



Peter Plath (MLS), Ernst-Christoph Haß (MLS) und Elisabeth Swart

Kooperatives Verhalten von Individuen bei destruktivem Wachstum in einer globalen Welt

Iwan Frolov conference on November 26th, 2019 — „Der Mensch in einer globalisierten Welt: Risiken und Perspektiven“

Veröffentlicht: 17. Februar 2020

Einführung

Fragen wir zuerst einmal, was wir unter einer „globalen Welt“ zu verstehen haben, denn dieser Begriff ist keineswegs streng definiert.

„Aurelius Augustinus (*354; †430) schreibt in seiner *Genesis*-Interpretation von der *globosa moles*, also der ‚kugelförmigen Masse‘ als es darum ging, die Erde nach der Schöpfung Gottes zu beschreiben. ... Der uns so geläufige Begriff des Globus ist eine aus dem Alltag stammende Metapher: Die *globi* sind spätestens seit dem ersten Jahrhundert in der römischen Antike als in Wasser gekochte Mehlkugeln eine wichtige Speise, die Vorläufer der heutigen Pasta.“¹

Über die Spätantike und das gesamte Mittelalter hinweg war die Vorstellung von der Kugelgestalt der Erde ob als *globus terrae*, wie bei Johannes Scotus Erigenen (*810; †877), als „ymbhwyrt pises mid-dangedardes“ (Kugel dieser Mittelerde) des angelsächsischen Königs Alfred (*849; †899) oder als *arenosus globus* bei Hildegard von Bingen (*1098; †1171) auch im europäischen Raum präsent.²

Die „globale Welt“ bedeutet, die Kugelgestalt der Erde vorausgesetzt, in diesem Sinn also den Bereich, der für den Menschen zugänglich ist, der also auf der Basis ihrer Kommunikationsmittel und Strukturen erfasst wird. In diesem Sinn ist der Begriff der „globalen Welt“ allumfassend, da er die Menge aller miteinander kommunizierenden Menschen umfasst. Unter Kommunikation wollen wir hier sehr allgemein jede Art des Austausches von Information, Informationsträgern und Wissen in der Welt verstehen. Heute verstehen wir unter der globalen Welt den ganzen Erdball, und der Warenaustausch ist dabei die vorherrschende, weil bestimmende, die entscheidende Form der Kommunikation.

Aber das war nicht immer so. Zum Beispiel umfasste das Römische Reich mehr oder weniger nur die Völker des Mittelmeerraumes und Vorderen Orients. Der habsburgisch spanische König Karl I. wurde unter starker Beteiligung der international bzw. global agierenden deutschen Kaufleute und Bankiers, der Welser und Fugger, von den davon profitierenden Kurfürsten als zum Kaiser Karl V. des „Heiligen römischen Reiches deutscher Nation“ (962 bis 1806) gewählt. Sein Reich (*Imperio español*), „in dem die Sonne niemals unterging“, erstreckte sich darüber hinaus auf Spanien, weite Gebiete Italiens (Neapel, Sizilien, Sardinien), die Niederlande und Österreich, [Amerika](#), [Afrika](#), [Asien](#) und [Ozeanien](#), mit einem territorialen Schwerpunkt in Amerika. Aber das war dennoch nur ein kleiner Bereich der damals bevölkerten Welt.

Da der Austausch von Informationen und jederart Waren bzw. allgemeiner die Kommunikation die entscheidende Qualität ist, die die Globalität bestimmt, können wir ein globales System gewissermaßen als ein geschlossenes System im physikalischen Sinn begreifen. (Es ist jedoch kein abgeschlossenes System, da es hinsichtlich des Energieaustausches mit der Sonne bzw. dem Weltall offen ist.) W. Ebeling, A. Engel und R. Feistel beschreiben die Konsequenz dieser Nicht-Abgeschlossenheit durch den Entropie-Export der Erde in ihrem Modell der Photonenmühle³:

„Der Planet Erde ist eine Art „Photonenmühle“, die in einem Gefälle zwischen heißen Photonen der Sonnenstrahlung und kühlen Photonen der Abstrahlung arbeitet. Die Zahl $1 \text{ W/m}^2\text{K}$ charakterisiert die thermodynamische Stärke der Triebkraft dieser Mühle, die die Prozesse der Selbstorganisation und Evolution auf der Erde antreibt.“



Abb. 1 Kaiser [Karl V.](#) herrschte über ein globales Imperium, in dem „die Sonne niemals unterging“; Gemälde von Peter Paul [Rubens](#)^{4,5}.

Der Austauschprozess zwischen den Individuen des globalen Systems der Menschen entspricht einer Struktur, die sich je nach den Input- und Output-Bedingungen verändern wird. Im Besonderen handelt es sich um ein autopoietisches System (N. Luhmann)⁶ (Maturana)⁷.

Beispiel: Der Schleimpilz – ein biologisches System, das wachsen kann

Um die Möglichkeiten eines solchen Systems zu erkennen, betrachten wir einführend das biologische System des Schleimpilzes (*Dictyostelium discoideum*): In einer Petrischale befinden sich auf einer Nahrung enthaltenden Agar-Agar Schicht viele einzelne Schleimpilz-Zellen. Ist in Reichweite einer jeden Zelle genügend Nahrung vorhanden, so agiert jede Zelle als eigenes Individuum, das „erratisch taumelnd“ in seiner unmittelbaren Umgebung grast. Wird die Nahrung an diesem Fleck knapper, dann führt ein jedes Individuum für sich selbst eine koordinierte Bewegung aus; es rudert mit seinen Füßchen (Pseudopodien) und kommt so auf geradem Wege ein ganzes Stück weiter^{8,9}.

Trifft es dabei auf einen größeren Nahrungsvorrat, dann fängt es wieder an, torkelnd, eine unkoordinierte Bewegung ausführend, in dieser Gegend zu „grasen“. Die Richtung, in die es sich dabei – insbesondere bei koordinierter Bewegung – bewegt, wird durch den lokalen Konzentrationsgradienten der Nahrung am jeweiligen Ausgangsort bestimmt.¹⁰

Das resultierende Bewegungsmuster entspricht einem Petri-Netz.¹¹ Es garantiert eine wesentlich effektivere Nahrungsbeschaffung als in dem Fall, dass die einzelne Zelle sich nur diffusiv, also erratisch fortbewegen würde. Diese Struktur der Bewegung ist die effektivste Strategie der Nahrungsbeschaffung der individuell agierenden Zellen. Sie vermeiden eine Begegnung mit anderen Zellen dadurch, dass sie ihre Bewegung nach der lokalen Nahrungsmittelkonzentration bzw. dessen lokalem Gradienten richten.

Erreicht die Nahrungsmittelkonzentration Ort für Ort jedoch den Schwellwert, der Hunger in den einzelnen Individuen erzeugt, dann ändern sie ihre Strategie grundlegend. Statt einander zu vermeiden, finden sie zusammen und bilden ein fraktales Netzwerk von Bächen, Flüssen und Strömen, in dem sie sich eng aneinander geschmiegt zu einem dabei entstehenden Zellhaufen hinbewegen.

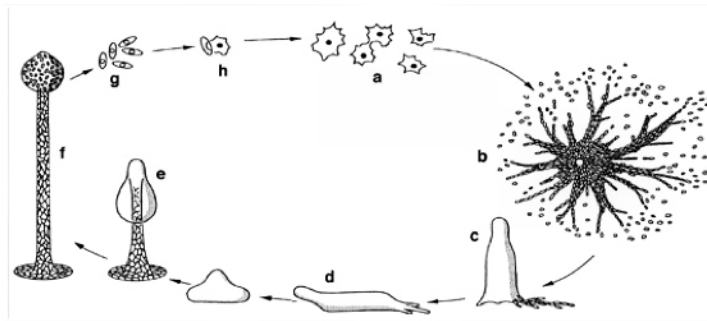


Abb. 2 Sozialer Lebenszyklus des Schleimpilzes (*Dictyostelium discoideum*)¹²

Zitat: „Sobald die Nahrung knapp wird, kriechen die Amöben (a = Vermehrungsphase der frei lebenden Amöben) zusammen (Aggregation, b). Das Aggregat (Pseudoplasmodium) mit bis zu 10^5 Zellen bildet einen etwa 1 mm großen, senkrecht vom Substrat abstehenden Conus (c), der Polarität aufweist und – sobald er umkippt – auf dem Substrat herumkriecht (Migrationsphase, d)... Schließlich bildet der Zellverband einen Sporenträger (Sporangiophor) mit Basalscheibe, Stiel und endständiger Sporenmasse (Kulmination, e–f). ... die Sporenzellen fallen auseinander (g) und können vom Wind verdriftet werden. Aus ihnen keimen, wenn sie geeignetes Substrat erreichen, wieder typische Amöben (h).“

Hat sich an einer Stelle eine genügend große Zahl von Zellen angesammelt, so stößt dieser Zellhaufen Ca^{2+} -Ionen aus, die schließlich in Form einer sich drehenden Spiralwelle durch das ganze System wandern. Die Richtung, in der die Zellflüsse fließen, wird durch den räumlich-zeitlichen Verlauf der Ca^{2+} -Ionenkonzentration in der Spiralwelle bestimmt – sie fließen zum Zentrum der Spiralwelle!

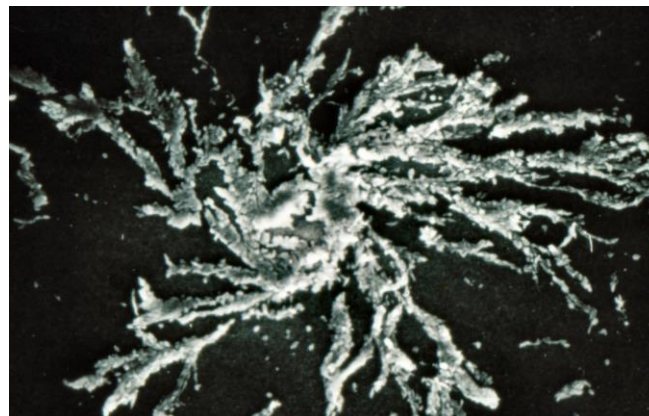


Abb. 3 Bildung eines fraktalen Zellhaufens von *Dictyostelium discoideum* während der Aggregationsphase. Die einzelnen Zellen bewegen sich eng aneinander geschmiegt zum Zentrum des Haufens hin. (Photo: P. Plath, M. Vicker)

In diesem Zellhaufen setzt sich die bereits einsetzende Differenzierung der einzelnen Zellen durch räumliche Separation der einzelnen Zellen bezüglich ihrer Funktion im Zellhaufen fort, der dadurch zu einem Körper wird, gewissermaßen mit unterschiedlichen „Organen“: es bildet sich eine Pilzform aus, mit einem „Fuß“, einem „Stamm“ und einer „Sporenkapsel“. Während dieser „Pilz“ wächst, dreht sich die Ca^{2+} Spirale auch in seinem Körper!

Beim Wachstum einer Population gibt es also qualitative Änderungen im Verhalten des Systems, lange bevor das wachsende System seine Grenzen erkennt bzw. diese für das Verhalten des Systems relevant werden.

Das Individuum, das sich selbst genügt, jede Kooperation vermeidet auch wenn es eine „Gesellschaft“ bildet, hat zur Voraussetzung, dass es als Individuum ausreichenden Zugang zu den Ressourcen hat, die es zu seinem momentanen „Leben“ benötigt.

Auch das Wachstum des Systems bzw. das Wachstum der Population setzt voraus, dass für die Gesamtpopulation keine Grenzen des Zugriffs auf die Ressourcen spürbar sind. Nun muss die Population aber als Ganzes, als neue Entität verstanden werden, völlig unabhängig von den verschiedenen

Strukturen, die sich bei unbeschränktem Zugang der Population zu den Ressourcen herausgebildet haben.



Abb. 4 Syrische Flüchtlinge auf der Flucht vor dem IS. Eng aneinander geschmiegt bewegen sich die Flüchtlinge auf ihr weit entferntes Ziel hin. In der Regel stranden sie in großen Flüchtlingslagern, wo sie meist zu Tausenden festsitzen. Dies gilt für die Flüchtlinge in Syrien, die durch Syrien und teils durch Europa in solchen kilometerlangen Zügen laufen ebenso wie für die Flüchtlinge aus den Staaten Mittelamerikas, die durch Mexiko an die US-amerikanische Grenze ziehen. (Photo: ©Orhan Cicek/Anadolu Agency; www.Stern .de vom 19.Sept. 2014 um 15:44 Uhr)¹³

Dies gilt auch, wenn für die Gesamtheit die Beschränkung der Ressourcen spürbar wird. Meadow beschreibt in seinem Buch „Die Grenzen des Wachstums“¹⁴ sowie in dem Buch „Das globale Gleichgewicht“¹⁵ bzw. in der Neuauflage „Die neuen Grenzen des Wachstums“¹⁶, wie sich die Ressourcen beim Wachstum der Menschheit verändern und sich somit auch die Grenzen des Wachstums verschieben.

Lange Zeit über war es für Teilpopulationen möglich, durch Auswanderung und Kriege die Grenzen „nach oben“ zu verschieben, später geschah dies vor allem durch die Industrialisierung, die es ermöglichte, die Zugänglichkeit zu den Ressourcen zu erweitern und so die Grenzen des Wachstums „nach oben“ zu korrigieren. Beide Möglichkeiten waren und sind auch heute noch mit Kriegen verbunden und bestimmen wesentlich das Geschehen der betreffenden Völker (Teilpopulationen). Dennoch wächst die Menschheit unabhängig davon an. Die Besiedelung Amerikas war auf das engste verbunden mit der fast vollständigen Vernichtung der dort bereits lebenden Menschen, aber insgesamt nimmt auch dort – wie auch in der übrigen Welt – die menschliche Population so gewaltig zu, dass die Vernichtung ganzer Völkerschaften nur noch eine völlig unbedeutende Randerscheinung des Wachstumsprozesses der gesamten Menschheit war. Ähnliches gilt für den dreißigjährigen Krieg (1618 – 1648), bei dem z.B. in Süddeutschland 2/3 der Gesamtbevölkerung vernichtet wurde.¹⁷

Dies gilt auch für das 20. und 21. Jahrhundert. Die gewaltigen Opfer vieler Völker in den beiden Weltkriegen spielen für das Wachstum der Weltbevölkerung nur eine untergeordnete Rolle. Auch die großen Hungersnöte und Kindersterblichkeit sowie die Ausrottung der indigenen Völker sind unmaßgeblich im Hinblick auf die Entwicklung der Weltbevölkerung.¹⁸

Durch die Entwicklung der Industrie und den immer effektiveren Einsatz der Technik sowie die gewaltige Entwicklung der Finanzwirtschaft sowie die sich immer mehr vergrößernde Ausbeutung gewaltiger Massen von Menschen, Tieren und Pflanzen in der Land- und Forstwirtschaft werden die Grenzen des Wachstums der menschlichen Population immer weiter „nach oben“ verschoben, da immer mehr Ressourcen erschlossen werden können, obwohl die Zugänglichkeit zu ihnen immer schwieriger wird. Aber, und das ist ganz wesentlich, dies ist inhärent verbunden mit einer immer größer werdenden Zerstörung der „Umwelt“ und damit letztlich einer Vernichtung der „natürlichen Ressourcen“.

Halten wir fest:

- a) Das Leben der Menschheit, d.h. insbesondere ihr Wachstum, ist auf Engste verbunden mit der Zerstörung der Voraussetzungen eben dieses Wachstums.
- b) Aber mit der Erschließung immer neuer Ressourcen gelingt es der Menschheit über einen gewissen Zeitraum hinweg, die Grenzen ihres Wachstums immer weiter „nach oben“, das heißt zu weiterem Wachstum zu verschieben.

Das von Werner Ebeling sowie Manfred Peschel und Werner Mende¹⁹ entwickelte Modell des *Evolons* beschreibt im Zeitbereich einen *s-förmigen*, stetigen monotonen Übergang zwischen zwei Stufen eines Wachstumsvorganges, dessen obere Grenze durch die Ressourcen bestimmt ist.

„Unter einem Evolon wollen wir jeden Prozess oder Mechanismus verstehen, der sich im Wachstumsindikator als s-förmige monotone Übergangsstufe ausdrückt im Fall der monotonen Zunahme; im Fall einer monotonen Abnahme sprechen wir von einem Antievolon.“

1.6. Stetige Zustandsübergänge und kooperative Effekte, das EVOLON und die Evolutionstreppe

Einfache kontinuierliche Wachstumsvorgänge erscheinen in der Regel als s-förmige stetige und monotone Zustandsübergänge.

Bild 13 zeigt einen solchen Übergangsvorgang $x = F(t)$.

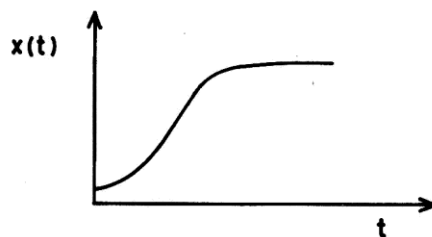


Bild 13. Übergangsvorgang eines Wachstumsindikators

Abb. 5 Kopie der graphischen Darstellung eines Evolons nach M. Peschel und W. Mende aus ihrem Buch „Leben wir in einer Volterra-Welt?“ Akademie-Verlag (1983) S. 42.

Dieser interessante Ansatz berücksichtigt aber nicht, dass alle lebenden Systeme ihre lokalen Ressourcen eben nicht nur brauchen, sondern auch aufbrauchen und damit ihre „Umwelt“ gewissermaßen durch ihr Wachstum zerstören. Wir schlagen deshalb vor, den Begriff des Evolons dahingehend zu erweitern, dass eine von der Populationsgröße abhängige Zerstörung bzw. Erosion der „Umwelt“ mitberücksichtigt wird (vgl. Abb. 6).

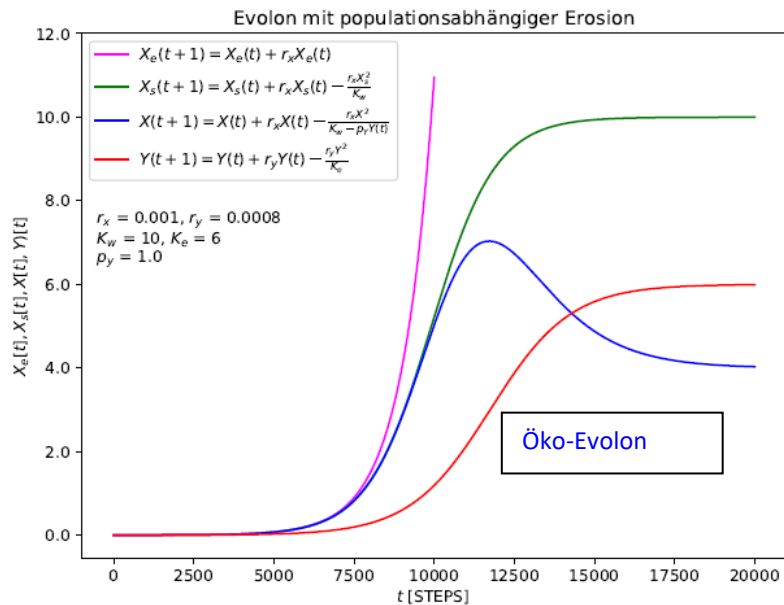


Abb. 6 Das erweiterte Evolon bzw. das Öko-Evolon

- violett:** klassische, exponentielle Wachstumsfunktion,
 - grün:** das Evolon von M. Peschel und W. Ebeling – das ist vergleichbar mit den Ergebnissen des Club of Rome etc. –,
 - rot:** die populationsabhängige Zerstörung/Erosion unserer Umwelt, die uns die Grenzen unseres Wachstums vorgibt – Ansatz von P. Plath und E.-C. Haß –,
 - blau:** das erweiterte Evolon von P. Plath und E.-C. Haß – eine realitätsnahe Beschreibung der Populationsentwicklung der Menschheit.
- Die Abszisse ist die Zeit, die Ordinate ist die Population:

$$X(t + 1) = X(t) + r_x X(t) - \frac{r_x X^2(t)}{K_w - p_y Y(t)}$$

$$Y(t + 1) = Y(t) + r_y Y(t) - \frac{r_y Y^2(t)}{K_e}$$

Wir nennen diese Funktion, um den Unterschied deutlich zu machen, das *Öko-Evolon*. Sie wird hier durch zwei gekoppelte iterierte Funktionen beschrieben. Das *Öko-Evolon* hat eine frappierende Ähnlichkeit mit der von D. Lurié und J. Wagensberg in einem Mikrodurchflusskalorimeter gemessenen zeitlichen Wärmeproduktion eines befruchteten Amphibien-Eis^{20,21}.

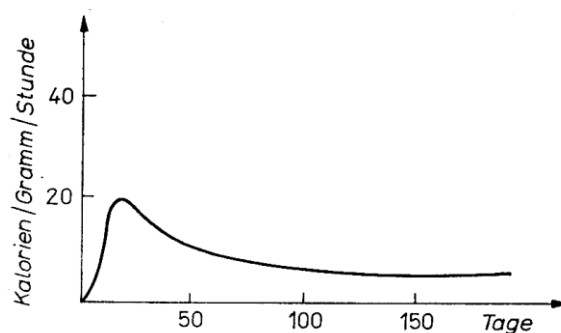


Abb. 7 Typischer Verlauf der Wärmeproduktion eines befruchteten Amphibien-Eis nach den Ergebnissen von Daid Lurié und Jorge Wagensberg (1979). Bild entnommen dem Buch von W. Ebeling, A. Engel und R. Feistel²².

Die Entwicklung der befruchteten Keimzelle in einem Ei beruht auf der Vermehrung und Differenzierung der Eizelle in der Keimscheibe auf Kosten von Weißei (Ei-weiß) und Dotter (Ei-gelb), wobei

das Ei durch den Gasaustausch von Sauerstoffimport und CO₂ Export sowie den Wärmeaustausch durch die Eischale hindurch mit der „Außenwelt“ verbunden ist. In diesem Sinn ist das Ei thermodynamisch ein offenes System.²³ Hinsichtlich der Stoffe, die zum Zellaufbau und dem Differenzierungsprozess benötigt werden, ist aber die Stoffmenge Dotter plus Weißer begrenzt und wird im Verlauf der Entwicklung auch aufgebraucht.

„Die Betrachtung von ... zeigt, dass die Entropieänderung des Embryos aus der Überlagerung eines positiven Terms (Wachstum) und eines negativen Terms (Differenzierung) besteht. Aus diesem Grunde darf man nicht ein monotones Verhalten der Entropieänderung erwarten (Lurié und Wagensberg, 1979).“²⁴

Ebeling zeigt weiterhin, dass die Entropieänderung im Ei im Wesentlichen auf die Wärmeproduktion in der Keimscheibe, also die Prozesse der Differenzierung und Zellvermehrung zurückgeführt werden kann. Es findet also eine beachtliche Strukturbildung statt und dennoch kann sich die Keimscheibe nur zum Embryo entwickeln, *weil sie wächst*. Dadurch wird es erst möglich, die unvorstellbar komplexen Strukturen zu entwickeln, die der Embryo zu seiner Entwicklung benötigt. Aber noch im Ei setzt der Prozess ein, bei dem nicht mehr das „unbegrenzte Wachstum“ der ausschlaggebende Entwicklungsfaktor ist, sondern bei Abnahme der „internen Ressourcen“ die strukturbildenden Differenzierungsprozesse. Dabei kann es durchaus noch Wachstum geben, aber die Wärmeproduktion und damit die Entropieproduktion wird doch immer weiter verringert werden. Es verbleiben schließlich nur zwei Möglichkeiten für die Beendigung dieses Prozesses: das „Küken“ stirbt in der Eischale oder es schlüpft.

Betrachtet man das Wachstum der Weltbevölkerung, dann sind einige Parallelen hierzu doch sehr auffällig. Auch hier haben wir es mit einem wachsenden System – der Menschheit – zu tun, dessen Entwicklung durch ständige Differenzierungsprozesse, also sich selbstorganisierende Prozesse gekennzeichnet ist. Auch dieses System verbraucht seine „inneren Ressourcen“! Hier überwiegt die Entropieproduktion auf Grund des Wachstums, obwohl die durch die soziale und individuelle Differenzierung (Selbstorganisation) bedingte Entropieverminderung auch hier durchaus stattfindet! Was die Wärmeproduktion der Menschheit betrifft, so ist es vor allem die Industrieproduktion, die dafür heute verantwortlich ist, was über den Ausstoß von Staub und „Treibhausgasen“ zu einer Erwärmung der Erdatmosphäre führt. Wir können aber nicht die notwendige Entropieverminderung weiterhin beliebig durch die Aussonderung von Müll aller Art (Wegwerfgesellschaften) erreichen, wenn wir daran nicht selbst ersticken wollen. Wir haben nur zwei Möglichkeiten: wir sterben als nicht vollständig entwickeltes System in unserer Eierschale, oder wir schlüpfen als Küken. Vor Jahrtausenden, ja selbst vor Jahrhunderten noch haben wir dieses Problem immer durch Auswanderungen gelöst und so die Grenzen des Wachstums – hier durch den Parameter K_W wiedergegeben – nach oben verschoben. Irgendwann aber werden wir einen Zustand erreichen, bei dem die Ressourcen so unzugänglich werden, dass der notwendige Aufwand, diese gemäß der Größe der menschlichen Population zu gewinnen, größer wird als ihr Nutzen. Eine recht illustrative Darstellung dieses Sachverhaltes stellt die Bestimmung des „Welterschöpfungstages“ (Earth Overshoot Day) dar.²⁵

Die oben erwähnte *lokale Offenheit* ökonomischer Teilsysteme, die insbesondere die Funktion nationaler Systeme aber auch Zusammenschlüsse solcher Systeme gewährleistet, hat aber noch eine Kehrseite. Das Bestehen der entsprechenden staatlichen bzw. allgemein, der gesellschaftlichen Strukturen dieser Teilsysteme ist völlig abhängig vom Waren- und Informationsfluss durch dieses System, also von der Kommunikation mit anderen Teilsystemen. Verändert man die Kommunikationsmöglichkeiten eines solchen Teilsystems, so werden sich seine gesellschaftlichen Strukturen, seine industrielle Produktivität, seine internen und auch staatlichen Strukturen ändern. All diese Strukturen, die eben dieses System ausmachen, werden in der Regel instabil werden. So kann z.B. durch eine erzwungene Öffnung der Märkte ökonomisch schwächerer Länder deren Wirtschaftsstruktur zum Kollabieren gebracht werden. Interessanter ist aber noch die teilweise Beschränkung des Warenflusses, was historisch eine lange Tradition hat. Man drosselt mit Androhung schärfster Strafen z.B. die Waren-Ein- und -Ausfuhr. Ob man dies nun als Kontinentalsperre bezeichnet oder es Boykott, Embargo oder Sanktion nennt, all diesen verschiedenen Formen liegt der Gedanke zugrunde, dass man die lokale Offenheit in eine partielle oder gar totale Geschlossenheit des jeweils betroffenen

Teilsystems verwandelt. Das ist der rationale Kerne all dieser, oft sehr skurrilen Entschlüsse, solche Maßnahmen anzuordnen und durchzuführen. Auf jeden Fall verursacht man bewusst eine Instabilität mit all den heute bekannten Folgen, wie Unruhen, Fluchtbewegungen, völliger Zusammenbruch der jeweiligen Staaten oder Staatenverbänden. Diese Teilsysteme müssen nämlich neue Strukturen auf Kosten der ehemaligen Strukturen ausbilden, die sie selbst vernichten müssen. Sie fressen sich gewissermaßen selbst auf. Und derjenige, der den Boykott durchgeführt hat, kann dann scheinheilig verkünden, dass das boykottierte System sich ja selbst umgebracht hätte, es sei eben marode gewesen oder korrupt oder ... – da gibt es viele schöne Begriffe dafür.

Betrachten wir aber nun einen einzelnen Menschen, der ja auch ein lokal offenes System als Teil einer sozialen Gruppe darstellt, dann gilt auch hier, was für ganze Volkswirtschaften gilt, wenn man ihn seiner Kommunikationsmöglichkeiten beraubt bzw. diese beträchtlich einschränkt: man organisiert sein „Leben“ so, dass aus dem lokal offenen letztlich ein geschlossenes System wird, mit allen daraus sich ergebenden Folgen. Man nennt das gewöhnlich eine Umerziehungsmaßnahme, eine Strafe, einen Strafvollzug oder gar eine Isolationshaft. In der Konsequenz solcher Maßnahmen kann der Mensch dabei auch völlig kollabieren und, was nicht selten passiert, Selbstmord begehen. Also er ist es, der sich selbst zerstört. Die Befolgung der Strafgesetzgebung hat, aus ihrer Sicht, damit eigentlich nichts zu tun.

1. Kleine Anmerkung: Es gibt ein sehr anschauliches Beispiel im Bereich der Insektenwelt: Eine Schmetterlingsraupe – ein durchaus lokal offenes System verpuppt sich und verwandelt sich als Larve in ein weitgehend geschlossenes System. Die Umwandlung der Larve in einen Schmetterling geht dann mit einer selbstorganisierten, völligen inneren Zerstörung der Larve und all ihrer Strukturen einher. Nur, bei der erzwungenen Einschränkung der lokalen Offenheit von gesellschaftlichen Systemen handelt es sich i.A. nicht um selbstorganisierte Prozesse, so dass dabei kein wunderbarer Schmetterling herauskommt, auch wenn man es stets laut verkündet.

2. Kleine Anmerkung: Regenwald und Sojabohnen.²⁶ (Die folgenden Zitate und die entsprechende Abbildung 8 ist dem angegebenen, sehr lesenswerten Artikel (26) entnommen.)

„Der Eiweißgehalt der Sojabohne beträgt 36 Prozent, mit ihr könnte die Eiweißversorgung des Menschen sichergestellt werden. 100 Gramm Sojabohnen, etwa ein kleines Glas, enthalten mit 36 Gramm knapp so viel Eiweiß wie ein 150-Gramm-Steak vom Rind (38 Gramm). ... Mit lediglich sechs Prozent dient ein kleiner Teil der weltweiten Sojaernte, hauptsächlich im asiatischen Raum, direkt dem menschlichen Verzehr in Form von Sojasprossen, Sojaöl, Tofu etc. (WWF, 2014). Der weitaus größere Teil wird als eiweißreiches Futtermittel an Rinder, Schweine und Geflügel in Massentierhaltungen verfüttert. Soja wird zunehmend in Aquakulturen für Zuchtlachs verwendet, und auch in Tierfutter für Haustiere ist es enthalten.“

Das klingt doch erst einmal nicht negativ, auch wenn es sicherlich nicht sinnvoll ist, auf diese Weise die Fleischproduktion im gewünschten Umfang zu gewährleisten. Nun ist die ganze Sojabohne aber für den Verzehr durch die Tiere nicht geeignet, so dass man ihr erst noch das in ihr enthaltene Fett bzw. Öl entziehen muss. Auf diese Weise erhält man eiweißreicheres Futter und „Biodiesel“.

„Allein in Deutschland gibt es, Stand Mai 2019, etwa 11,8 Millionen Rinder, 25,9 Millionen Schweine, 1,6 Millionen Schafe und 41,4 Millionen Legehennen (Bundesamt für Statistik, 2019). Zusammen genommen sind sie schwerer als alle 82 Millionen Einwohner Deutschlands. ... Und irgendwie müssen diese Nutztiere ernährt werden. Unsere heimischen Anbauflächen für Futtermittel sind dafür zu klein. Wo also kommen die Futtermittel her? Die Futtermittel müssen importiert werden und zwar hauptsächlich in Form von Soja. Deswegen ist Soja heute als Futtermittel in den Massentierhaltungen Europas, Nordamerikas und Chinas unverzichtbar geworden. ... Die anspruchslosen Sojabohnen werden auf riesigen Flächen in Südamerika angebaut, die ehemals von einzigartigen tropischen Regenwäldern und Savannen (*Cerrados*) bedeckt waren. ... Unsere Nutztiere fressen buchstäblich den Regenwald. Der ehemalige Bundesumweltminister Sigmar Gabriel hat es im Mai 2008 auf den Punkt gebracht: "Die Profiteure der Regenwaldabholzung sind weit mehr die deutschen Bauern als die brasilianischen Landwirte".“

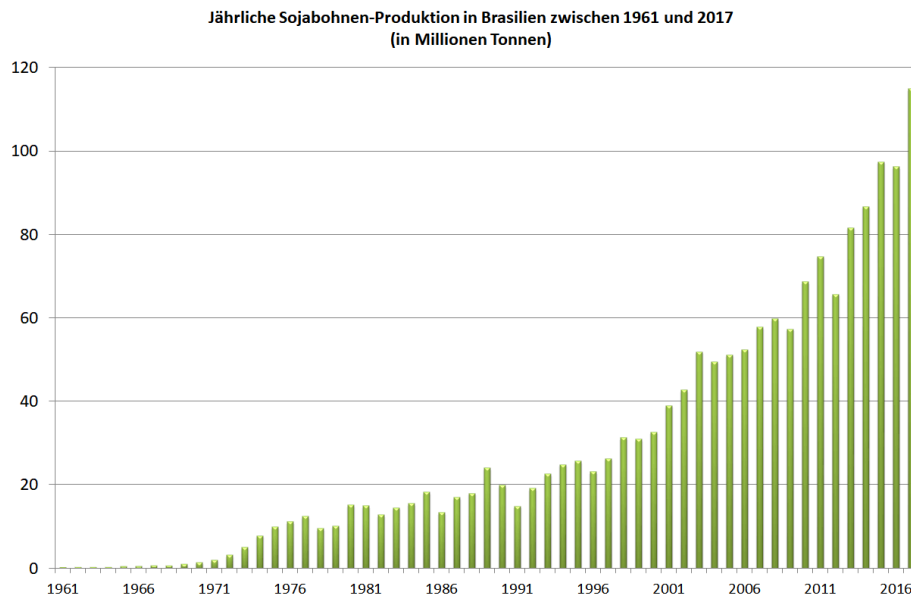


Abb. 8 Jährliche Sojabohnen-Produktion in Brasilien zwischen 1961 und 2017:
Die Grafik zeigt die jährliche Sojabohnen-Produktion (in Millionen Tonnen) in Brasilien von 1961 bis 2017. Die Auswertung erfolgte am 28.11.2019 mit Hilfe von FAOSTAT. (vgl. Lit. (26))

Um es abzukürzen: Die Entwicklung der Weltbevölkerung und des Lebensstandards (Fleischkonsum) großer Teile der Menschheit führt zu einer Entwicklung der weltweiten Sojabohnenproduktion, die u.a. die Vernichtung des Regenwaldes in Brasilien verursacht. Wir zerstören unsere Umwelt nicht nur dadurch, dass wir mehr Kohlendioxid erzeugen, sondern dass wir auch mit unserer Nahrungsmittelproduktion die Bedingungen unserer eigenen Existenz vernichten.

Globalisierung

Im seinem Buch „Finanz Tsunami“²⁷ beschreibt Ernst Wolf die Situation nach dem Scheitern von Bretton Woods²⁸ und dem Ende des Nachkriegsbooms, der mit einem gewaltigen Wirtschaftseinbruch endete, als die Erfindung der „Globalisierung“:

„In den Jahren 1974–1975 kam es zur schwersten globalen Rezession seit der *Großen Depression* der dreißiger Jahre. Die Gewinne der multinationalen Konzerne schrumpften so stark wie seit dem Ende des 2. Weltkrieges nicht. Um im internationalen Konkurrenzkampf bestehen zu können, mussten sie ihre bis dahin erfolgreiche Strategie ändern, immer neue Märkte mit immer neuen Produkten zu erobern. Aber wie? Angesichts der weitgehenden Sättigung der globalen Märkte und einer zu befürchtenden längeren Stagnation der Weltwirtschaft blieben ihnen nur drei Möglichkeiten:

- Die Produktionskosten zu senken,
- die Produktivität zu steigern
- oder sich auf die Suche nach neuen Profitquellen zu begeben. ...

Das Ergebnis nannte sich „**Globalisierung**“ und zeichnete sich durch zwei herausragende Merkmale aus: Zum einen durch die **Internationalisierung des Produktionsprozesses** ...

Zum anderen bedeutete die Globalisierung die **massenhafte Auslagerung von Arbeitsplätzen** aus den Industrienationen nach Asien, Afrika oder Südamerika. ...

Außer der Erhöhung der Produktivität und der Senkung der Lohnkosten entdeckte das Heer der Großinvestoren aber noch eine andere Profitquelle, die es bis dahin kaum angezapft hatte – den Finanzsektor. Er bestand damals hauptsächlich aus Börsen und außerbörslichem Wertpapierhandel, war erheblich kleiner als die Realwirtschaft und dazu noch international stark reguliert.“

Zu diesem Zweck hob man die seit 1929 (New Yorker Börsencrash) bestehende Regulierungen des Bankensektors (Keynesianismus) weitgehend auf.²⁹

„Dieser Philosophie setzten die an der Finanzspekulation interessierten Kräfte nun ihr eigenes Glaubensbekenntnis entgegen – **den Neoliberalismus**. Er geht auf die „Österreichische Schule“ und den Ökonomen Friedrich von Hayek zurück und wurde in seiner heutigen Form in den sechziger Jahren von Milton Friedman und seinen Anhängern an der Chicago School of Economics entwickelt. 1973 geriet er zum ersten Mal in die Schlagzeilen, als der chilenische Diktator Pinochet nach seinem Militärputsch die »Chicago Boys«, ein Team von Friedmans Ökonomen, in sein Land holte und sie beauftragte, die chilenische Wirtschaft umzubauen. Die Folgen für Chiles arbeitende Bevölkerung waren fatal: Die Löhne fielen, die Arbeitslosigkeit stieg, Sozialleistungen wurden gekürzt und der Lebensstandard sank.“

Gehen wir noch einmal auf die anfänglichen Ausführungen zur Bedeutung der Globalisierung zurück, wonach wir unter Globalisierung vor allem Kommunikation aller Beteiligten verstanden. Kommunikation aber ist ein Austauschprozess, nicht nur von Worten und Ideen, sondern vorrangig Austausch von Gütern, Waren durch Handel und dadurch vermittelt von Wissen und Ideen. Handel erfordert aber ein allgemein anerkanntes Äquivalent, das einen bestimmten Wert repräsentiert wie zum Beispiel Gold, Geld oder neuerdings auch noch abstraktere Strukturen des gegenseitigen Vertrauens wie Bitcoins oder die von Facebook geplante digitale Kryptowährung Libra.

Der Wert einer Tätigkeit bzw. des durch sie erzeugten Produktes entsteht einzig durch den Austauschprozess und haftet nicht einer Tätigkeit oder einem Produkt an. Ohne den Austauschprozess gibt es keinen Wert! Rainer Feistel hat vor ca. 30 Jahren in seinem Beitrag „The Value Concept in Economy“ auf die strukturelle Ähnlichkeit der Wertebegriffe in der Physik und Ökonomie hingewiesen und deren Bedeutung hervorgehoben:³⁰

„Marx' Value law states that «goods are exchanged by their values», i.e. it claims that for any commodity A there exist a real number $v(A)$, called its exchange value, such that the value expressed in units of money is just the (average) market price.

Exchange processes like buying and selling can be observed in the real society everywhere. They are one class of fundamental, elementary processes that coin economy. On the other hand «values» can neither be observed nor measured. Therefore it is necessary to discuss the relation between «exchange» and «value» first.

The situation in thermodynamics is rather similar. As we know from the good old steam engine example, heat and work are exchange quantities, which can be measured. Their existence does not all imply the existence of state quantities «heat» or «work», as well proved. ... Going back to social systems, it is clear that even the question of the existence of a value is not a trivial one.“

Gilt diese Idee vom „Wert“ auch für die reinen Informationsaustausch-Prozesse, bei denen keine Waren im herkömmlichen Sinn beteiligt sind? Wir sind der Überzeugung, dass auch diesen Prozessen ein „Wert“ entspricht. Ein fast schon klassisches Beispiel dafür sind die Lizenzgebühren für erworbene Patente, was einem Wert für den dabei vonstattengehenden Informationsaustausch entspricht. Ähnlich ist es auch mit dem käuflichen Erwerb von Information in Form von Büchern, insbesondere Fachbüchern oder wissenschaftlich-technischen Journalen. Aber gilt dies auch für die normale zwischenmenschliche Kommunikation? Heute kommunizieren viele Menschen mit Hilfe von Facebook etc. bzw. über das Internet. Die Staaten betreiben riesige Abhörzentren und große Handelsgesellschaften wie z.B. Amazon bzw. sie verkaufen unsere Daten gewinnbringend. Die damit verbundenen gewaltigen Rechnerstrukturen und deren Leistung müssen bezahlt werden, woran man unschwer erkennen kann, dass auch die scheinbar belangloseste Kommunikation zwischen den einzelnen Menschen und die Information, die in ihren Bestellvorgängen über sie selbst enthalten ist, einem Wert entspricht.

Das Individuum

Das Thema der Tagung „Der Mensch in einer globalen Welt: Risiken und Perspektiven“ impliziert, dass der einzelne Mensch für seine eigene Entwicklung durch die „Globalisierung“ mit möglicherweise besseren oder schlechteren Bedingungen konfrontiert werden könnte.

Das Individuum „der Mensch“ ist aber vor allem durch den Austausch, die Kommunikation mit anderen Individuen – insbesondere anderen Menschen – bestimmt. Diese zwischenmenschliche Kommunikation ist in erster Linie die direkte Kommunikation „benachbarter“ Menschen. Ändern sich die Bedingungen für diese Nachbarschaftsverhältnisse, dann kann die Art der bislang geübten und bewährten Kommunikation instabil werden. Durch einen Selbstorganisationsprozess kann sich ein neuer Zustand entwickeln. Darauf setzt Ernst Wolff in seinem Buch *Finanz Tsunami*, wenn er auf seine Frage „Sind wir machtlos?“ in seinem Schlusssatz sich die Antwort gibt³¹:

„Die unerbittliche Verschärfung der Krise und die daraus folgende kontinuierliche Verschlechterung der Lebensverhältnisse machen die Menschen für Neues empfänglich wie nie und die rasante Entwicklung der Informationstechnologie verschafft uns die Möglichkeit, Wahrheiten und Erkenntnisse so schnell wie nie zu verbreiten – eine historisch einmalige Chance.“

Historische Beispiele hierfür sind die verschiedenen Formen der Ehe, wie sie L.H. Morgan in „Ancient Society“³² und F. Engels in „Der Ursprünge der Familie, des Privateigentums und des Staates“³³ beschreiben, oder aber die verschiedenen Formen der Differenzierung in sozialen Systemen der unterschiedlichsten Art, wie sie von W. Ebeling, J. Freund und F. Schweitzer diskutiert werden.³⁴

„In der Biologie differenzieren sich bei der Ontogenese von Organismen genotypisch einheitliche Zellen in phänotypisch unterschiedliche Gewebe. (Hierauf wurde eingangs dieses Artikels am Beispiel des Schleimpilzes ausführlich eingegangen; d. Autoren). Im gesellschaftlichen Bereich teilen sich Menschen mit biologisch ziemlich gleichwertigen Fähigkeiten sozial in Berufe ein. Bei all diesen Vorgängen wird die ursprünglich einheitliche Menge der Teilsysteme in unterschiedliche Äquivalenzklassen zerlegt, ihre Symmetrie wird gebrochen, es entsteht Ordnung.“

Nun ist die heutige Form der Globalisierung u.a. mit der Entwicklung ganz neuer Kommunikationsmittel verbunden (vgl. Internet, Handy, etc.), die es den einzelnen Menschen ermöglicht, auch unmittelbar und mit nur geringer Zeitverzögerung miteinander zu kommunizieren, obwohl sie an fast beliebigen Orten der Welt weilen. In der Realität jedoch beschränkt sich auch diese Kommunikation auf den mehr oder weniger direkten Nachbarschaftsbereich und überspringt in der Regel weder Sprach- noch Kulturgrenzen, es sei denn, vermittelt durch staatlich organisierte Aktionen.

Doch trotz der neuen Kommunikationsmittel ist der entscheidende Mechanismus die zwischenmenschliche Kommunikation. Die ist aber nicht unerheblich von den Fähigkeiten der einzelnen Individuen abhängig, in dem Sinn, dass sie sich danach richten, was der „Nachbar“ macht und was allgemein anerkannt ist, solange sich daran nichts ändert.

Ein trauriges negatives Beispiel dafür sind die derzeitigen Waldbrände im Amazonasgebiet Brasiliens. Hier hat die durch den brasilianischen Präsidenten Jair Bolsonaro veröffentlichte „Öffentliche Meinung“ dafür gesorgt, dass, was bislang öffentlich nicht akzeptiert war, – ein jeder könne den Regenwald in Brand setzen zwecks Landgewinnung für die Landwirtschaft mittels Brandrodung – von nun an billigend in Kauf genommen wurde. Und wie ein Lauffeuer breitete sich dieser Umschwung in der öffentlichen Meinung unter den interessierten Landbesitzern durch „nachbarschaftliche“ Kommunikation aus. Am Tag des Feuers (23. August 2019) brennt der Urwald Brasiliens an vielen zehntausenden von Stellen gleichzeitig:

„Die Wälder im Amazonasgebiet brennen jedes Jahr in der Trockenzeit. Doch diesmal ist es besonders schlimm. Offenbar glauben die Farmer, dass Brandstiftung unter Präsident Bolsonaro als Kavaliersdelikt gilt. Der reagiert nun.“³⁵

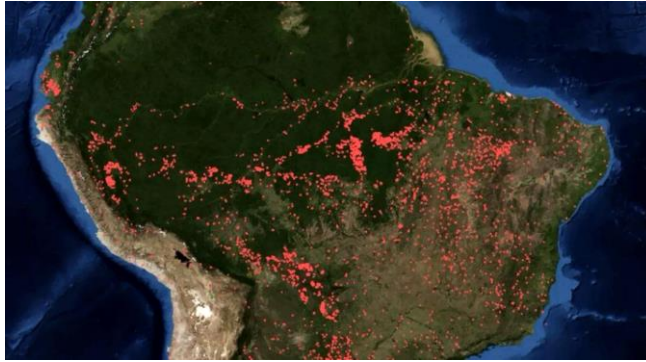


Abb. 9 Am „Tag des Feuers“ (23.8.2019) stehen Brasiliens Wälder in Flammen.³⁶

Nun kann man einwenden, dass es doch wenigstens ein paar Menschen gibt, die sich nicht unbedingt nur an die allgemein anerkannten Regeln halten, dass sie darüber hinaus denken und Neues ausprobieren, und die sich auch nicht unbedingt immer nur an ihren unmittelbaren Nachbarn orientieren. Öffnet nicht gerade die Globalisierung für diese Menschen völlig neue Möglichkeiten? Ist das nicht eine große Chance für sie und auch für die Allgemeinheit?

Kann man diese Hoffnung auch irgendwie wissenschaftlich, mathematisch belegen? Gibt es allgemeingültige mathematische Modelle, die das individuelle Verhalten berücksichtigen? In einem, bereits viele Jahre zurückliegenden ausführlichen Artikel „Simulation of Individual Behaviour“,³⁷ der auch die mathematischen Aspekte berücksichtigt, sind wir auf diese Fragestellung eingegangen. Wir geben hier die wesentlichen Aspekte dieser Arbeit gekürzt wieder.

Es gibt offensichtlich soziale Systeme – insbesondere menschliche soziale Systeme – die durch deterministische Modelle schon recht früh beschrieben wurden^{38,39,40,41}. Es gibt Beispiele für ganz unterschiedliche Typen: technologische und wirtschaftliche Systeme^{42,43,44,45}, Verhalten im Straßenverkehr⁴⁶ sowie das globale Verhalten von Menschen in Staaten⁴⁷. Diese deterministischen Modelle basieren auf Durchschnitts- oder Erwartungswerten einer großen Anzahl elementarer Entitäten. Abweichungen von diesen Werten sind im Rahmen dieser Betrachtung als Schwankungen zu verstehen, die sich in kritischen Situationen natürlich auf das gesamte System auswirken können. Derartige Schwankungen sind jedoch mit einer rein deterministischen Sichtweise unvereinbar. Schwankungen sind zufällige Ereignisse und können daher nur probabilistisch beschrieben werden.

Im Kontext der Theorie sozialer Systeme spielt jedoch die Idee individueller Entscheidungen, die das gesamte System beeinflussen können, eine wichtige Rolle. Die Idee der Freiheit ist im Wesentlichen eine Theorie, die auf Individuen basiert. Das Konzept der Demokratie, nach dem Entscheidungen beispielsweise durch Wahlen getroffen werden, basiert auf der individuellen Entscheidungsfreiheit, wobei Wahlen nur eine bestimmte Form der Standardisierung dieses Verhaltens darstellen. Auf der anderen Seite werden historische Ereignisse nicht durch eine Aufzählung der Wahlergebnisse dargestellt. Sie sind im Gegenteil an bestimmte Personen, das heißt an ausgewählte Personen, gebunden. Es stellt sich also die Frage, wie beide Sichtweisen, die deterministische Beschreibung des globalen Verhaltens und die historische Beschreibung einzelner Handlungen, kombiniert werden können.

Im Folgenden wird versucht, mittels zellulärer Automaten die Rolle elementarer Entitäten zu simulieren, die in einem ansonsten vollständig deterministischen System individuelle Entscheidungen treffen können.

Grundlegende Ideen hinter dem Modell

Wenn ein System im Wesentlichen deterministisch beschrieben wird, sollten einzelne zufällige Entscheidungen in Bezug auf die Struktur des Systems wichtig sein, wenn die Einheiten, die diese Entscheidungen treffen, selten genug sind. Dieses Konzept unterscheidet sich grundlegend von dem thermodynamischen Konzept des allgemeinen Auftretens von Schwankungen, bei dem immer alle Teile des Systems in der Lage sind, individuelle Entscheidungen zu treffen. Wir gehen daher davon aus, dass unser System durch eine irreversible Thermodynamik beschrieben werden kann, die weit

vom Gleichgewicht entfernt ist, und dass das Verhalten der meisten Teile des Systems vollständig deterministisch beschrieben werden kann. Es handelt sich also um ein System, das eine Struktur erzeugen kann und thermodynamisch weit vom Gleichgewicht entfernt ist. Ein solches System kann in eine große Anzahl von Einheiten unterteilt werden, die sich zeitlich irreversibel, aber deterministisch verhalten.

In solch einem System fügen wir ein paar Individualisten ein. Diese Einheiten sind durch die Tatsache gekennzeichnet, dass sie – mit einer gegebenen Wahrscheinlichkeit – jederzeit ein wenig zufällig von dem deterministisch bestimmbaren Verhalten abweichen können, das auch für sie gilt. Wir sind an der Wirkung des individuellen Verhaltens auf die Entwicklung des gesamten Systems interessiert. Die Individualisten können als eine Quelle stetig zufälliger Störungen in Bezug auf die Entwicklung des Systems angesehen werden. Wenn sich eine solche Störung nicht oder nur vorübergehend auf das Gesamtverhalten auswirkt, würden wir ein solches System als stabil bezeichnen. Hat die Störung jedoch einen langfristigen Strukturierungseffekt, so ist das zugrunde liegende deterministische System instabil und es bildet sich eine neue Struktur. Die neue Struktur basiert dann im Wesentlichen auf der Wirkung der Individualisten. Es wird von großem Interesse sein, ob in einem solchen Fall das gesamte System von der neuen Struktur erfasst wird oder ob die neue Struktur nur für einen relativ kleinen Teil des Systems von lokaler Bedeutung ist.

Nach Luhmann ist ein soziales System, wie er in seinem Buch „Soziale Systeme, Grundriss einer allgemeinen Theorie“⁴⁷ ausführt, ein System, das sich im Wesentlichen nur um sich selbst kümmert und kaum Kontakt zu seiner Außenwelt hat. Das System schafft für seine eigenen Teile eine interne Umgebung, die das Verhalten des gesamten Systems in Bezug auf seine äußere Umgebung widerspiegelt. Diese interne Welt kann in zwei Komponenten zerlegt werden: die lokale Umgebung jeder Einheit – normalerweise mit Hilfe eines Zellularautomaten beschrieben – und eine globale interne Umgebung, die das gesamte System darstellt und durch den Durchschnittswert einer beliebigen Komponente des Systems beschrieben werden kann.

In unserem Modell werden wir diesen globalen Einfluss des Systems auf die einzelnen Prozesse der einzelnen Einheiten durch den Durchschnittswert der Produktivität aller Zellen des Automaten abbilden.

Die seltenen Wahrnehmungsantennen der Außenwelt des Systems, von denen Luhmann spricht, werden hier in die innere Repräsentation des Systems im Sinne der systemimmanenten Repräsentation der Außenwelt übersetzt. In diesem Sinne agieren unsere Individualisten und ihre zufälligen Entscheidungen als interne Repräsentanten der Außenwelt.

In unserem Modell betreffen die zufälligen Entscheidungen der Individualisten nur ihre Produktivität. Jede Zelle ist jedoch, wie bereits erwähnt, auch durch eine weitere Komponente gekennzeichnet: eine Phase. Die zeitliche Transformation der Phase jeder Zelle erfolgt stets deterministisch unter Berücksichtigung der lokalen und globalen Eigenschaften des Systems. Während die Produktivität das quantitative Verhalten beschreibt, beschreibt die Phase eine qualitative Eigenschaft der Zelle. In gewisser Weise repräsentiert die Phase ein kurzlebiges strukturelles Gedächtnis der einzelnen Zellen.

Die Interpretation der Begriffe *Produktivität* und *Phase* hängt vom tatsächlich zu modellierenden System ab. Im Hinblick auf die Idee der Produktivität bezeichnen wir die Zustände der Phase als das aktive oder inaktive Verhalten der Zelle. Aus thermodynamischer Sicht ist die Idee der Phase eine strukturelle Eigenschaft der Zelle, die ein Subsystem darstellt, weshalb der Begriff *Phase* hier etwas anders als üblicherweise in der Thermodynamik verwendet wird. Wir gehen davon aus, dass ein Übergang zwischen beiden diskreten Werten der Phase stattfinden kann. Ähnlich wie bei der Produktivität hängt die zeitliche Umwandlung der Phase von der Produktivität und den Phasen der Nachbarzellen und vom globalen System ab.

Während dynamische Systeme in der Regel durch die Stabilität oder Instabilität ihres Zustands gekennzeichnet sind, tritt für soziale Organismen ein weiterer Aspekt auf, der nicht durch das Lyapunov-Stabilitätskriterium beschrieben werden kann. Es ist die Fähigkeit des Systems, sich vor Übererregung und vor dem Absterben aufgrund fehlender Reize zu schützen. Schwellenwerte verlangsamen die Zunahme und Abnahme der Produktivität und das Überschreiten von Ober- und Untergrenzen wird vermieden, falls dies die Existenz des Systems beenden könnte.

Darüber hinaus gehen wir davon aus, dass soziale Organismen in der Lage sind, sich selbst zu stimulieren, wenn ihre Produktivität lange genug oder tief genug gesunken ist. Diese Tatsache wird durch einen Phasenübergang in den aktiven Zustand modelliert, obwohl die Zelle – basierend auf der lokalen Situation – in einem inaktiven Zustand bleiben müsste. Diese Regel ist das Ergebnis der globalen Selbstkontrolle des Systems. Es kann als der Selbstreiz des Systems verstanden werden.

In den folgenden Abschnitten werden wir die formale mathematische Beschreibung des Modells im Detail vorstellen. Wir werden dann einige spezielle Situationen beispielhaft beschreiben.

Zelluläre Automaten

Im Folgenden erklären wir kurz unser Konzept der zellulären Automaten^{48,49}:

- Ein zellulärer Automat ist eine Menge von Zellen mit einer Struktur. Die Struktur auf der Menge ist ein simplizialer Komplex der Dimension Eins, bei dem die Zelle ein Knotenpunkt ist.
- Jede Zelle ist durch einen Zustand gekennzeichnet, der ein Skalar, ein Vektor usw. sein kann.
- Eine lokale Nachbarschaft zwischen den Zellen ist definiert.
- Eine Transformationsregel transformiert den Zustand einer Zelle zum Zeitpunkt (t) in den Zustand der Zelle zum Zeitpunkt ($t + 1$), abhängig vom Zustand der Zelle (n) in der definierten Nachbarschaft.

Der Zustand einer Zelle

Wie bereits erwähnt, wird der Zustand einer Zelle durch einen Vektor mit drei Komponenten beschrieben:

$$\begin{pmatrix} \textit{Phase} \\ \textit{Produktivität} \\ \textit{Individualität} \end{pmatrix}$$

- Die Phase einer Zelle repräsentiert das qualitative Verhalten eines Elements des zu modellierenden Systems. Sie ist binär: Zu einem Zeitpunkt (t) kann eine Zelle c aktiviert sein (Wert: 1) oder nicht (Wert: 0):

$$\textit{phase}(c_i(t)) \in \{0,1\}.$$

- Die Produktivität repräsentiert das quantitative Verhalten eines Elements des zu modellierenden Systems. Es wird in Zahlen von Null bis 111 ausgedrückt:

$$\textit{prod}(c_i(t)) \in \{0, \dots, 111\}.$$

- Eine Zelle ist entweder ein Individualist (Wert 1) oder nicht (Wert 0). Ob eine Zelle diese Eigenschaft besitzt oder nicht, wird vor dem Start festgelegt und während der Entwicklung des Automaten nicht geändert:

$$\textit{indiv}(c_i(t)) \in \{0,1\}.$$

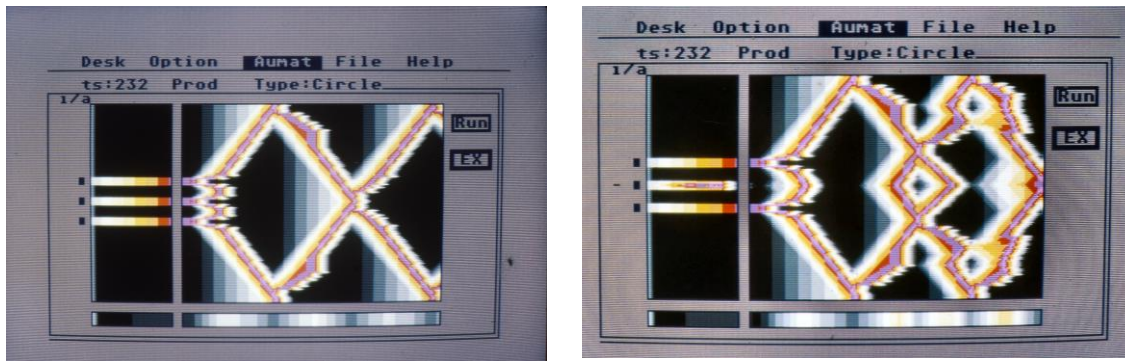


Abb. 10 Rechtes Bild: Selbst ein einzelner Individualist (rot markiert) mit leicht progressivem Verhalten kann die sich ohne Individualisten deterministisch entwickelnde Struktur des Systems (linkes Bild) entscheidend beeinflussen, wenn genügend viele aktive Gruppen sich in seiner Nähe befinden. Ein aktuelles Beispiel hierfür ist Greta Thunberg (Photo: P. Plath, E. Swart; zuerst publiziert in „Fractal Geometry and Computer Graphics“ Springer, Verlag 1992, siehe Lit. 37).

Einzelentscheidungen der individualistischen Zellen

Bisher ist die Entwicklung des Zustands der Zellen vollständig deterministisch. Wenn eine Zelle ein Individualist ist, kann sie jedoch den Betrag der Erhöhung oder Verringerung der Produktivität durch eine individuelle Entscheidung ändern. Der Individualist kann entscheiden, diesen deterministischen Betrag um eins oder zwei zu verringern. Er kann auch entscheiden, den deterministischen Betrag um eins oder zwei zu erhöhen. Er kann sogar beschließen, den von der Transformationsregel vorgeschriebenen Betrag zu akzeptieren. Die einzelnen Entscheidungen werden zufällig getroffen, basierend auf einer Wahrscheinlichkeitsverteilung unter den fünf verschiedenen Entscheidungen, die für jede Entscheidung in zehn gleichen Schritten begründet werden kann.

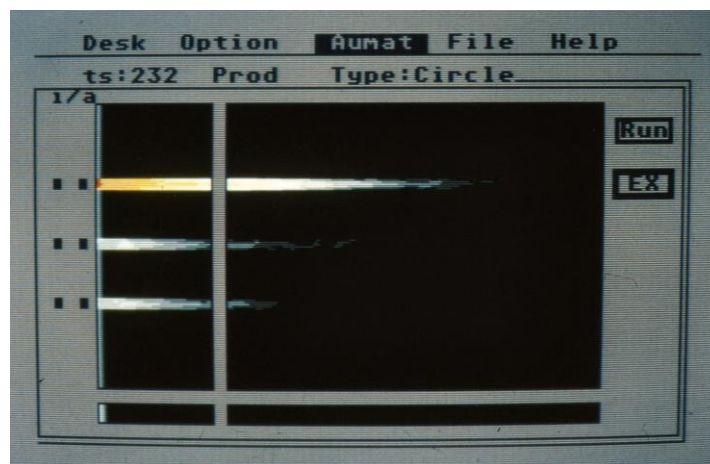


Abb. 11 Regressives Verhalten der Individualisten führt zu einem sehr niedrigen Niveau der Produktivität des ganzen Systems. Obwohl sie zu Beginn mit einer hohen Produktivität und Individualität starten, unterscheiden sie sich schon bald nicht mehr von den anderen Mitgliedern des Systems, in dem sie gewissermaßen untergehen (Photo: P. Plath, E. Swart; zuerst publiziert in „Fractal Geometry and Computer Graphics“ Springer Verlag 1992, siehe Lit. 37).

Schlussbemerkungen

Natürlich ist uns bewusst, dass soziale Systeme, insbesondere solche Systeme, in denen individuelle Entscheidungen relevant sind, nicht vollständig von linearen zellulären Automaten beschrieben werden können. Aber einige wesentliche Elemente im Verhalten eines sozialen Systems können mit Sicherheit durch einen so einfachen Automaten sichtbar gemacht werden. So stellt sich beispielsweise

die Frage, ob es Situationen gibt, in denen solche Individualisten die Struktur eines sozialen Systems auch durch zufälliges Verhalten verändern können. Wir glauben, dass wir diese Frage positiv beantwortet haben.

Das Öko-Evolon, aber auch das Evolon beschreibt Wachstumsprozesse, nicht aber die möglichen Strukturierungen innerhalb wachsender Systeme. Beide Prozesse schließen sich nicht aus! Sie finden statt. Durch die Kooperation der „Individualisten“ lassen sich aber die sich selbstorganisierenden Strukturen beeinflussen, denn wachsende Systeme sind keine stabilen Systeme, sie sind tendenziell instabil.

Wir haben nicht die Frage untersucht, inwieweit sich das Verhalten von Individualisten und ihre Fähigkeit, eine Änderung durchzusetzen, durch einen Informationsaustausch oder durch ein echtes Netzwerk von Individualisten ändern. All diese Fragen sind auch in grundsätzlicher Hinsicht von großem Interesse, und vielleicht lassen sich künftig mit Hilfe einer differenzierteren Version des beschriebenen Modells auch dazu Antworten finden. Da sind wir uns sicher!

E-Mail-Adressen der Verfasser: peter_plath@t-online.de
ernst-christoph.hass@web.de

Literatur

- ¹ Reinhard Krüger; „moles globosa, globus terrae und arenosus globus in Spätantike und Mittelalter – Eine Kritik des Mythos von der Erdscheibe“; Weidler Buchverlag, Berlin (2012) S. 206 ff.
- ² Ibid. S. 208, 209.
- ³ W. Ebeling, A. Engel und R. Feistel; „Physik des Evolutionsprozesses“; Akademie-Verlag, Berlin (1990) S. 44.
- ⁴ Spanisches Kolonialreich, Wikipedia; https://de.wikipedia.org/wiki/Spanisches_Kolonialreich.
- ⁵ Bildnachweis: Ersteller: Rubens, Peter Paul (1577–1640), Urheber: Erich Lessing Culture and Fine A, Urheberrecht: (c) Photograph by Erich Lessing.
- ⁶ N. Luhmann; „Die Gesellschaft der Gesellschaft“; Bd. I und II Suhrkamp Verlag, Frankfurt am Main (1997).
- ⁷ F.J. Varela, H.R. Maturana and R. Uribe; „Autopoiesis: The organization of living systems, its characterization and a model“; *Biosystems* 5 (1974) 187–196; doi:10.1016/0303-2647(74)90031-8.
- ⁸ Th. Killich, P.J. Plath, Xiang Wei, H. Bultmann, L. Rensing und M. Vicker; „The locomotion, shape and pseudopodial dynamics of unstimulated Dictyostelium cells are not random“; *J. of cell Science* 106 (1993) 1005–1013.
- ⁹ Th. Killich, P.J. Plath, E.-C. Haß, Wei Xiang, H. Bultmann, L. Rensing und M. Vicker; „Cell movement and shape are non-random and determined by intracellular, oscillatory waves in Dictyostelium amoebae“; *BioSystems* 33 (1994) 75–87.
- ¹⁰ Kees Weijer; University of Dundee; private Kommunikation, Dortmund 14. Sept. 2019.
- ¹¹ P. Plath und E.-C. Haß; „Bestimmtheit und Unbestimmtheit in sozialen Systemen – ein synergetischer Ansatz“; Leibniz Online, Nr. 28 (2017) Zeitschrift der Leibniz-Sozietät e.V. ISSN 1863-3285; und in Russisch URSS MOCKBA (2018) 224 ff, ISBN 978-5-9710-5915-8.
- ¹² <https://www.spektrum.de/lexikon/biologie/dictyostelium/18044>.
- ¹³ <https://www.stern.de/politik/ausland/angst-vor-is-terror-tuerkei-oeffnet-grenze-fuer-syrische-fluechtlinge-3612990.html>.
- ¹⁴ D. Meadows, D. Meadows, E. Zahn und P. Milling; „Die Grenzen des Wachstums – Bericht des Club of Rome zur Lage der Menschheit“; Rowohlt Verlag, Reinbek bei Hamburg (1973).
- ¹⁵ D.L. Meadows und D.H. Meadows; „Das globale Gleichgewicht – Modellstudien zur Wachstumskrise“; Rowohlt Verlag, Reinbek bei Hamburg (1976).
- ¹⁶ D.H. Meadows, D.L. Meadows und J. Randers; „Die neuen Grenzen des Wachstums“; Deutsche Verlagsanstalt, Stuttgart (1992).
- ¹⁷ Dreißigjähriger Krieg, Wikipedia; https://de.wikipedia.org/wiki/Drei%C3%9Figj%C3%A4hriger_Krieg.

- ¹⁸ M. Peschel und W. Mende; „Leben wir in einer Volterra-Welt?“; *Mathematische Forschung* Bd. 14, Akademie-Verlag, Berlin (1983) S. 23 ff.
- ¹⁹ M. Peschel, W. Mende und F. Breitenecker; „Das Evolon-Modell für Wachstum und Struktur in Ökologischen, Sozio-Ökonomischen und Verwandten Systemen“; in: F. Breitenecker und W. Kleinbert (eds.), „Simulations-technik. Informatik – Fachberichte“, Vol. 85, Springer, Berlin, Heidelberg (1984).
- ²⁰ D. Lurié und J. Wagensberg; „Entropy balance in biological development and heat dissipation in embryogenesis“; *J. Nonequilibrium Thermodynamics* 4,2 (1979) 127–130.
- ²¹ D. Lurié und J. Wagensberg; „Termodinámica de la evolución biológica; *Investigación y Ciencia*“; 1 de marzo de 1979; <https://www.investigacionyciencia.es/revistas/investigacion-y-ciencia/fsica-vibratoria-del-piano-30/termodinmica-de-la-evolucion-biologica-3089> und http://users.df.uba.ar/giribet/f4/proc_bio.pdf.
- ²² W. Ebeling, A. Engel und R. Feistel; „Physik der Evolutionsprozesse“; Akademie-Verlag, Berlin (1990) S. 86.
- ²³ Ibid. S. 85.
- ²⁴ Ibid. S. 87.
- ²⁵ <https://utopia.de/ratgeber/earth-overshoot-day/>.
- ²⁶ <http://www.faszination-regenwald.de/info-center/zerstoerung/soja.htm>.
- ²⁷ Ernst Wolff; „Finanz Tsunami – Wie das globale Finanzsystem uns alle bedroht“; edition e. wolff (2017) S. 123–124.
- ²⁸ Bretton-Woods-System, Wikipedia; <https://de.wikipedia.org/wiki/Bretton-Woods-System>.
- ²⁹ E. Wolff; „Finanz Tsunami – Wie das globale Finanzsystem uns alle bedroht“; edition e. wolff (2017) S. 125.
- ³⁰ R. Feistel; „The Value Concept in Economy“; in: W. Ebeling, M. Peschel und W. Weidlich (eds.), „Models of Selforganization in complex Systems – MOSES“, *Mathematical Research*, Vol 64, Akademie Verlag (1991) S. 37–43.
- ³¹ E. Wolff; „Finanz Tsunami – Wie das globale Finanzsystem uns alle bedroht“, edition e. wolff (2017) S. 173.
- ³² L.H. Morgan; „Ancient Society“; Charles H. Kerr & Company, Chicago (1877).
- ³³ F. Engels; „Der Ursprung der Familie, des Privateigentums und des Staates“; Dietz Verlag Berlin (1969).
- ³⁴ W. Ebeling, J. Freund und F. Schweitzer; „Komplexe Strukturen: Entropie und Information“; B.G. Teubner, Stuttgart, Leipzig (1998) S. 43 ff.
- ³⁵ ntv, Montag, 26. August 2019; <https://www.n-tv.de/panorama/Brasilien-Polizei-ermittelt-gegen-Brandstifter-article21229114.html>.
- ³⁶ Google Bilder, Tag des Feuers Brasilien ; https://www.google.de/search?q=tag+des+feuers+brasilien&source=Inms&tbn=isch&sa=X&ved=0ahUKEwjLiNqhlJ7kAhWNb1AKHUxhA1cQ_AUIESgB&biw=1366&bih=626#imgdii=EE96NmP-4xrrnM:&imgsrc=RKRKZgTFm2N8M.
- ³⁷ E.J. Swart und P.J. Plath; „Simulation of individual Behaviour“, in: J.L. Encarnação, H.-O. Peitgen, G. Sakas and G. Englert (eds.), „Fractal Geometry and Computer Graphics“, Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, New York, London, Paris, Tokyo, Hongkong, Barcelona, Budapest (1992) S. 144–161.
- ³⁸ S. Wehowsky; *GEO-WISSEN*, „Chaos und Kreativität“, Heft 2 (1990) 152.
- ³⁹ K. Bachmann; *GEO-WISSEN*, „Chaos und Kreativität“, Heft 2 (1990) 88.
- ⁴⁰ P. Bak und K. Chen; *Spektrum der Wissenschaft*, Heft 3 (1991) 62.
- ⁴¹ V. Calenbuhr und J.L. Deneubourg; *Actes coll. Insects Sociaux*, 5 (1989) 207.
- ⁴² G. Silverberg, G. Dosi and L. Orsenigo; *The Economic Journal* 98 (1988) 1032.
- ⁴³ W.J. Bawnol and J. Benhabib; *J. Economic Perspectives* 3, 1 (1989) 77.
- ⁴⁴ W. Ebeling; *Syst. Anal. Model. Simul.* 8, 1 (1991) 3.
- ⁴⁵ M.A. Jirnez Montano and W. Ebeling; *Collective Phenomena* 3 (1980) 107.
- ⁴⁶ R. Kuhne; *Physik in unserer Zeit* (1984) 84.
- ⁴⁷ N. Luhmann; „Soziale Systeme, Grundriß einer allgemeinen Theorie“, Suhrkamp Taschenbuch Wissenschaft StW 666, Suhrkamp Verlag, Frankfurt am Main (1987).
- ⁴⁸ St. Wolfram; *Physica* 10 D (1984) 1.
- ⁴⁹ T. Toffoli, N. Margolus; „Cellular Automata Machines“; The MIT Press, Cambridge Mass., London Engl.; K. Bachmann; *GEO-WISSEN*, „Chaos und Kreativität“, Heft 2 (1990) 88.