

—  
*Projekt* **Zukunft**  
—

TEIL VIER

# Die Berechnung der Welt

---

Der österreichische Wissenschaftler Stefan Thurner erforscht, wie komplexe Systeme – etwa Städte, soziale Netzwerke oder Finanzmärkte – funktionieren. Klingt wie ein Orchideenthema, hat jedoch überraschend viele Auswirkungen auf unser Leben.

**Ob Wirtschaftspolitik, Gesundheitswesen, Stadtplanung oder  
Finanzwirtschaft – überall herrscht Nachfrage nach Komplexitätsforschung.  
Denn so verschieden all diese Systeme  
auch sind: Die Grundstrukturen sind stets die gleichen.**

**D**IE SPEZIELLE Relativitätstheorie von Albert Einstein oder das weite Feld der Teilchenphysik sind zweifellos kompliziert – nichts, was man auf Anhieb verstehen muss. Und doch sind sie keineswegs komplex. Unser Freundeskreis hingegen ist auf den ersten Blick einfach zu verstehen, allerdings handelt es sich im Detail um ein unglaublich komplexes Gebilde. Denn dieses soziale Netzwerk besteht aus Einzelteilen, die zusammenhängen, sich austauschen und untereinander agieren. Mit der Zeit verändern sich nicht nur die einzelnen Knotenpunkte, sondern auch das Netzwerk selbst. In grafische Form gebracht, ergibt das ein heilloses Durcheinander an Punkten und Linien; schon die Veränderungen sind schwierig zu erkennen, von deren Folgen und zukünftigen Entwicklungen ganz zu schweigen.

Wir alle sind umgeben von solchen Systemen und selbst Teil davon: Der menschliche Körper etwa ist ein komplexes System, ebenso Städte, Familien, Religionsgemeinschaften oder Wirtschaftsmärkte – bis hin zum komplexesten System von allen, dem Ökosystem. „Komplex ist etwas, in dem ein Henne-Ei-Problem versteckt ist“, sagt Stefan Thurner. Der österreichische Wissenschaftler ist einer der weltweit profiliertesten Experten für die Wissenschaft komplexer Systeme. Obwohl in vielen unterschiedlichen Bereichen von praktischer Bedeutung, ist die Disziplin noch nicht allzu bekannt. Das liegt einerseits daran, dass sie nicht einfach einzuordnen ist: So sind Komplexitätsforscher wie Thurner an unterschiedlichen Fakultäten angesiedelt, er selbst ist derzeit an der Medizinischen Universität in Wien tätig, hat aber Physik und Wirtschaftswissenschaften studiert.

Andererseits wirken die Erkenntnisse der Forschungen in dermaßen vielen Bereichen, dass es schwierig scheint, die Auswirkungen im Auge zu behalten – in der Wirtschaft besteht ebenso Nachfrage wie im Gesundheitswesen, bei der Stadtplanung oder auf den internationalen Finanzmärkten.

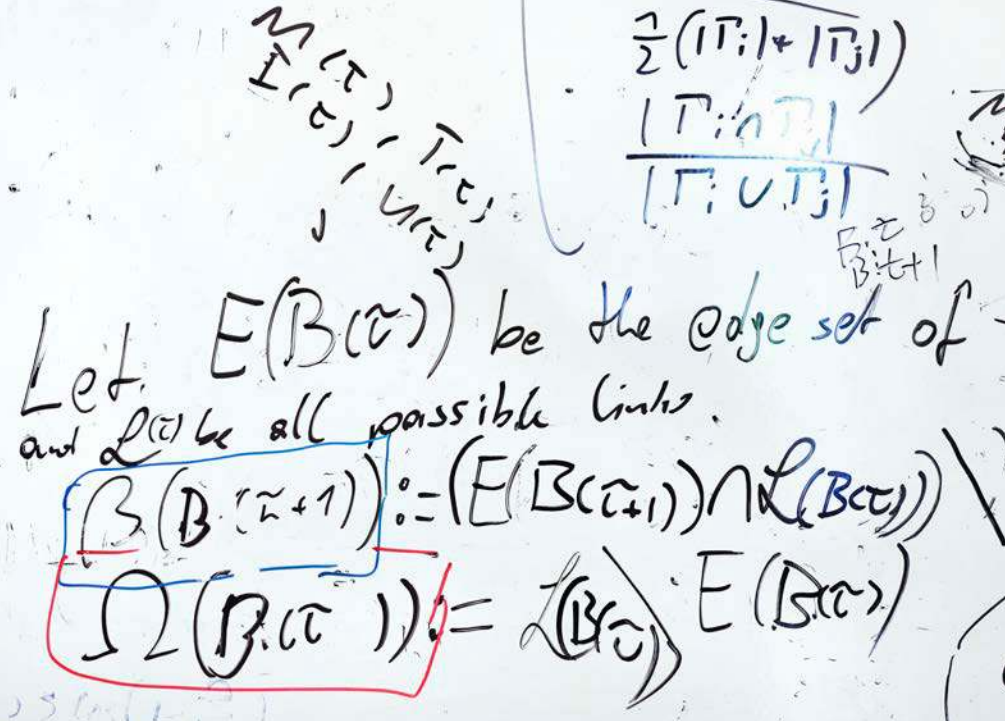
So verschieden diese Systeme auch sind: Die Grundstrukturen sind stets die gleichen. Diesen Mustern nähern sich Thurner und andere Forscher vor allem mit höherer Mathematik, etwas technologischer Unterstützung und mit Verständnis für die jeweiligen Fächer. Zum Drüberstreuen darf eine Portion Ehrgeiz nicht fehlen.

Auf eine Tafel in ihrem Institut in Wien haben Stefan Thurner und seine Kollegen eine Unmenge an Formeln gekritzelt, die für Außenstehende erst einmal vollkommen unverständlich sind. Doch das Thema klingt vertraut: Hier wollen die Forscher nichts Geringeres untersuchen als die Freundschaft zwischen Menschen. Sollte es jemandem gelingen, das Durcheinander zu verstehen, hätte er dennoch keine Formel gefunden, um im echten Leben oder auf Facebook die Zahl seiner Freunde zu steigern. Denn zunächst geht es bloß darum, seelenlos Computern das Wesen der Freundschaft zu erklären, damit sie mit dem Rechnen beginnen können. „Wir müssen etwas in eine mathematische Form bringen, um es dem Computer mitzuteilen“, sagt Thurner und öffnet einen bisher verborgenen Teil der Tafel, der ebenfalls von oben bis unten vollgeschrieben ist. „Jedes komplexe System ist auch kompliziert.“

An die Lösung der schwierigen Aufgabe versucht man sich in drei Schritten heranzutasten: Zunächst geht es um die Darstellung der →

**Stefan Thurner (47)** ist Leiter des Instituts für die Wissenschaft Komplexer Systeme der Medizinischen Universität Wien, Senior Researcher beim IASA in Laxenburg bei Wien und externer Professor am Santa Fe Institute in den USA. Darüber hinaus ist er Präsident des Complexity Science Hub Vienna (CSH). Der 1969 in Innsbruck geborene Thurner studierte Theoretische Physik an der TU Wien, wo er 2001 habilitierte, sowie Wirtschaftswissenschaften an der Universität Wien. Er war unter anderem an der Boston University und der Humboldt Universität Berlin tätig.

Beim diesjährigen **Forum Alpbach** gewährt Stefan Thurner einen Einblick in seine Arbeit. Generalthema im Tiroler Bergdorf ist diesmal „Die neue Aufklärung“. Mehr dazu auf S. 134



#### Wahre Freundschaft

Hier tüfteln die Forscher gerade an einer Formel, die dem Computer erklärt, was mit dem Begriff Freundschaft gemeint ist. Nur wenn die Maschine das kapiert hat, kann sie mit dem Rechnen beginnen.

#### Was sind komplexe Systeme?

Die Wissenschaft komplexer Systeme wurde vom britischen Physiker **Stephen Hawking** als „die Wissenschaft des 21. Jahrhunderts“ bezeichnet. Diese Systeme bestehen aus Einzelteilen, die auf unterschiedliche Weise **miteinander verbunden** sind, untereinander agieren und damit das **Netzwerk** und sich

selbst verändern. Finanztransaktionen, Mitglieder von sozialen Netzwerken, Tiere und Pflanzen in einem Ökosystem – sie alle können **Knoten in einem solchen System** sein. Ziel der Arbeit von Komplexitätsforschern: exakt berechnen zu können, was bestimmte Handlungen in komplexen Systemen für Folgen haben.

komplexen Systeme. Ein Beispiel dafür ist regionale Wirtschaftspolitik, deren Entscheidungen oft auf Mutmaßungen beruhen: Wenn etwa in einem Bezirk eine Scheibenwischerfabrik gefördert wird, beruht dies auf der Einschätzung eines Landrats, der ganz fest glaubt, dass diese Maßnahme goldrichtig ist. „Wenn ich jedoch etwas weiß, statt es schätzen zu müssen, kann ich eine ganz andere Wirtschaftspolitik machen“, sagt Thurner. Der zweite Schritt ist das Verstehen: Warum sind Netzwerke so beschaffen, wie und weshalb finden Veränderungen statt? Und schließlich folgt der dritte und schwierigste Schritt: das sinnvolle Management dieser Netzwerke. Thurner: „Das beste Beispiel dafür ist die aktuelle Bankenkrise: Wir wissen, wie es derzeit auf dem Finanzmarkt aussieht und was passiert, wenn es eine Bank zerreißt.“ So ein Ereignis kann natürlich fatale Folgen für Wirtschaft und Gesellschaft haben.

Muss es aber nicht. „In den vergangenen zehn Jahren haben wir gelernt, dass komplexe Systeme resilient sind, also eine Form von Robustheit haben“, sagt Thurner.

Am Beispiel der Natur: Eine Spezies stirbt aus, damit fehlt ein Knoten aus dem System. Zwar sinkt die Artenvielfalt, doch sonst geschieht nichts Wesentliches. Das kann eine Zeitlang gutgehen,

doch plötzlich wird ein Knoten entfernt, der offenbar besonders wichtig war – und das ganze System kollabiert. Analog gilt das auch für die Wirtschaft: „Es sind immer Banken und Unternehmen pleitegegangen. Aber wenn es die Falschen erwischt, zerfällt es das ganze System.“ Die Zentralbanken versuchen gerade, mithilfe der Komplexitätsforscher herauszufinden, wo diese Knoten sind, also wann genau der berühmte Tropfen das Fass zum Überlaufen bringt. „Als wir vor zehn Jahren damit angefangen haben, Bankennetze aufzuzeichnen, haben uns alle ausgelacht – das wurde als Esoterik bezeichnet“, erinnert sich Thurner.

Auch bei seiner Arbeit an der MedUni Wien spielt Esoterik natürlich keine Rolle – es geht vielmehr um die Gesundheit von Menschen, um die Kosten des Systems, um den wirkungsvollen Einsatz der Mittel. So kann etwa aufgrund von anonymisierten Daten aus dem Gesundheitssystem analysiert werden, wann Kranke zum Arzt oder in die Apotheke gehen, welche Medikamente verschrieben werden und welche weiteren Krankheiten sie bekommen. „Es ist Wahnsinn, was wir da alles herausbekommen“, sagt Thurner. Etwa welche Medikamente welche Nebenwirkungen haben. Oder ob Krankheiten genetisch bedingt sind oder durch Umwelteinflüsse ausgelöst werden – die riesige Menge an Daten erlaubt inzwischen eine eindeutige Zuordnung.

Das Auswerten, Vergleichen und in weiterer Folge das Umbauen der Gesundheitssysteme gleicht dem Umgang mit menschlichen Krankheiten selbst. „Medizin ist ja nichts anderes als das Reparieren von Netzwerken“, erläutert Thurner. Krankheiten seien fast immer Zusammenbrüche von Systemen – und die meisten haben ihre Ursache auf molekularer Ebene, wo die chemischen Reaktionen zwischen Molekülen die Netzwerke bilden.

„Medizin ist ja nichts anderes als das Reparieren von Netzwerken.  
Krankheiten sind fast immer  
Zusammenbrüche von Systemen auf molekularer Ebene.“

Zwei Gründe sind es vor allem, warum die Komplexitätsforschung noch relativ jung ist: Sie ist erstens auf große Datenmengen („Big Data“) angewiesen, und sie braucht zweitens schnelle und leistungsfähige Computer für die Berechnungen. Beides gab es bis vor kurzem noch nicht.

„Dank Big Data kenne ich zu jedem Augenblick die Zustände der einzelnen Knoten und der Netzwerke“, erklärt Thurner. In der Folge müssen IT-Programme sowie mathematische Formeln entwickelt werden, die dieses Wissen zu sinnvollen Schlussfolgerungen verarbeiten können. Die Mathematik ist überhaupt das wichtigste Werkzeug des Komplexitätsforschers – konkret werden einzelne Teile dieser Disziplin, unter anderem Differentialgleichungen oder die Graphentheorie, genommen und zu einem neuen Zweig verknüpft.

Die Dimensionen der Übung sind jedenfalls gewaltig: Wollte man etwa die gesamten Gesundheitsdaten der österreichischen Bevölkerung abspeichern, bräuchte es gerade mal eine externe Festplatte. Wenn es jedoch um die Verknüpfung dieser Daten geht, wird es sehr rasch sehr unübersichtlich. Dann nämlich sind Terabytes und Petabytes nichts Ungewöhnliches mehr. Die Anrufe von zehn Millionen Menschen zu erfassen ist eine Sache. Daraus die Möglichkeiten zu berechnen, wer wen wann anrufen könnte, jedoch eine ganz andere – da würde auch der größte derzeit verfügbare Rechner kapitulieren. „Ich muss meine Algorithmen und Auswertungsmethoden so smart machen, dass ich nicht alles probieren muss. Diese Methoden sind heute das Problem“, sagt Thurner.

Ende Mai wurde in Wien ein eigenes Forschungszentrum für komplexe Systeme eröffnet; Stefan Thurner selbst ist Präsident dieses *Complexity Science Hub* (CSH). Im Moment besteht das Zentrum bloß aus einem einzelnen Raum, doch schon

bald soll Wien zum internationalen Knotenpunkt der Komplexitätsforschung werden. Insgesamt fünf Unis und Forschungseinrichtungen wollen hier an einem Strang ziehen: die Wirtschaftsuniversität Wien, die Technischen Universitäten von Wien und Graz, das Internationale Institut für angewandte Systemanalyse (IIASA) sowie das Austrian Institute of Technology (AIT).

Als eines der ersten Projekte soll das österreichische Wirtschaftssystem abgebildet werden, um die Folgen demografischer Entwicklungen auf Wirtschaftspolitik, Steuergesetze oder Gesundheitspolitik vorhersagen zu können. Scheitern könnte das Projekt weniger am Willen oder am Geld, fürchtet Thurner, sondern an den „kleinkarierten Strukturen in Österreich“.

Gemessen daran scheinen andere Herausforderungen leicht – etwa die Bekämpfung von Pandemien: Wenn man berechnen könnte, welche Flughäfen man rasch schließen muss, um eine Ausbreitung von Seuchen zu verhindern, würde das Millionen Menschen das Leben retten.

Noch ist so was Zukunftsmusik. Aber für den begeisterten Klarinettenisten Thurner ist klar: Es ist bloß eine Frage der Zeit, bis wir auch das schaffen.

*Text: Robert Prazak*



#### Die Ordnung der Dinge

Auf den ersten Blick sehen die Netzwerke, die unser Leben bestimmen, genauso chaotisch aus wie die Namensschildersammlung von Stefan Thurner. Doch am Ende ergibt alles Sinn.

#### Im nächsten Heft: Teil fünf unserer sechsteiligen Serie „Projekt Zukunft“: Mobilität von morgen.

Raúl Rojas, Wissenschaftler mit Spezialgebiet künstliche Intelligenz, arbeitet an der FU Berlin an der praktischen Umsetzung des autonomen Autofahrens. Wir schauen ihm dabei ein wenig über die Schulter.