

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.<sup>107</sup>

### 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).<sup>108</sup> 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).

stellen,<sup>109</sup> die wiederum dem strukturalen Systemkonzept entsprechen. Die Quantifizierung kausaler Effekte und v.a. ihre Formulierung als mathematische Abhängigkeiten können durch das funktionale Systemkonzept ausgedrückt werden. Ebenso lassen sich die verschiedenen Theorieformen der Technikwissenschaften durch das funktionale Systemkonzept abdecken. In der Tat ist die technikwissenschaftliche Theoriebildung durchsetzt mit systemtheoretischen Begriffen. Etwa in der technischen Thermodynamik und der Fluidmechanik gehört das Arbeiten mit »Systemgrenzen« zum alltäglichen Werkzeug.<sup>110</sup> Eine auch für die Technikwissenschaften anschlussfähige Technikphilosophie kann daher kaum die Systemperspektive vernachlässigen.

Neben einer möglichen Einordnung technikwissenschaftlicher Theoriebildung soll die Systemperspektive hier allerdings primär zur Analyse von Artefakten und Prozessen herangezogen werden. Dies erlaubt es, die bisherige Diskussion um wichtige Aspekte zu erweitern. Hierfür wird in erster Linie auf das strukturelle, mittelbar jedoch auch auf das hierarchische und das funktionale Systemkonzept zurückgegriffen.

Bevor aber technische Systembildungen betrachtet werden, bietet sich ein Blick auf ein Beispiel an, das sich zentrale Charakteristika mit der Technik teilt: das Lego-Spiel. Es besteht bekanntlich aus unterschiedlichen, jedoch vielfältig kombinierbaren Bausteinen. Aus diesem Grund lassen sich aus vergleichsweise wenigen unterschiedlichen Steinen viele Kombinationen bilden und variable physische Gegenstände zusammenbauen.<sup>111</sup> Dies lässt sich auch systemtheoretisch ausdrücken. Ein Vorrat von nur einem Lego-Stein ermöglicht noch keine gehaltvolle Systembildung: sein einzig mögliches System besteht aus ihm selbst; hierbei ist die Kompliziertheit (qualitativ wie quantitativ) eins und die Komplexität (qualitativ wie quantitativ) null. Sobald man jedoch weitere gleichartige Steine hinzunimmt, lassen sich bereits vielfältige Kombinationen realisieren. Und wenn der Vorrat noch um unterschiedliche Elemente erweitert wird, steigert sich zusätzlich das Potential zur Bildung verschiedener Systeme. Noch ein weiterer Aspekt kommt hinzu: Es kann zwischen gleichartigen Elementen ganz unterschiedliche Relationen geben. Lego-Steine können im 90°-Winkel, aber auch parallel verbaut werden. Und selbst wenn längliche Elemente parallel verbaut werden, erlauben etwa klassische 2x4-Steine eine Verbindung, bei der vom unteren Stein zwei, vier, sechs oder acht Noppen in den oberen greifen. Im Vergleich zu vielen Denkmodellen der Kombinatorik, in denen nur lineare Anordnungen, wie etwa bei Zahlenreihen oder Spielkarten, betrachtet werden, ermöglicht das Lego-Spiel bereits eine erheblich höhere qualitative Komplexität. Die Menge möglicher Variationen steigt damit noch deutlich stärker als kombinatorische Abschätzungen nahelegen. Es lohnt sich, dies extra zu betonen, da immer wieder einfache kombinatorische Überlegungen direkt auf die Technik

<sup>109</sup> Ich verweise exemplarisch auf Baumgartner und Graßhoff (2004, bes. S. 59–67, auch S. 122–159, 253–263, 281–302) sowie Pearl (2009, S. 13, 15, 18, 23, 28 etc.).

<sup>110</sup> Vincenti (1993, S. 112–136) weist darauf hin, dass die Kontrollvolumenmethode (»control-volume analysis«), die ebenfalls auf dem gezielten Ziehen von Systemgrenzen beruht, sogar als spezifisch technikwissenschaftliche Form der Theoriebildung aufzufassen ist.

<sup>111</sup> Lego wird daher häufig zur Illustration unterschiedlicher Zusammenhänge herangezogen. In Jo-stein Gaarders erfolgreichem Kinder- und Jugendbuch *Sofies Welt* wird damit beispielsweise an die antik-griechische Atomtheorie herangeführt (Gaarder, 1993, S. 54–57). Weitere philosophische Ge-halte des Lego-Spiels loten Cook und Bacharach (2017) aus.

angewendet werden, ein Phänomenbereich, der noch weit mehr Wechselwirkungen erlaubt als das Lego-Spiel.<sup>112</sup>

Damit aber explizit zur Technik: Ingenieur\*innen operieren – ähnlich wie Kinder beim Lego-Spiel – mit einzelnen Elementen, die Basis ganz unterschiedlicher zusammengesetzter Gebilde sein können. Bereits antike Autoren stellten fest, dass sich ihre mechanischen Techniken auf »einfache Maschinen« oder »Basismechanismen« zurückführen lassen (Usher, 1988, S. 120–122).<sup>113</sup> Je nach Quelle sind diese einfachen Maschinen z.B. Seil bzw. Stab (ändert den Angriffspunkt einer Kraft), Rolle (ändert die Richtung einer Kraft) und schiefe Ebene bzw. Keil (ändert Betrag und Richtung einer Kraft) (Bureau of Naval Personnel, 1991). Eine Schraube entstünde damit aus der Kombination aus einem Stab und einer schiefen Ebene, wobei die schiefe Ebene als um den Stab gewickelt verstanden werden kann. Die Idee einzelner Basismechanismen spielte über die Jahrhunderte eine wichtige Rolle in der Lehre der Technikwissenschaften. So wurde etwa im 19. Jahrhundert Christopher Polhems Modellsammlung und seine Idee eines damit dargestellten »mechanischen Alphabets« bekannt (Ferguson, 1994, S. 137–142, 216). Noch heute hören Studierende des Maschinenbaus Vorlesungen zum Thema »Maschinenelemente« (Wittel, Jannasch, Voßiek und Spura, 2017), ein Feld, in dem die entsprechenden materiellen Elemente wie auch die zugehörigen Berechnungs- und Auslegungsmethoden gelehrt werden. Als Maschinenelemente zählen beispielsweise Schrauben, Stifte, Schweiß- und Lötverbindungen, Passfedern, Zahnräder, Wellen, Kupplungen, Lager oder Schmiermittel. Analog trägt ein Standardwerk in der Verfahrenstechnik den Titel *Elemente des Apparatebaues* (Titze und Wilke, 1992). Dort werden neben Werkstoffen etwa Böden und Mäntel als Bestandteile von Behältern, Füße und Zargen zum Aufstellen von Behältern, Anschlüsse und Dichtungen, Verschlüsse und Armaturen, Rohrleitungen und Bühnen diskutiert; daneben jedoch auch ganze Apparatetypen: Kolonnen, Wärmetauscher, Trockner, Rührbehälter etc.

Interessanterweise lässt sich eine entsprechende Aufteilung in Elemente auf unterschiedlichen Ebenen durchführen. Eine Pumpe zum Fördern von Flüssigkeiten ist etwa aus Gehäuseteilen, Schrauben, Dichtungen, einer Welle und einem Rotor aufgebaut. Diese Pumpe kann ihrerseits jedoch wiederum Teil einer technischen Anlage sein, z.B. im Rahmen eines verfahrenstechnischen Prozesses, in dem sie mit Rohrleitungen und Kesseln – also weiteren Elementen – kombiniert wird. Die betreffende Anlage kann abermals Bestandteil eines größeren Zusammenhangs sein, etwa eines Anlagenverbundes, in Bezug auf den sie ein Subsystem darstellt (Ropohl, 2009a, S. 122). Zusammenhänge dieser Art werden über das hierarchische Systemkonzept abgebildet.

Weiterhin ist zu beachten, dass neue technische Artefakte nicht nur im Bereich des Mechanischen aus vorher bereits existierenden Elementen zusammengesetzt sind; dies gilt ebenso für elektronische Techniken. Die Elemente hierbei sind beispielsweise Leiterbahnen, Widerstände, Transistoren und Dioden. Jedoch nicht immer liegen die beteiligten Elemente in einer solch diskreten, klar abgrenzbaren Form vor. Ich würde etwa auch bei pharmazeutischen Produkten von technischen Artefakten sprechen. Denkt man an

<sup>112</sup> Solche Rekurse auf basale Kombinatorik finden sich etwa bei Lenk und Moser (1973, S. 106) oder bei Arthur (2009, S. 172–174).

<sup>113</sup> Einige der folgenden Textpassagen entstammen aus Kuhn (2019).

eine Kopfschmerztablette, liefern die Inhaltsstoffe eine mögliche Einteilung in Elemente, also z.B. der Wirkstoff Aspirin (chemisch: Acetylsalicylsäure) sowie weitere Hilfsstoffe (z.B. Cellulose, Lactose oder Stärke), die zusammen zu einer Tablette verpresst werden. Für manche Produktgruppen sind sogar die zulässigen Elemente gesetzlich vorgeschrieben. Typisch hierfür ist das deutsche Reinheitsgebot, welches die Zutaten festlegt, die beim Bierbrauen zum Einsatz kommen dürfen. Noch ein Kommentar zu den beiden zuletzt genannten Beispielen: Medikamente wie auch Nahrungsmittel betrachte ich explizit als Techniken, als funktionale physische Artefakte. Bei Pharmazeutika ist dies relativ eindeutig. Sie basieren auf verlässlichen Kausalitäten, die wirken, ob man sich ihrer bewusst ist oder nicht; dies unterscheidet sie von Placebos, deren Wirkung – zumindest zu einem gewissen Grad – deutungs- und glaubensabhängig ist. Nahrungsmittel stellen dagegen üblicherweise Mischformen dar, jedoch mit ausgeprägten technischen Anteilen. Ihre Sättigungsfunktion erfüllen sie auch dann, wenn man nicht darauf achtet.<sup>114</sup> Ähnlich verhält es sich mit der berauschenenden Wirkung des Bieres. Darüber hinaus haben Nahrungsmittel jedoch auch eine ästhetische Dimension, die erst bewussten Wahrnehmungs- und Deutungstätigkeiten zugänglich wird, wie eingangs für das Beispiel Kaffee skizziert.<sup>115</sup>

### 2.3.3 Technikstile

Die vorangegangenen Ausführungen legen ein Problem nahe: Es ist eine unüberblickbare Vielfalt technischer Systembildungen möglich; bereits wenige Elemente lassen eine Vielzahl an Kombinationen zu. Selbst die Systematisierungen<sup>116</sup> in nur einer Subdisziplin, etwa dem Maschinenbau oder der Verfahrenstechnik, weisen eine so große qualitative Kompliziertheit – also Anzahl an unterschiedlichen Elementen – auf, dass aus der Systemperspektive kaum verständlich wird, wie Ingenieur\*innen sich darin orientieren und damit arbeiten können. Um die Frage nach dem Umgang mit dieser Vielzahl an Optionen zu beantworten, möchte ich auf zwei Konzepte aus der Wissenschaftstheorie zurückgreifen: auf Paradigmen und Stile. Der Paradigmenbegriff, wie ihn Kuhn (1962/1970) einführt,<sup>117</sup> umfasst allerdings verschiedene, teils deutlich abweichende Bedeutungen, was Margaret Masterman (1970) bereits früh gezeigt hat.<sup>118</sup> Von Kuhns Verwendungsweisen scheinen mir zwei zentral: erstens, Paradigmen als spezifische Beispiele erfolg-

---

<sup>114</sup> Dies ist übrigens ein Beispiel, welches auch Hume im Rahmen seiner Überlegungen zur Kausalität diskutiert (Hume, 1748/2007, Sec. IV, Part 1, S. 20).

<sup>115</sup> Vgl. Abschnitt 1.5. Ähnliche Mischformen aus Technik und Kunst wurden oben bereits in der Architektur und im Design angetroffen; siehe Abschnitt 2.1.6. Auch viele Nahrungsmittel könnten daher mit Fug und Recht als Design-Gegenstände bezeichnet werden.

<sup>116</sup> Um begriffliche Verwirrungen zu vermeiden: Ich verwende *Systematisierung* für die Aufteilung eines Phänomenbereichs in Elemente und *Systembildung* für die Zusammenstellung eines spezifischen Systems aus einem Vorrat an Elementen.

<sup>117</sup> Wie Blumenberg (1981b) zeigt, wird der Ausdruck allerdings in einem sehr ähnlichen Sinn bereits von Lichtenberg gebraucht; für ihn hat etwa die kopernikanische Physik die Rolle eines richtungsweisenden Beispiels, das er als »Paradigma« bezeichnet.

<sup>118</sup> Konkret meint Masterman, in Kuhns »quasi-poetic style« mindestens 21 unterschiedliche Verwendungen identifizieren zu können: »[H]e uses ›paradigm‹ in not less than twenty-one different senses in his [1962], possibly more, not less.« (Masterman, 1970, S. 61)