investiert mehr. Diese Makroeigenschaft »Krise« kann über lange Zeit bestehen bleiben.

Zwischen den verschiedenen Systemzuständen oder Makroeigenschaften gibt es häufig abrupte Übergänge, die sogenannten Kipp-Punkte oder Tipping Points, die wir im ersten Kapitel kennengelernt haben. Bei Wasser liegen diese bei 0 und 100 Grad Celsius, wo der radikale Übergang von fest zu flüssig und von flüssig zu gasförmig stattfindet. In der Wirtschaft kann es ein äußerer Anlass sein, wie zum Beispiel eine Finanzkrise, die zu einem Übergang von einer Boom- in eine ausgedehnte Depressionsphase führen kann. Hier ist es schon weitaus weniger klar, wo sich die Kipp-Punkte befinden und welche Faktoren zum Kollaps führen.

Zu den wichtigsten Makroeigenschaften von komplexen Systemen zählen Eigenschaften wie: Stabilität, Robustheit, Effizienz, Resilienz und Anpassungsfähigkeit. Ein System ist stabil und robust, wenn es einen Schock aushält und übersteht, ohne in seiner Funktion stark beeinträchtigt zu werden. So weit so logisch. Das hat noch wenig mit Komplexität zu tun. Schwieriger wird es beim Begriff der Effizienz. Ein System ist effizient, wenn es gut funktioniert in dem Sinn, dass der Output in Relation zum Input hoch ist. In komplexen Systemen hängt Effizienz oft stark mit den Details der zugrundeliegenden Netzwerke zusammen.

Zum Beispiel hängt der Output einer Firma stark damit zusammen, wie sie organisiert ist. Wie hierarchisch ist sie, wie sehen die Interaktionsnetzwerke zwischen den Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern aus? Wie sind die Produktionsabläufe und die Verwaltungsstrukturen in Netzwerken organisiert, wie beeinflussen diese die Motivation und Produktivität der einzelnen MitarbeiterInnen? Wie stabil sind die Zuliefernetzwerke und wie verlässlich sind die internationalen Handelsnetzwerke?

ANPASSUNGSFÄHIG UND RESILIENT

Die meisten komplexen Systeme sind anpassungsfähig und brechen nicht gleich beim geringsten Schock zusammen. Die Anpassungsfähigkeit kommt daher, dass sich die Netzwerke in den Systemen aufgrund von äußeren Störungen verändern können. Anpassungsfähigkeit führt dann zu dem, was Resilienz genannt wird. Ein System ist resilient, wenn es durch einen Schock zwar getroffen wird und zunächst nicht mehr so gut funktioniert wie zuvor, dass es aber die Fähigkeit besitzt, sich quasi selbst zu reparieren, und nach einiger Zeit wieder zu einer Funktionsfähigkeit wie vor dem Schock kommt.

Resilienz konnte zum Beispiel während des Lock-Downs in der Corona-Krise beobachtet werden. Durch einen Lock-Down wird etwa das Produktionsnetzwerk stark in Mitleidenschaft gezogen, weil viele nicht mehr arbeiten gehen können und dadurch Lieferketten unterbrochen werden. Die Produktion und die Wirtschaftsleistung sinken. Nach dem Lock-Down funktionieren die Links in den verschiedenen Produktionsnetzwerken aber wieder. Vielleicht hat man in der Zwischenzeit sogar überlegt, verschiedene Dinge besser oder anders zu machen. Letzteres verändert dann das Produktionsnetzwerk und damit die Gesamtfunktionsweise des Systems. Wenn viele dieser kleinen Änderungen im

Netzwerk gleichzeitig passieren, kann es zu massiven sprunghaften Änderungen kommen, zu Systemumbrüchen oder Phasenübergängen. Tipping Points wurden dann erreicht.

TIPPING POINTS

Das bringt uns wieder zurück zu den Tipping Points. Erstmals verwendet wurde der Begriff Mitte der 1950er-Jahre bei Untersuchungen zur Rassentrennung, heute wird er häufig im Zusammenhang mit Klimamodellen und dem Kippen von Ökosystemen verwendet. Als ein Kipp-Punkt im Zusammenhang mit der Klimakrise gilt zum Beispiel das Auftauen von Permafrost-Böden. Eines der zentralen Probleme bei der Erforschung komplexer Systeme ist das Auffinden solcher Kipp-Punkte, beziehungsweise – noch grundlegender – jener Parameter, die zu abrupten Veränderungen des Gesamtsystems führen. Bei vielen sozialen und ökonomischen Systemen ist derzeit noch völlig unklar, welche Faktoren das sind. In der Physik, also bei »einfachen« Systemen, sind die Tipping Points, oder »Phasenübergangsparameter« hingegen oft gut bekannt, etwa der Gefrier- oder Siedepunkt.

Eine weitere Eigenschaft von komplexen Systemen ist, dass sie manchmal extrem sensibel auf kleine Veränderungen reagieren. Sie können also auch das Gegenteil von robust und stabil sein. Das heißt, dass eine kleine Änderung einer Input-Größe einen riesigen Effekt auf den Output hat, dass er sich vielleicht sogar sprunghaft ändert.

Aus der Chaostheorie ist der sogenannte »Schmetterlingseffekt« bekannt. Dieser besagt, dass eine

minimale Änderung eines Parameters, wie zum Beispiel das Flattern eines Schmetterlings in Brasilien, zu riesigen Auswirkungen führen kann, wie etwa zu einem Tornado in Texas. Der Grund für diese großen Auswirkungen kann entweder an der nicht-linearen Natur der komplexen Systeme liegen oder stammt von einem Schneeballeffekt, einer Kettenreaktion.

Der Ausfall einer Komponente in einem komplexen System kann den Ausfall mehrerer anderer Komponenten verursachen. Die Ansteckung einer Person mit einem Virus bedeutet, dass diese Person mehrere weitere Personen anstecken kann. Das steckt hinter der Reproduktionszahl »R«, die in der Corona-Krise bekannt geworden ist. Andere komplexe Systeme wiederum können anpassungsfähig und resilient gegenüber Störungen sein, sodass selbst größere Veränderungen einzelner Parameter kaum merkliche Reaktionen im Netzwerk hervorrufen. Störungen werden quasi vom Netzwerk absorbiert, indem es sich an Veränderungen anpasst, es ist adaptiv.

Die wenigsten komplexen Systeme sind von einem Erfinder oder einem Ingenieur entworfen worden, oder wurden von einem intelligenten Designer geschaffen. Sie schaffen sich und funktionieren scheinbar von selbst, ohne äußeres Zutun. Sozialwissenschaftler nennen dieses Phänomen spontane Ordnung. Sie tritt zum Beispiel bei sogenanntem Herdenverhalten auf, bei dem eine Gruppe von Personen ihre Aktionen ohne zentrale Planung koordiniert. Wenn etwa alle gleichzeitig dieselben Aktien kaufen oder alle zugleich in Panik

geraten.

In den Naturwissenschaften spricht man von Selbstorganisation, etwa wenn sich Moleküle scheinbar von selbst zu einer Schneeflocke anordnen oder wenn Ameisen einen Staat errichten. Damit Selbstorganisation stattfinden kann, sind natürlich bestimmte Eigenschaften der Bauteile und der Interaktionsregeln notwendig. Kennt man diese, kann man die emergenten Eigenschaften des gesamten Systems vorhersagen. Die Wissenschaft komplexer Systeme versucht genau das zu tun: komplizierte Makrophänomene wie Effizienz, Stabilität und Resilienz aus relativ einfachen netzwerkbasieren Interaktionsregeln abzuleiten.

KONTROLLIERBARKEIT

Jeder Mensch, nicht nur KomplexitätsforscherInnen, kennt die Momente, in denen sich komplexe Systeme ganz anders verhalten, als man es erwarten würde. Wer vor einigen Jahren versucht hat, einem Stau in einer Stadt zu entkommen, versteht die Schwierigkeit. Wenn ein Navi (das damals noch keine Alternativrouten angeben konnte) einen Stau auf einer Strecke vorhersagt, denke ich natürlich sofort darüber nach, auf eine andere Route auszuweichen. Ich weiß aber auch, dass alle anderen vermutlich dasselbe denken und eventuell ebenso versuchen werden, auszuweichen. Das kann dazu führen, dass der Großteil der Leute die alternative Route wählt und sich der ursprünglich vorhergesagte Stau auflöst, sodass letztlich die beste Lösung ist, direkt in den angekündigten Stau zu fahren. Das ist mit den heutigen Navis natürlich nicht mehr der Fall.

Manchmal ist man mit der einigermaßen verstörenden Situation konfrontiert, dass man versucht, ein komplexes System zu regulieren, und es benimmt sich wie verhext. Wenn es zum Beispiel darum geht, den Verkehr einer Stadt zu kontrollieren. Man beginnt mit dem Aufstellen einiger Ampeln und stellt fest, dass tatsächlich alles besser wird. Der Verkehr fließt besser. Also fährt man fort mit dem eingeschlagenen Weg der Optimierung. Man kommt dann oft zu dem Punkt, an dem, wenn man die Optimierung konsequent weiterführt, das System schlagartig

schlechter wird. Eine Ampel zu viel und der Verkehr beginnt an vielen Stellen der Stadt gleichzeitig zu stocken.

Diese Ampel, die zu viel ist, markiert den Tipping Point. Ab da macht das komplexe System eventuell das genaue Gegenteil von dem, was man eigentlich will. Jeder einzelne Schritt in der verbesserten Optimierung macht Sinn, doch das Gesamtergebnis ist fatal.

Ein anderes Beispiel: Wenn man eine Tierart nach der anderen ausrottet, zum Beispiel durch Überfischung eines Sees, stört man die Nahrungskette der verbleibenden Arten. Angenommen, diese ändern ihren Menüplan und fressen etwas Anderes. Das kann für eine gewisse Zeit gut gehen, aber – wie das Amen im Gebet – kommt der Punkt, an dem das nicht mehr möglich ist, und das Ökosystem See kippt. Fast alle Arten verhungern. Es kann Jahrzehnte dauern, bis sich das Ökosystem wieder erholt.

ZERBRECHLICHKEIT

Dieses Buch handelt von der Zerbrechlichkeit der Welt. Davon, wie komplexe Systeme, die wir als Gesellschaft notwendig brauchen, kollabieren können. Mit der Wissenschaft komplexer Systeme verstehen wir erstmals besser, warum wir dem Thema Kollaps bisher meist hilflos gegenübergestanden sind, und uns System-Zusammenbrüche aus heiterem Himmel erwischt haben. Wir verstehen, wieso ohne Computer und ohne Daten ein Verständnis dieser Phänomene bisher einfach nicht möglich war. Wir verstehen aber auch, dass weder Computer noch Daten alleine ausreichen werden, um komplexe Systeme zu durchschauen.

Die Menge der weltweit gespeicherten Daten ist gigantisch und sie wächst weiterhin exponentiell. Die verfügbaren Rechenkapazitäten setzen uns ebenso quasi keine Grenzen mehr. Auch sie sind in den vergangenen Jahren exponentiell gewachsen und wachsen weiter. Der Flaschenhals ist und bleibt das Verständnis der komplexen Systeme. Nämlich das Verständnis, unter welchen Bedingungen sich Netzwerke umgestalten und wie Interaktionen Bauteile verändern, die wieder Netzwerke umgestalten und so weiter. Als Konsequenz dieser sogenannten co-evolutionären Dynamik gibt es Punkte, an denen das System rapide andere Makrozustände einnehmen kann. Dieser Übergang offenbart sich oft als Kollaps. Die dahinterliegende Dynamik zu

verstehen, bildet einen Kernbereich der Komplexitätsforschung. Nicht nur am Complexity Science Hub Vienna arbeiten wir daran, dieses Verständnis zu verbessern. Wir sind selbst Teil eines internationalen Netzwerks von Komplexitätsforschungszentren, deren Knotenpunkte unter anderem das Santa Fe Institute in New Mexico, das Institute of New Economic Thinking in Oxford, die Arizona State University und das Forschungsinstitut IFISC in Palma de Mallorca bilden. Vielen Forschern in diesem Netzwerk ist bewusst, dass – so gerne wir auch im wissenschaftlichen Elfenbeinturm sitzen – die Fortschritte der Wissenschaft eventuell mitentscheidend für das Überleben unserer Kultur sein könnten.

- Komplexe Systeme umgeben uns, wo immer wir hinsehen.
- Sie bestehen aus dynamischen Netzwerken.
- Netzwerke beeinflussen die Bauteile und umgekehrt.
- Dadurch entsteht eine Vielzahl von emergenten Phänomenen.
- Ohne Verständnis der Netzwerke bleiben diese unverständlich.
- Komplexe Systeme sind ohne Computer und Big Data nicht beherrschbar.
- Sie sind selbst-organisierend und resilient.
- Die Wissenschaft komplexer Systeme ist auch eine von Kollaps und Zusammenbruch.
- Kein Wissenschaftszweig hat so wie sie die Möglichkeit, System-Risiken zu erkennen und Tipping Points zu

identifizieren.

Конец ознакомительного фрагмента.

Текст предоставлен ООО «ЛитРес».

Прочитайте эту книгу целиком, [купив полную легальную версию](#) на ЛитРес.

Безопасно оплатить книгу можно банковской картой Visa, MasterCard, Maestro, со счета мобильного телефона, с платежного терминала, в салоне МТС или Связной, через PayPal, WebMoney, Яндекс.Деньги, QIWI Кошелек, бонусными картами или другим удобным Вам способом.