

Lehren aus technischem Versagen ziehen, wobei dieses Versagen in realen Artefakten nach Möglichkeit zu vermeiden ist. Technische Funktionen wie auch Lektionen aus Versagensfällen lassen sich über Kausalrelationen genauer fassen. Kausalrelationen müssen jedoch quantifiziert werden, um für die Technikgestaltung nutzbar zu sein. Die Berechnungswerkzeuge in den Technikwissenschaften haben dabei – verglichen mit den Naturwissenschaften – primär einen anwendungsspezifischen und phänomenologischen Charakter. Jedoch auch über einzelne Berechnungsvorschriften lassen sich noch nicht komplette Artefakte oder Prozesse erfassen – und vor allem nicht gestalten.⁹⁹ Dieser Schritt wird erst mit der Systemperspektive erreicht, die nun diskutiert wird.

2.3 Systeme

Während die Naturwissenschaften nach einer Systematisierung ihrer Befunde streben (Hoyningen-Huene, 2013) und häufig die Einbettung in höherstufige Theorien – etwa eine vereinheitlichte Theorie im Falle der Physik – das Ziel ist, stellt sich die Situation in den Technikwissenschaften anders dar. Sie operieren näher am Konkreten, ihnen geht es letztlich nicht um Theorien, sondern um funktionale Gegenstände. Trotzdem denken auch verschiedene Ansätze in der Technikphilosophie und in den Technikwissenschaften selbst die Technik vom Systembegriff her. Aus diesem Grund sollen zuerst einige Grundbegriffe der allgemeinen Systemtheorie rekapituliert und anschließend ihre Anwendung auf die Technik diskutiert werden.

2.3.1 Grundbegriffe der allgemeinen Systemtheorie

Systema heißt im Griechischen »das Zusammengestellte«. Auch Ludwig von Bertalanffy, einer der Pioniere der modernen Systemtheorie, führt Systeme ein als »complexes of elements standing in interaction« (Bertalanffy, 1968, S. 33). Der Etymologie entsprechend werden »systems« bei Bertalanffy also als Zusammenstellungen von Elementen verstanden, als »Ganzheiten« – wie Günter Ropohl (2012, S. 52, 232) sagt –, welche sich gegen ein »Außen« oder eine »Umgebung« (Ropohl, 2012, S. 234) abgrenzen lassen, die damit nicht Teil des Systems ist. Um eine solche Abgrenzung vorzunehmen, wird angenommen, dass die zusammengestellten Elemente miteinander in Verbindung stehen bzw. sich in Verbindung bringen lassen.

Vor einer näheren Betrachtung ist es hilfreich, auf den Unterschied zwischen allgemeiner Systemtheorie auf der einen Seite und speziellen Systemtheorien auf der anderen Seite hinzuweisen. Die allgemeine Systemtheorie ist eine formale Konzeption (Ropohl, 2012, S. 51); sie sagt nichts über spezielle Systeme aus, sie spezifiziert z.B. nicht, wie konkrete Elemente oder die Verbindungen zwischen ihnen aussehen. Spezielle Systemtheorien dagegen – von denen die Systemtheorie der Technik hier im Fokus steht – arbeiten Typologien und Taxonomien sowie inhaltliche Analysen aller im betrachteten Phänomenbereich liegenden Systeme aus. Hierbei wird konkret ausbuchstabiert,

⁹⁹ Dies unterstreicht auch Gordon (1991, S. 375): »Naturally neither mathematics nor handbook formulae will >design< a structure for us.«

was etwa im gegebenen Zusammenhang als »Element« betrachtet werden kann. In speziellen Systemtheorien erfolgt somit der Übergang von einer rein formalen zu einer materialen Konzeption; die abstrakten Entitäten der allgemeinen Systemtheorie werden dabei mit Inhalt und Bedeutung gefüllt. In diesem Sinne sind beispielsweise biologische oder soziologische Systemtheorien als spezielle Systemtheorien zu verstehen – wobei gerade letztere zu Missverständnissen einladen. Dies liegt daran, dass Niklas Luhmann seine soziologische Systemtheorie vergleichsweise allgemein formuliert hat und diese daher ebenfalls als eine Art »allgemeine Systemtheorie« rezipiert wurde¹⁰⁰ und wird.¹⁰¹ So knüpfen diverse Autor*innen an »die« Systemtheorie an und beziehen sich dabei hauptsächlich auf Luhmann. Ropohl wirft ihm daher vor, eine »höchst eigenwillige, soziologische Sonderdeutung als ›die Systemtheorie‹ in Umlauf gebracht« zu haben (Ropohl, 2012, S. 43). Ich halte dagegen seine diesbezüglichen Polemiken¹⁰² für nicht angebracht, da Luhmann trotz seiner eigenwilligen Verwendung diverser Termini aus naturwissenschaftlichen (v.a. biologischen) und technischen Systemtheorien durchaus zu gehaltvollen Beschreibungen kommt. Richtig ist jedoch sicherlich, dass sein Zugang dabei weniger formal ist als andere systemtheoretische Ansätze, seine Begrifflichkeiten teils von ihren ursprünglichen Verwendungsweisen abweichen und seine Analysen an manchen Stellen ihren Modell- bzw. Deutungscharakter verdecken. Im gegenwärtigen Kontext ist es aber primär wichtig darauf hinzuweisen, dass hier auf eine *andere Systemtheorie* als die luhmannscher Prägung zurückgegriffen wird, ohne im Folgenden näher auf die luhmannsche Variante einzugehen.

Als Basis für die hier zugrunde gelegte allgemeine Systemtheorie wird die Arbeit von Günter Ropohl herangezogen (Ropohl, 2009a; Ropohl, 2012). Ropohl hat seinen Ansatz über Jahrzehnte ausgearbeitet und dabei eine einzigartige Synthese der vielfältigen Ursprünge modernen Systemdenkens hergestellt. Zu diesen Ursprüngen zählt er Kybernetik, Systemtechnik, Operations Research, Informatik, Organisationstheorie und mathematische Mengenlehre (Ropohl, 2012, S. 29–30). Das Anliegen einer allgemeinen Systemtheorie lässt sich aber zurückverfolgen bis zu Johann Heinrich Lambert und mittelbar bis zu Aristoteles (Ropohl, 2012, S. 25–29). Bei letzterem findet sich auch (bei gutmütiger Übersetzung) die häufig mit dem modernen Systemdenken assoziierte Aussage: Das Ganze ist mehr als die Summe seiner Teile.¹⁰³

Die Annäherung an die hier wichtigen Konzepte aus der allgemeinen Systemtheorie erfolgt in drei Schritten. Diese sind (1) Grundbegriffe, (2) Systemcharakterisierung und (3) Systemkonzepte. Die wichtigsten grundlegenden Begriffe (1) der allgemeinen Systemtheorie sind Element, Relation, System und Umwelt. Unter einem *Element* wird eine gedanklich abgrenzbare Entität verstanden. *Relationen* sind Verbindungen zwischen Elementen. Eine *abgegrenzte Menge* an Elementen zusammen mit den Relationen, die zwischen ihnen bestehen, bildet ein System. Diese Abgrenzung weist auf eine weitere

¹⁰⁰ Luhmann beginnt seine Ausführungen häufig mit eher abstrakten Konzepten und spricht über seinen Ansatz z.T. auch selbst von einer »allgemeinen Systemtheorie« (Luhmann, 1991, S. 11, 15–18).

¹⁰¹ So z.B. ganz explizit bei Krieger (1996).

¹⁰² Vgl. Ropohl (1997, S. 156), Ropohl (2009a, S. 11) und Ropohl (2012, S. 43, 62, 136–144).

¹⁰³ Metaph., 981b; vgl. dazu ebenfalls Ropohl (2012, S. 25–26).

zentrale Idee der allgemeinen Systemtheorie hin: Systeme sind immer abgegrenzt von etwas, das nicht zu ihnen gehört; dieses wird als *Umwelt* des Systems bezeichnet.

Systeme lassen sich charakterisieren (2), indem ihre Elemente und Relationen genauer betrachtet werden. Dabei wird häufig der Begriff der *Kompliziertheit* mit den Systemelementen in Verbindung gebracht, während *Komplexität* sich den Relationen zuordnen lässt. Weiterhin lässt sich unterscheiden zwischen einer qualitativen Kompliziertheit, welche die Anzahl an *unterschiedlichen* Elementen bezeichnen soll, und einer quantitativen Kompliziertheit, welche die *gesamte* Anzahl an Elementen eines Systems umfasst. Auch die Komplexität lässt sich analog in eine qualitative und eine quantitative unterteilen. Die qualitative Komplexität beschreibt die Anzahl unterschiedlicher Verbindungen, die quantitative die gesamte Anzahl an Verbindungen.¹⁰⁴ Über diese grundlegenden Systemcharakterisierungen hinaus finden sich in der systemtheoretischen und systemtechnischen Literatur auch andere und teilweise noch feingliedrigere Charakterisierungen.¹⁰⁵ Für die vorliegende philosophische Arbeit genügen allerdings die angeführten Begriffe. Denn bereits damit lassen sich grundlegende Zusammenhänge deutlich machen: Mit der Anzahl an Elementen steigt die Anzahl an möglichen Systembildungen aus diesen Elementen stark an. Für den einfachen Fall einer Unterteilung in n Elemente, die zu Systemen aus insgesamt k Elementen (quantitative Kompliziertheit) linear arrangiert werden sollen, wobei die Reihenfolge beachtet wird und zusätzlich zugelassen wird, dass gleichartige Elemente mehrfach vorkommen können, lassen sich n^k Systeme bilden. Für einen Vorrat (n) von zehn Elementen, die zu Systemen aus je fünf Elementen angeordnet werden (k), ergeben sich 100.000 Kombinationen. Wird der Vorrat auf 50 erhöht, sind es bereits 312.500.000 mögliche Systeme. Dies entspricht in der Kombinatorik dem Fall »Variationen mit Wiederholung«. Das Vorgehen zur Berechnung für verschiedene Fälle (mit/ohne Wiederholung, mit/ohne Beachtung der Reihenfolge etc.) kann leicht in der Fachliteratur aufgefunden werden (Beeler, 2015). Nun lassen sich Elemente jedoch nicht nur in einer Reihe anordnen, wie in diesem Beispiel, sondern auch in verzweigten oder kreisförmigen Strukturen. Daher steigt die insgesamt mögliche Komplexität für eine Systembildung im Allgemeinen nicht linear. Für Systeme mit k Elementen gilt für die mögliche quantitative Komplexität $k \cdot (k - 1)$ (Ropohl, 2012, S. 72);¹⁰⁶ d.h. für viele Elemente steigt sie in etwa quadratisch (k^2) mit der Elementanzahl. Große Systeme, d.h. solche aus vielen Elementen, sind damit potentiell überproportional komplexer als kleine.

¹⁰⁴ Ropohl (2012, S. 71–72, 91, 94) führt dagegen Kompliziertheit und Komplexität lediglich auf die Anzahl zurück (was ich »quantitativ« genannt habe), nicht auf unterschiedliche Arten an Elementen bzw. Verbindungen.

¹⁰⁵ Eine etwas abweichende Klassifikation liefert z.B. Bruns (1991, S. 54). Dort ist der Überbegriff Komplexität; dieser unterteilt sich in Varietät (was ich unterteile in Arten und Anzahl an Elementen) und Konnektivität (was ich unterteile in Arten der Beziehungen und Anzahl der Beziehungen).

¹⁰⁶ Die in dieser Weise kommentarlos von Ropohl dargestellte maximale Komplexität C_{max} gilt jedoch nur für gerichtete Relationen, d.h. wenn die Beziehung von Element x zu Element y nicht als identisch zur Beziehung von y zu x gewertet wird. Geht man dagegen von nicht-gerichteten Relationen aus, entspricht dies der Kantenzahl in der Graphentheorie und es gilt: $0,5 \cdot k \cdot (k - 1)$, die Größe halbiert sich also. Die grundlegende Einsicht bleibt jedoch erhalten: Mit der Anzahl an Systemelementen steigt die potentielle Komplexität überproportional.

Zudem lassen sich drei Auffassungen von Systemen formulieren (3), diese sind das strukturelle, das funktionale und das hierarchische Systemkonzept (Ropohl, 2012, S. 56–57). Beim *strukturellen Systemkonzept* werden Systeme über Elemente und ihre Verknüpfungen erfasst und entsprechend charakterisiert. Es geht darum, wie Systeme aufgebaut sind. Mathematisch korrespondiert dem strukturellen Systemkonzept die Graphentheorie. Bisher stand v.a. diese Systemauffassung im Vordergrund, da sie für den entwickelten Gedankengang besonders wichtig ist. Das *funktionale Systemkonzept* setzt Eingangs- und Ausgangsgrößen von Systemen zueinander in Beziehung, ggf. noch erweitert um Zustandsgrößen, die innere Zustände des Systems beschreiben. Das mathematische Gegenstück hierzu ist die Analysis. Zuletzt ist das *hierarchische Systemkonzept* zu nennen. Es beschreibt das Enthaltensein von weiteren, allerdings niedrigstufigeren Systemen im betrachteten System wie auch das Enthaltensein vom betrachteten System in übergeordneten Systemen. Untergeordnete, enthaltene Systeme werden als *Subsysteme* bezeichnet; übergeordnete, enthaltende Systeme als *Supersysteme*. Das hierarchische Systemkonzept profitiert von der Sprache der mathematischen Mengenlehre.¹⁰⁷

2.3.2 Technik als System

Aufgrund der äußerst formalen Ausrichtung der allgemeinen Systemtheorie lässt sie sich – wie auf vieles andere – auch auf Technik anwenden. Hinzu kommt, dass die Systemtheorie ropohlscher Prägung, auf die ich mich primär beziehe, direkt aus einer Meta-Theorie der Technik hervorgegangen ist, aus einer »Technologie« in Ropohls Wortverwendung (Ropohl, 2009a). Auch die Quellen, aus denen Ropohl schöpft, stammen zu einem großen Teil aus den Technikwissenschaften im weiteren Sinne, so z.B. die Kybernetik und die Systemtechnik (Ropohl, 2012, S. 29–30). Und was hier über Ropohls Systemtheorie gesagt wurde, gilt analog für die eng verwandte »Allgemeine Technologie« von Horst Wolffgramm, die auch, wie der Name bereits nahelegt, eine Theorie der Technik darstellt (Wolffgramm, 1978; Wolffgramm, 2012).¹⁰⁸ Es ist daher nicht erstaunlich, dass die solchermaßen techniknah gewonnenen Begrifflichkeiten wiederum gut auf technische Gegenstände passen.

Die bisher diskutierten Elemente technischen Denkens können also auch systemtheoretisch abgebildet werden. Kausale Abhängigkeiten lassen sich durch Graphen dar-

¹⁰⁷ Gegen den möglichen Einwand, dass mit der ropohlschen Systemtheorie an einer gegenwärtig nicht mehr maßgeblichen Position angeknüpft wird, lässt sich entgegnen, dass auch aktuell sehr ähnliche Begrifflichkeiten und Schemata in Anschlag gebracht werden. Ich verweise exemplarisch auf Luciano Floridis Informationsphilosophie. Bei Floridi (2011, S. 46–79) ist etwa von einer »method of levels of abstraction« die Rede; diese deckt sich weitestgehend mit dem hierarchischen Systemkonzept. Die entsprechenden Begrifflichkeiten sind damit keinesfalls überholt. Einen Bezug auf Ropohl halte ich zudem für gerechtfertigt, da ich eine technikphilosophische Position ausarbeite und in der deutschsprachigen Technikphilosophie Ropohls Gedanken weiterhin durchaus präsent sind.

¹⁰⁸ Ropohl weist in seiner überarbeiteten Habilitationsschrift auch darauf hin, dass Wolffgramm unabhängig von ihm zu sehr ähnlichen Einsichten gekommen sei, ihm jedoch dessen Arbeiten bei der Erstabfassung nicht bekannt gewesen seien (Ropohl, 2009a, S. 124, Fn. 2).