
Systemgestaltung

Frank Schweitzer

Chair of Systems Design, ETH Zurich, Weinbergstrasse 58, 8092 Zurich, Switzerland

Freiheiten und Einschränkungen. Systemgestaltung - das weckt sofort Assoziationen an die Freiheiten eines göttlichen Schöpfers. Genau diese Vorstellung bezeichnet aber bereits das Problem: Wie jedes andere Design muss auch das Systemdesign gewisse Randbedingungen respektieren. Und das bedeutet zunächst einmal, diese Beschränkungen zu kennen. Ein Produktdesigner ist in seiner Kreativität gebunden an die Materialeigenschaften, welche die Belastbarkeit und die minimalen Abmessungen seines Produkts bedingen. Er muss wissen, wie sich dieses Produkt in einer dynamischen Umwelt verhält, wie es sich mit anderen Produkten verträgt und wie robust es seine Funktionen erfüllt.

Fragen. Gleiches gilt auch für die Systemgestaltung, allerdings ist die Komplexität des Designs hier weitaus grösser. Bevor wir überhaupt Fragen der Systemgestaltung formulieren können, müssen wir zunächst klären, was wir unter einem System verstehen wollen, welchen Ansatz zur Modellierung von Systemen wir wählen und wie wir diese Modelle validieren. Damit sind die methodisch-*technischen* Aspekte der Systemgestaltung angesprochen. Die methodisch-*kritische* Perspektive nimmt die *Grenzen* von Systemgestaltung in den Blick. Was wollen wir überhaupt mit der Systemgestaltung erreichen? Wunschlisten sind schnell formuliert. Aber wie sinnvoll oder machbar sind diese Wünsche? Hier muss unsere Erwartungshaltung kritisch hinterfragt werden.

Systeme. Systeme bestehen in der Regel aus einer Vielzahl interagierender Elemente mit eigenen Eigenschaften, weshalb man von komplexen Systemen spricht. Da wir uns vornehmlich für sozio-ökonomische Systeme interessieren, wären das zum Beispiel eine soziale Online-Plattform oder ein Netzwerk von Firmen, die gemeinsam Patente entwickeln.

Gleichzeitig sind Systeme eingebettet in eine Umgebung, mit der sie durch Austauschprozesse verbunden sind. Diese Abgrenzung nach innen und nach aussen - was ist ein Element, was ist die Umgebung in Bezug auf das System - definiert, was wir unter dem jeweiligen System verstehen wollen. Da Systeme Subsysteme enthalten und gleichzeitig Teil von Supersystemen sein können, gibt es keine eindeutige Definition, dafür aber eine Vielzahl von Perspektiven auf ein System, die berücksichtigt werden müssen.

Die wichtigste Frage betrifft die Eigendynamik von Systemen - also ihr Verhalten, *bevor* wir gezielt Einfluss auf sie ausüben. Nur wenn wir diese Eigendynamik verstehen, sie im Modell erfasst und reproduziert haben, können wir Anforderungen an die Systemgestaltung überhaupt formulieren. Dazu müssen zwei Besonderheiten berücksichtigt werden.

Selbstorganisation. Komplexe Systeme haben die Fähigkeit zur Selbstorganisation, denn sie sind in der Lage, neue Ordnungsstrukturen und kollektive Dynamiken hervorzubringen, sofern bestimmte kritische Bedingungen erfüllt sind. Dieser Übergang in einen neuen Systemzustand erfolgt meist sprunghaft und wird als Emergenz bezeichnet. Manche emergenten Eigenschaften sind erwünscht, wie die Leitfähigkeit in Metallen oder das Bewusstsein im Gehirn, andere sind unerwünscht, wie der Verkehrsstau auf der Autobahn oder die Massenpanik beim Rockkonzert. Solche Selbstorganisationsprozesse gezielt zu beeinflussen, ist schwierig, denn kollektive Eigenschaften lassen sich nicht auf einzelne Systemelemente reduzieren.

Adaptivität. Komplexe Systeme sind auch *adaptive* Systeme, die sich laufend an Veränderungen anpassen. Dies können externe Veränderungen in Bezug auf das System sein, zum Beispiel die Änderung des Unternehmenssteuersatzes, die zum Zu- oder Wegzug von Firmen führt, aber auch interne Veränderungen, wie das Ausfallen eines Mitarbeiters, das eine neue Verteilung von Aufgaben zur Folge hat. Diese Adaptivität - bei sozialen Systemen spricht man auch vom kollektiven Lernen - ist die Voraussetzung, um überhaupt Einfluss auf das Verhalten von Systemen nehmen zu können. Auch hier ist es schwierig, jeweils eine bestimmte Entwicklung zu induzieren.

Agenten-basierte Modelle. Diese Besonderheiten stellen grosse Herausforderungen für die Modellierung komplexer Systeme dar. State-of-the-art Modelle komplexer Systeme basieren in der Regel auf Agenten, die die Systemelemente repräsentieren. Diese Agenten folgen einer eigenen Dynamik, zum Beispiel wollen sie eine Nutzensfunktion maximieren. Gleichzeitig wird ihr Verhalten durch die Interaktion mit anderen Agenten bestimmt, aber auch von Änderungen in der Umgebung. Das Ziel der Modellierung komplexer Systeme ist nicht, ein möglichst genaues Abbild jedes einzelnen Agenten zu entwickeln, dies wäre Aufgabe der Einzelwissenschaften. Im Rahmen eines statistischen Zugangs interessieren wir uns für das zu erwartende Verhalten einer Vielzahl von Agenten. Es zählt zu den wichtigsten Einsichten der Forschung über komplexe Systeme, dass auch mit vereinfachten Modellen und unvollständiger Information die systemischen Eigenschaften reproduzierbar sind. Die Struktur und die Dynamik des *Systems* kann also erklärt werden, ohne Aussagen über jeden individuellen Agenten machen zu müssen.

Kalibrierung und Validierung. Damit die Agenten-basierten-Modelle ihren Zweck erfüllen, müssen sie anhand von verfügbaren Daten kalibriert und anschliessend validiert werden. Erst die enorm gewachsene Menge verfügbarer Daten macht diese Form von datengetriebener Modellierung überhaupt möglich. Dies soll am Beispiel der Forschungszusammenarbeit von Firmen erläutert werden. In Datenbanken ist über mehr als 25 Jahre dokumentiert, welche Firmen in welchem industriellen Sektor wann eine Forschungskoperation eingegangen sind. Sie enthalten aber keine Information darüber, warum genau diese Firmen sich für eine Zusammenarbeit

entschieden haben, wie lange die Kooperation währte und ob sie erfolgreich war. Ein Agenten-basiertes Modell kann also nicht mit Annahmen über die Gründe der Zusammenarbeit starten, solange diese nicht bekannt sind. Statt dessen werden einfache Regeln formuliert, die Wahrscheinlichkeiten dafür enthalten, ob neue Firmen oder Firmen, die bereits Forschungsk Kooperationen haben, mit anderen neuen oder etablierten Firmen im gleichen oder in unterschiedlichen Sektoren eine Zusammenarbeit aufbauen. Diese Wahrscheinlichkeiten werden in einem aufwendigen statistischen Verfahren danach bestimmt, ob sie bekannte systemische Strukturen aus den Daten, zum Beispiel die Verteilung der Zahl der Forschungspartner über alle Firmen, am besten wiedergeben. Nach dieser Kalibrierung kommt die Validierung: ist ein solches Modell auch in der Lage, systemische Eigenschaften zu reproduzieren, die *nicht* in die Kalibrierung eingegangen sind, zum Beispiel die Herausbildung von kleinen und grossen Clustern von kooperierenden Firmen aus verschiedenen Sektoren? Wenn dies der Fall ist, das Modell also seine Tauglichkeit anhand verschiedener Problem dimensionen gezeigt hat, dann kann es als Ausgangspunkt für Fragen der Systemgestaltung dienen.

Bottom-up und Top-down Zugang. Grundsätzlich unterscheiden wir bei der Systemgestaltung einen top-down und einen bottom-up Zugang. Der top-down Zugang setzt bei den Randbedingungen an, unter denen sich Systeme formieren und entwickeln können. Bei sozio-ökonomischen Systemen sind dies etwa Gesetze, die ein Klima der Rechtssicherheit schaffen und indirekt die Freiräume für Unternehmen oder Individuen definieren. Zu den Randbedingungen zählen auch Steuervorgaben, die Standortvorteile ermöglichen, oder Umweltstandards.

Der bottom-up Zugang setzt bei den einzelnen Systemelementen an. Diese können prinzipiell auf zwei Arten beeinflusst werden, hinsichtlich ihrer internen Dynamik und hinsichtlich ihrer Wechselwirkung mit anderen Elementen. Beim Beispiel der Forschungszusammenarbeit kann man bestimmte Firmen dazu bringen, mit Startups anstelle von etablierten Firmen zu kooperieren. Das damit verbundene grössere Risiko kann durch monetäre oder steuerlichen Anreize kompensiert werden. Es wird also die Nutzensfunktion der Firma direkt beeinflusst. Man kann ebenso Interaktionen von Firmen fördern, indem man auf speziellen Messen neue Partner zusammenbringt, eine Zusammenarbeit in erwünschten Sektoren wie der Biotechnologie durch Bereitstellung von Laborgebäuden fördert oder die Effizienz des Wissensaustausches durch zusätzliche Spezialisten erhöht. Es wird hier also die Zusammenarbeit von Firmen direkt beeinflusst.

Ein umfasseneres Bild. Sowohl der top-down als auch der bottom-up Zugang setzen voraus, dass wir anhand von Modellen eine Vorstellung davon gewinnen, wie einzelne Massnahmen der Systemgestaltung auf das System wirken. Gerade beim top-down Zugang haben verschiedene Wissenschaftsdisziplinen, wie die Makro-Ökonomie oder die Sozialpsychologie, wichtige Vorarbeiten geleistet. Bei der Systemgestaltung geht es darum, aus diesen Ansätzen ein noch

viel umfassenderes Bild von der Dynamik solcher Systeme zu entwickeln. Besonders wichtig sind Rückkopplungen zwischen *verschiedenen Systemebenen*, etwa zwischen Wirtschaft und Umwelt. Diese Rückkopplungen spielen auch eine grosse Rolle bei der Ausbreitung von Risiken, die anfangs eher eingegrenzt erscheinen. Fehlerkaskaden auf einer Ebene, zum Beispiel der Energieversorgung, können zum systemischen Kollaps auf einer ganz anderen Ebene, etwa der Telekommunikation, führen. Die Modellierung solcher Meta-Systeme - "systems of systems" - wird mit zunehmender Integration immer wichtiger. Die Globalisierung, also die Verflechtung räumlich getrennter ökonomischer Aktivitäten, ist nur ein Treiber dieser Entwicklung. Ein weiterer ist die vertikale Integration von unterschiedlichen Systemen im Rahmen der Digitalisierung.

Interdisziplinäre Herausforderungen. Damit wird deutlich, dass die Modellierung solcher Systeme längst nicht mehr eine Aufgabe von Einzeldisziplinen ist. Es geht um Interdisziplinarität - und das macht die Aufgaben der Systemgestaltung so schwierig. Die Summe einzelwissenschaftlicher Erkenntnisse ergibt noch lange kein Systemverständnis. Wer sollte solche systemischen Modelle entwickeln? Werden die Vorreiter disziplinärer Forschung auf einmal eine systemische Perspektive generieren? Oder benötigen wir eine "Systemwissenschaft" im besten Sinne, die in der Lage ist, disziplinäre Ansätze zu integrieren, gleichzeitig aber ihre eigene Methodik entwickelt? Die uns hilft, nicht nur spezielle ökonomische Systeme, sondern auch sozio-technische, urbane oder ökologische Systeme unter allgemeinen Gesichtspunkten zu verstehen und zu modellieren? Dafür reicht ein Abschluss in Ökonomie, Biologie oder einer anderen traditionellen Wissenschaftsdisziplin allein nicht mehr aus. Wo sind die Ausbildungsangebote, die ein disziplinübergreifendes Studium ermöglichen, wo sind die Zeitschriften, die solche Publikationen veröffentlichen, wo sind die Ausschreibungen, um Professuren mit einem solchen Profil zu besetzen? Mit diesen Fragen sind wir auf einmal nicht mehr bei den methodisch-technischen Aspekten der Systemmodellierung, sondern beim Profil von Universitäten und bei der Wissenschaftspolitik.

Erwartungen. Zu der methodisch-kritischen Reflexion über Systemgestaltung gehört auch die Frage: was erwarten wir eigentlich von Systemgestaltung als einer wissenschaftlichen Disziplin? Die gängigen Antworten lassen sich etwa so zusammenfassen: Systeme sollen so entworfen, kontrolliert und optimiert werden, dass die vorhandenen Ressourcen bestmöglich ausgenutzt, Zielvorgaben eingehalten, Risiken minimiert und die Wohlfahrt aller garantiert werden. Dies sind hehre Ziele, aber bei genauer Betrachtung sind sie nichts weiter als ein Gemisch von mechanistischer Kontrolltheorie und sozialutopischen Entwürfen, das uns im Verständnis der Probleme nicht weiterbringt.

Alle Systeme der Lebenswelt sind adaptive Systeme, die sich an eine vorgegebene Regulierung anpassen. Gleichzeitig sind sie zu Innovationen fähig, sie sind also kreativ genug, um mit neuen Strategien aus dem vorgegebenen Rahmen auszubrechen. Der Begriff Innovation ist heute po-

sitiv besetzt - von der Innovationsfähigkeit der Industrie hängt schliesslich unsere Zukunft ab. Aber bereits der namhafte Ökonom Schumpeter hat auf die "schöpferische Zerstörung" hingewiesen, die damit verbunden ist. Es werden eben nicht nur Arbeitsplätze geschaffen, sondern auch Arbeitsplätze zerstört. Kein Entweder-Oder, sondern ein Sowohl-als-Auch. Das lässt sich zu der fundamentalen Einsicht der Systemgestaltung verallgemeinern, dass *alle* Eingriffe in die Systemdynamik sowohl beabsichtigte als auch unbeabsichtigte Konsequenzen nach sich ziehen.

Unbeabsichtigte Konsequenzen. Wer das beachtet, wird nicht in unreflektierte Begeisterung über fallende Preise (dank Globalisierung), endlose Kommunikationsmöglichkeiten (dank sozialer Netzwerke) oder Automatisierung (dank künstlicher Intelligenz) verfallen. Er wird - und zwar von Anfang an - die Frage nach den unbeabsichtigten Konsequenzen stellen. Eine Diskussion über die Vorteile einer Systemgestaltung muss zwingend auch die Nachteile thematisieren. Entscheidungen können nur im Wissen um diese Nachteile getroffen werden.

Das ist leichter gesagt als getan. Wollen wir nicht alle, dass die Armut verringert oder Finanzkrisen ausgeschlossen werden? Selbstverständlich. Nur bewirkt die Moralisierung dieser Diskussion, dass die Wege zu einer solchen Systemveränderung nicht mehr offen und kritisch diskutiert werden - schon gar nicht im Hinblick auf negative Konsequenzen. Wer die Ungleichheit durch politische Massnahmen verringert, greift damit auch in die Dynamik ein, mit der der zu verteilende Reichtum überhaupt erzeugt wird. Wer globale Finanzmärkte mit tausendseitigen Gesetzeswerken überreguliert, mag zwar die Finanzkrisen der Gegenwart ausschliessen, aber er ermöglicht damit die Finanzkrisen der Zukunft.

Vor- und Nachteile verstehen. Die Ökologie, schon immer ein Vorreiter des systemischen Denkens, hat uns genügend Beispiele dafür geliefert, wie scheinbar positive Eingriffe zu negativen Konsequenzen geführt haben. Indem kleine Waldbrände verhindert wurden, wurde der grosse und unkontrollierbare Waldbrand erst möglich. Erst die Ausrottung der "bösen" Wölfe führte zum Verschwinden ganzer Arten und zu einer radikalen Landschaftsveränderung. Natürlich waren diese negativen Konsequenzen unbeabsichtigt - eben weil man die Zusammenhänge des Gesamtsystems nicht verstanden hat. Bessere Systemmodelle ermöglichen uns dieses Verständnis. Aber die Erwartungshaltung, dass wir damit Systeme ohne negative Konsequenzen gestalten könnten, führt in die Irre. Es ist die Spannung zwischen den erwünschten und den unerwünschten Systemveränderungen, die letztlich die Entwicklung aller Systeme vorantreibt. Und selbst Zusammenbrüche sind ein Teil der Systemdynamik, weil dadurch Platz für Neues geschaffen wird. Ihre systematische Verhinderung bedeutet auch, dass sich Innovationen nicht durchsetzen können. Anstatt von ewig stabilen Systemen ohne Fehler und Nachteile zu träumen, sollten wir Systemgestaltung als eine Möglichkeit ansehen, diesen Zusammenhang zwischen Vor- und Nachteilen besser zu verstehen.