

(abhängig vom vorliegenden Umgebungsdruck) siedet. Zudem lassen sich – auch abhängig von den Umgebungsbedingungen – weitere Stoffwerte entnehmen, aus denen sich die nötigen Energien errechnen lassen, etwa die Wärmekapazität von Wasser oder die Phasenänderungsenthalpie von Wasser. Mit der Wärmezufuhr-Siede-Kausalität alleine lässt sich bei weitem noch kein technischer Dampferzeuger planen und auslegen, mit den genannten Stoffdaten ist man diesbezüglich schon einen entscheidenden Schritt weiter.

Die Reihe an Beispielen lässt sich nahezu beliebig fortsetzen. Es geht nicht nur darum, *dass* bestimmte Legierungselemente die Korrosionsbeständigkeit erhöhen, sondern auch darum, *welche Menge* eines Elementes die Beständigkeit wie stark steigert. Es ist nicht nur relevant, *dass* eine bestimmte Behandlung einen Werkstoff härter oder spröder macht, sondern auch, *welches Ausmaß* der Behandlung diese Eigenschaften wie stark erhöht. Es geht nicht nur darum, *dass* ein bestimmter Druck einen Kessel zum Bersten bringt, sondern auch darum, *wie groß* dieser Druck für einen bestimmten Behälter ist. Es ist nicht nur wichtig, *dass* die Fehler- und Ausfallwahrscheinlichkeit einer Festplatte mit ihrem Alter steigt, sondern konkret darum, *wie hoch* die Wahrscheinlichkeit für ein bestimmtes Alter ist; und so weiter.

Dabei genügen jedoch selten die reinen Daten. Häufig fließen empirisch erhobene Daten in Berechnungsvorschriften ein, mit denen dann erst bestimmte Fragestellungen adäquat gelöst werden können. So enthält die bekannte »Kesselformel«, mit der sich in erster Näherung die Wandstärke eines dünnwandigen Behälters oder Rohres unter Innendruck berechnen lässt, den vorliegenden Innendruck, den mittleren Durchmesser sowie die zulässige Spannung, welcher der Werkstoff – meist ein Stahl – ausgesetzt werden kann. Hiermit lässt sich dann abschätzungsweise die minimal benötigte Wandstärke des Kessels oder Rohres berechnen, wobei dieses vorläufige Ergebnis anschließend noch durch weitere Korrekturfaktoren ergänzt werden muss – hierauf wird zurückzukommen sein. Technisches Wissen ist also ohne empirisch erhobene Daten sowie empirisch bewährte Berechnungsvorschriften kaum denkbar. Die Spezifika dieser Elemente in den Ingenieurwissenschaften sollen nun im Kontrast zu naturwissenschaftlichem Wissen in den Blick genommen werden.

2.2.4 Natur- und Technikwissenschaften

Auch in den Naturwissenschaften wird empirisch gearbeitet; es werden Daten erhoben und Zusammenhänge aufgedeckt, die sich gegebenenfalls in mathematischen Gleichungen niederschlagen. Dies mag die immer noch anzutreffende Meinung vom Ingenieurwesen als einer angewandten Naturwissenschaft nachvollziehbar machen oder auch Befunde, die ein komplettes Verschmelzen beider Disziplinen konstatieren. Allerdings möchte ich auch hier an meiner oben vorgenommenen Sortierung festhalten: Die Naturwissenschaften ordne ich dem Erkenntnis-Pol zu, die Technikwissenschaften der Praxis der Beeinflussung und Veränderung der physischen Welt.

Doch dieser strikten Gegenüberstellung mag man mit verschiedenen Kritikpunkten begegnen. Denn es ist gerade kennzeichnend für die modernen Naturwissenschaften, die sich seit der Renaissance herausgebildet haben, dass sie ihre Erkenntnisse durch Beobachtung und Experiment gewinnen bzw. überprüfen. Dies impliziert jedoch ebenfalls

eine Wechselwirkung mit der Natur und häufig ihre Beeinflussung. Und sowohl Beobachtung als auch Experiment sind üblicherweise auf spezielle Instrumente – und damit technische Artefakte – angewiesen.⁸⁶ Vor diesem Hintergrund der immer engeren Wechselwirkungen zwischen Natur- und Ingenieurwissenschaften ist es durchaus verständlich, dass aktuell z.T. ein Verschmelzen beider Disziplinen konstatiert wird; die Rede ist dann häufig nur noch von »Technoscience«, eine Bezeichnung, die u.a. durch Bruno Latour (1987) und Donna Haraway (1991, S. 128, 124, 185, 198) bekannt wurde und die auch heute noch rege verwendet wird.⁸⁷ In manchen Spielarten der Techniksoziologie ist sogar nur noch von einem »seamless web« (Bijker, Hughes und Pinch, 1993, S. 3, 9–10) die Rede, in dem diverse Einflüsse »nahtlos« verknüpft seien. Solche Redeweisen mögen bestimmte Konstellationen in den Blick heben, verkennen aber insgesamt den Unterschied zwischen empirischer und begrifflicher Arbeit. Es mag empirisch häufig der Fall sein, dass sich verschiedene Disziplinen stark überlappen oder intensiv austauschen. Jedoch lässt sich eine solche Diagnose überhaupt nur gehaltvoll formulieren, wenn angegeben werden kann, was hier verschmilzt, sich überlappt oder sich austauscht.⁸⁸ Ich möchte daher an einer vergleichsweise trennscharfen Unterscheidung zwischen Natur- und Technikwissenschaften festhalten, die sich zumindest begrifflich formulieren lässt – aber auch immer noch empirisch tragfähig ist.

Die Natur- und Technikwissenschaften bringen auch heute zu einem großen Teil unterschiedliche Ergebnisse hervor. Denn beide sind in unterschiedliche Praktiken eingelassen, die sie prägen und vor deren Hintergrund überhaupt erst formulierbar wird, was als eine relevante Fragestellung im jeweiligen Feld gelten kann. In den Naturwissenschaften werden diese Praktiken am einflussreichsten als »Stile« (Fleck, 1935/2017) oder »Paradigmen« (Kuhn, 1962/1970) bezeichnet. Wenn Paradigmen oder Stile also die Fragen prägen, die die Naturwissenschaften stellen, führen unterschiedliche Fragestile auch zu unterschiedlichen Antworten. Es besteht somit ein Zusammenhang zwischen »Erkenntnis und Interesse« (Habermas, 1973). In diesem Sinne hat sich auch gezeigt, dass sich – je nach Frageparadigma – äußerst viele Erkenntnisse über die Welt gewinnen lassen, von denen erst einmal unklar ist, ob sie überhaupt erstrebenswert sind. Dies reicht vom sogenannten »unnützen« Wissen, dokumentiert in Büchern wie *Nutella hat Lichtschutzfaktor 9,7* (Pulpmedia, 2012), bis zu moralisch problematischen Formen von Wissen, die zur Forderung einer Demokratisierung von Wissenschaft geführt haben (Kitcher, 2001; Kitcher, 2011).⁸⁹ Bei aller Pluralität an wissenschaftlichen Stilen, meine ich doch weiterhin eine Polarität zwischen den Interessen der Naturwissenschaften

86 Don Ihde spricht daher davon, dass die modernen Naturwissenschaften »instrument-embodied« sind (Ihde, 1993, S. 29, vgl. auch S. 72–78), also verkörpert in ihren Messinstrumenten.

87 Für eine Übersicht vgl. Häußling (2014).

88 In ähnlicher Absicht Kant (KrV, B 674): »Man gesteht: daß sich schwerlich *reine Erde, reines Wasser, reine Luft* etc. finde. Gleichwohl hat man die Begriffe davon doch nötig (die also, was die völlige Reinigkeit betrifft nur in der Vernunft ihren Ursprung haben), um den Anteil, den jede dieser Natursachen an der Erscheinung hat, gehörig zu bestimmen [...]«

89 Vgl. dazu auch Poser (2012, S. 209–216), der prägnant den Zusammenhang von Wissenschaft und Werten diskutiert; im deutschen Sprachraum sind ähnliche Gedanken u.a. bekannt geworden als »Finalisierung der Wissenschaft« (Böhme, van den Daele und Krohn, 1973).

und denen der Technikwissenschaften feststellen zu können. Denn den Naturwissenschaften geht es primär um die natürliche Welt, den Technikwissenschaften um die gemachte; in den Naturwissenschaften steht primär die Analyse im Vordergrund, in den Technikwissenschaften die Synthese neuer Artefakte und Prozesse. Da sich Natur- und Ingenieurwissenschaften also durch unterschiedliche Ziele auszeichnen und die Ziele bzw. die eingenommene Perspektive sich wiederum auf die gewonnenen Erkenntnisse auswirken, ist es höchst wahrscheinlich, dass sich beide Disziplinen auch in ihren konkreten Befunden sowie in ihren Theoriebildungen bzw. Systematisierungen unterscheiden.⁹⁰ Dieses abstrakte Argument schließt jedoch nicht aus, dass in diversen konkreten Fällen die Naturwissenschaften Tatsachen, Mechanismen und Zusammenhänge freilegen, die wiederum in die technikwissenschaftliche Theoriebildung einfließen und bei der Hervorbringung konkreter Artefakte helfen können. Es soll hier nicht die Wichtigkeit der Natur- für die Ingenieurwissenschaften bestritten, sondern primär auf ihre Arbeitsteilung aufmerksam gemacht werden.⁹¹

Neben dem Gehalt der Ergebnisse unterscheidet sich jedoch auch ihre *Form* in den Natur- und Technikwissenschaften. An dieser Stelle ist es hilfreich, auf die Unterscheidung zwischen phänomenologischen Gesetzen (»phenomenological laws«)⁹² und fundamentalen Gesetzen (»fundamental laws«) hinzuweisen, die Nancy Cartwright (1983) herausarbeitet. Demnach stimmen phänomenologische Gesetze gut mit spezifischen empirischen Befunden überein und erlauben verlässliche Vorhersagen von konkreten Zusammenhängen. Sie weisen jedoch eine geringere Erklärungskraft auf, da sie nicht in eine übergreifende Theorie oder ein Axiomensystem eingebettet sind. Anders fundamentale Gesetze: Diese sind tief in einem theoretischen Netzwerk verankert, allerdings um den Preis, für konkrete empirische Anwendungen weniger gut geeignet zu sein. In Cartwrights Worten (Cartwright, 1983, S. 3):

In modern physics, and I think in other exact sciences as well, phenomenological laws are meant to describe, and they often succeed reasonably well. But fundamental equations are meant to explain, and paradoxically enough the cost of explanatory power is descriptive adequacy. Really powerful explanatory laws of the sort found in theoretical physics do not state the truth.

In diesem Schema stehen die Technikwissenschaften der Ebene der phänomenologischen Zusammenhänge nahe; ihnen geht es um konkrete Artefakte, die der gesamten Komplexität der realen Welt ausgesetzt sind. Den Naturwissenschaften liegt dagegen häufig an fundamentalen Gesetzen. Entsprechend spielen ästhetische Kriterien wie Eleganz auch nur in den Naturwissenschaften eine Rolle (McAllister, 1996).⁹³ In den Technik-

90 Vgl. dazu auch Hubig (2006, S. 198), der ähnlich argumentiert.

91 Diverse Wechselwirkungen von Wissenschaft und Technik sind auch knapp und prägnant aufgeführt in Brooks (1994); vgl. dazu weiterhin Ihde (1997), Poser (1998) und Mildenberger (2006).

92 Dies ist hier allerdings ein *terminus technicus* aus der Wissenschaftstheorie und steht nicht direkt mit der husserlschen Phänomenologie in Verbindung. Zudem sind »Gesetze« hier weniger als »Naturgesetze« zu lesen, sondern eher als mathematische Gleichungen zu interpretieren.

93 Dies illustriert auch der folgende Scherz, den der fiktive Charakter Leonard Hofstadter in der populären Serie *The Big Bang Theory* erzählt: »A farmer has some chickens who don't lay any eggs.

wissenschaften werden dagegen Theorien am Maßstab der Zweckdienlichkeit, statt dem der Eleganz gemessen: »Denken im Dienste des Handelns«. ⁹⁴ Entsprechend bezeichnet Sandro Gaycken technisches Wissen als »technizitär« (Gaycken, 2009; Gaycken, 2010); das heißt: Kriterien, die für technische Artefakte und Prozesse gelten, greifen auch für technisches Wissen. Zentral sind hierbei Effizienz und Effektivität. Aus den gleichen Gründen spielen Heuristiken eine wichtige Rolle für das technische Arbeiten (Koen, 2003); was dabei zählt, ist nicht maximale Genauigkeit oder theoretische Kohärenz, sondern Zweckdienlichkeit für die Gestaltung funktionierender Techniken.

Ich will die spezifische Form technikwissenschaftlichen Theoretisierens noch durch zwei Beispiele illustrieren. Um die Wandstärke eines Gasbehälters auszulegen, ist es notwendig zu wissen, welcher Druck im Behälter herrschen wird, wenn – bei vorgegebener Größe und bekannter Umgebungstemperatur – eine gewisse Menge (d.h. Masse) an Gas eingefüllt wird. Kleine und symmetrisch aufgebaute Moleküle können dabei als ideales Gas betrachtet und durch die ideale Gasgleichung beschrieben werden. In technischen Anwendungen liegen jedoch häufig nicht-ideale Gase vor. Statt als Konsequenz aber tiefer in die Thermodynamik einzusteigen, ist es in den Ingenieurwissenschaften üblich, die ideale Gasgleichung durch einen »Realgasfaktor« zu korrigieren. Dieser theoretisch nicht sehr elegante Zug führt zu einer einfachen Gleichung, welche in einem bestimmten Gültigkeitsbereich Ergebnisse einer gewissen Genauigkeit liefert, die für viele praktische Zwecke genügen. ⁹⁵ Um nun – als zweites Beispiel – die benötigte Wandstärke zu berechnen, würde man die bereits angesprochene »Kesselformel« ⁹⁶ oder eine ähnliche Gleichung heranziehen. Die entsprechenden Gleichungen sind dabei ebenfalls mit empirischen Korrekturfaktoren versehen, um Nicht-Idealitäten zu berücksichtigen (wie sie z.B. durch Fertigungsungenauigkeiten, Schweißnähte in der Behälterwand oder durch Anschlüsse entstehen). Trotzdem wird gewöhnlich noch ein separater Sicherheitsaufschlag miteinbezogen, um Raum für weitere unbekannte Einflüsse – »unknown unknowns« in Donald Rumsfelds Worten – zu lassen, etwa die Möglichkeit, dass Nutzer*innen den Kessel stärker beanspruchen als vorgesehen. Auch die Arbeit mit Sicherheitsfaktoren ist typisch für die Ingenieurwissenschaften ⁹⁷ und zeigt abermals ein Verfahren, mit der Komplexität und Unvorhersehbarkeit der realen Welt umzugehen. ⁹⁸

An dieser Stelle bietet sich ein kleines Zwischenresümee an: Die Technikwissenschaften versuchen, technische Funktionen bereitzustellen und können dabei auch

The farmer calls a physicist to help. The physicist does some calculation and says ›I have a solution but it only works for spherical chickens in a vacuum!‹.« Der transkribierte Text findet sich unter: https://bigbangtheory.fandom.com/wiki/The_Joke (zuletzt abgerufen: 05.03.2022); der zugehörige Filmausschnitt ist unter folgendem Link verfügbar: <https://www.youtube.com/watch?v=ldOPpZ4OBKE> (zuletzt abgerufen: 05.03.2022). Ich bedanke mich bei Heiko Briesen, der mich auf diese treffende Popkultur-Referenz aufmerksam gemacht hat.

94 So lautet bereits der Untertitel von Gaycken (2009).

95 In Poppers Wissenschaftstheorie wäre diese »Korrektur« als typische Ad-hoc-Hypothese aufzufassen und damit als schlechte wissenschaftliche Praxis zu bezeichnen, da sie eine Falsifikation gezielt vermeidet; vgl. z.B. Popper (1935, bes. S. 13–14, 41–42).

96 Vgl. Abschnitt 2.2.3.

97 Hierauf weisen etwa Petroski (1992, S. 104) und Mildner (2006, S. 173) hin.

98 Sehr treffend spricht Gordon (1991, S. 64–65) daher auch von einem »factor of ignorance«.

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.«