

Zuletzt ist darauf hinzuweisen, dass es nicht nur zu komplettem technischem Versagen kommen kann. Erfahrungen mit der Nutzung von Technik können auch zu dem Befund führen, dass die Technik bestimmte Funktionen lediglich schlechter als erwartet erfüllt. Es geht damit nicht nur um die Frage: »failure« ja oder nein? Vielmehr muss häufig eine Bewertung in den Kategorien von »besser« oder »schlechter« vorgenommen werden. Denn neben ihren physisch verkörperten Kausalstrukturen sind Techniken – qua Funktion – immer in menschliche Praktiken eingebunden. Und als Teil solcher ergebnisoffenen und kontingenten Praktiken sind sie Gegenstand differenzierter Bewertungen. Paradigmatisch lässt sich hierbei – zumindest was Klein- und Haushaltstechniken angeht – an die Stiftung Warentest denken. Testberichte führen kaum je zu dem Fazit: »Diese Technik funktioniert überhaupt nicht.« Vielmehr werden verschiedene Kategorien danach bewertet, *inwieweit* sie erfüllt sind. Dies können Petroskis Begrifflichkeiten jedoch nicht abbilden.

Bei aller Kritik muss man Petroski jedoch zugutehalten: Mit seiner Analyse technischen Versagens gelingt es ihm, weitverbreitete Intuitionen über Technik einzufangen. Reale Versagensfälle machen zudem die Verantwortung deutlich, die Techniker\*innen zukommt, denn ihre Produkte und Prozesse sind direkt in die Lebenswelten von Menschen eingelassen und stellen daher potentiell auch Gefahrenquellen dar, die es weitestgehend zu minimieren gilt. Allerdings scheint »Versagen« eine zu globale Kategorie, um Aussagen über technisches Wissen und Können zu treffen. Es geht vielmehr darum, wie genau eine erfolgreiche Funktion zu fassen ist und in welchen Hinsichten es zu Versagen kommen kann. Dies lässt sich durch die Kausalitätstheorie genauer in den Blick nehmen.

### 2.2.2 Kausalverbindungen

Auf ihrer gegenständlichen Seite stellt Technik Funktionen durch verlässliche Kausalverbindungen bereit. Da es um technikwissenschaftliches Wissen und Können geht, muss an dieser Stelle nicht näher darauf eingegangen werden, *was* Kausalrelationen sind, sondern es genügt, darüber zu sprechen, *wie* sie aufzufinden sind.<sup>77</sup> Es geht also um ein empirisches Vorgehen, welches eine wichtige Rolle in den Ingenieurwissenschaften spielt.

Ich lege den Schwerpunkt dabei auf die sogenannte Differenzenmethode, die auf John Stuart Mill zurückgeht und Teil einer Gruppe verschiedener Verfahren ist, die heute häufig als »Mills Methoden« bezeichnet werden. Im achten Kapitel (»Of the Four Methods of Experimental Inquiry«) seines *System of Logic* (Mill, 1843/1872, S. 448–471) diskutiert Mill – dem Titel des Kapitels widersprechend – fünf Methoden, um Kausalrelationen aufzufinden, wobei er selbst bereits die letzten drei als Varianten seiner ersten beiden Methoden präsentiert. Diese beiden grundlegenden Verfahren sind die »Methode der Übereinstimmung« (»method of agreement«) und die »Differenzenmethode« (»method of difference«). Dabei lässt sich weiterhin zeigen, dass die Methode der Übereinstimmung ebenfalls auf die Differenzenmethode zurückführbar ist (Pietsch, 2014a).

77 Wobei es auch eine Vielzahl aktueller Arbeiten gibt, welche die Ontologie der Kausalität auf ihre Epistemologie reduzieren, d.h. auf die Idee: Wenn man weiß, *wie* man eine Kausalrelation auffindet, weiß man auch, *was* darunter zu verstehen ist; z. B. Cartwright (2007), Cartwright und Hardie (2012), Strevens (2013) und Pietsch (2014a).

Aus diesem Grund genügt es, die Differenzenmethode genauer zu diskutieren.<sup>78</sup> Zudem wurde bereits die Wichtigkeit der Differenzenmethode für die Ingenieurwissenschaften betont (Pietsch, 2014a; Pietsch, 2014b). Dies liefert ein weiteres Indiz, sich technischen Kausalitäten über diese Methode anzunähern.

Die Grundidee der Differenzenmethode besteht darin, dass diejenigen Faktoren als kausalitätsrelevant anzusehen sind, die einen Unterschied am Ergebnis hervorrufen. Heute ist daher in diesem Zusammenhang häufig von einem *difference maker* die Rede. Mill selbst illustriert dies wie folgt (Mill, 1843/1872, S. 454):

If a bird is taken from a cage, and instantly plunged into carbonic acid gas, the experimentalist may be fully assured (at all events after one or two repetitions) that no circumstance capable of causing suffocation had supervened in the interim, except the change from immersion in the atmosphere to immersion in carbonic acid gas.

Da hier also die Änderung der den Vogel umgebenden Gasatmosphäre die einzige Differenz darstellen soll, entspricht sie der kausalen Ursache für das Ersticken des Tieres.

Wobei sich hier natürlich weitere Fragen aufwerfen lassen. So ist es selten der Fall, dass sich wirklich nur *ein* Faktor ändert. In Mills Beispiel geht mit der Änderung der den Vogel umgebenden Atmosphäre ein Verstreichen von Zeit einher. Damit hat sich etwa die globale Planetenkonstellation geändert und der Metabolismus des Vogels hat weitergearbeitet. Die Atmosphärenänderung ist zudem mit einer Ortsänderung des Vogels und – in diesem Beispiel – mit einer Berührung des Tiers verbunden («... instantly plunged into ...»). Zudem werden selten Einzelfallerkenntnisse angestrebt. Die Experimentator\*in möchte hier vermutlich etwas darüber lernen, was Vögel dieser Art – oder Vögel allgemein oder Lebewesen mit Lunge – zum Überleben benötigen. Somit fließen bereits weitere Annahmen über die Ähnlichkeiten verschiedener Vögel – oder Lungenlebewesen – in die Interpretation der Ergebnisse ein. Die Anwendung der Differenzenmethode ruht also auf einem breiten Fundament an Hintergrundannahmen.

Trotzdem liegt dieses Vorgehen dem Alltagsverständnis von Kausalität wie auch verschiedenen empirischen Untersuchungspraktiken zugrunde. Betätige ich den Lichtschalter und erstrahlt nachfolgend die Zimmerlampe, wird das Schalten als Kausalursache für das Erleuchten erkannt, denn dies war – augenscheinlich – der einzige Unterschied in dieser Konstellation. Erfolgt ein Blitz einschlag in einen Heuschuppen, ist der Blitz als Ursache für das nachfolgende Feuer aufzufassen, denn der Blitz war hier der »difference maker«; ohne ihn hätte der Schuppen nicht Feuer gefangen.<sup>79</sup> Wendet man sich gezielten Untersuchungen von Kausalrelationen zu, ist prominent an das Testen von Pharmazeutika zu denken. Vereinfacht wird dabei einer Gruppe A der vermeintliche Wirkstoff verabreicht und einer Vergleichsgruppe B ein Placebo. Die Auswirkung, die sich bei Gruppe A zeigt, kann dann kausal auf das Pharmazeutikum zurückgeführt werden, wenn dies der einzige *relevante* Unterschied zwischen

78 Dies ist keine ungewöhnliche Akzentsetzung. In vielen gegenwärtigen Veröffentlichungen ist deshalb aus den gleichen Gründen nur noch von »Difference-Making« die Rede, um diesen Zugang zu charakterisieren.

79 Dieses Beispiel ist auch gut geeignet, um Mackies INUS-Bedingung zu illustrieren; einen Überblick geben Baumgartner und Graßhoff (2004, S. 93–113).

Gruppe A und B ist; wobei im Hintergrund die Annahme steht, dass sich die diversen weiteren Unterschiede zwischen beteiligten Individuen statistisch ausgleichen. Ähnliche Anwendungen der Differenzenmethode finden sich auch in typisch ingenieurwissenschaftlichen Kontexten.<sup>80</sup> Für viele Anwendungen ist die Korrosion von Stahl unerwünscht. Werden nun der Eisen-Kohlenstoff-Legierung Stahl weitere Elemente hinzugefügt und ihre Auswirkung auf die Korrosionsneigung untersucht, liegt eine typische Anwendung der Differenzenmethode vor. Dabei lässt sich z.B. feststellen, dass die Zugabe von Chrom ein *difference maker* ist und Korrosionserscheinungen weitgehend verhindern kann. Vincenti nennt analog die Methode der Parametervariation (»parameter variation«) bei technischen Entwicklungsaufgaben, konkret der Gestaltung von Flugzeugpropellern (Vincenti, 1993, Kap.5).<sup>81</sup> Dabei werden gezielt die Geometrie der Propeller sowie Betriebsparameter (z.B. die Rotationsgeschwindigkeit) verändert und ihre Auswirkungen auf das Ergebnis untersucht, etwa auf den resultierenden Schub oder die erzielbare Effizienz (S. 146). Weiterhin kommt die Differenzenmethode in der Analyse von Schadensfällen – und damit auch in der Zuschreibung von Verantwortlichkeiten – zum Einsatz. Auch hierbei wird nach den *difference makern* gesucht, also nach denjenigen Faktoren, ohne deren Vorliegen es zu keinem Schaden gekommen wäre.<sup>82</sup>

Im Rückblick auf die bisherigen Ausführungen wird deutlich: Für das erfolgreiche Operieren einer Technik sind gewöhnlich verschiedene Kausalrelationen wichtig. Dazu gehört mindestens eine erwünschte Kausalität, welche die Funktion der Technik gewährleistet: das Leuchten der Lampe, die Antriebsleistung des Flugzeugpropellers etc. Jedoch ist es für ein zuverlässiges Funktionieren ebenso unerlässlich, dass Störfaktoren ausgeschaltet bzw. minimiert werden. Nur so können Fehlfunktionen oder gar Versagens- oder Störfälle vermieden werden. Aus kausalitätstheoretischer Perspektive zeichnen sich erfolgreiche Techniken also auch dadurch aus, dass sie bestimmte Ursache-Wirkung-Ketten unterbrechen. Ein guter Tisch lässt »normale« auf ihn wirkende Kräfte nicht zu Ursachen werden, die ein Knicken seiner Füße als Wirkung haben. Ein legierter und damit korrosionsbeständiger (»rostfreier«) Stahl verhindert bestimmte Kausalketten, die zu (elektro-)chemischen Oberflächenreaktionen führen würden. Und diese Form der kausalen Verlässlichkeit ist selbst vielfach instrumentalisiert in den Technikwissenschaften. Sicherheitskontrollen und Prüfungen – in Deutschland beispielsweise durch die technischen Überwachungsvereine (TÜV) institutionalisiert – gewährleisten, dass gewünschte Funktionen verlässlich bereitgestellt und ungewünschte Auswirkungen unterdrückt werden, ein Vorgehen, das für viele Techniken – z.B. PKW – regelmäßig wiederholt wird. In den Materialwissenschaften wird die mechanische Langzeitverlässlichkeit, die sogenannte Zeitstandfestigkeit, durch ausgedehnte Belastungsproben experimentell untersucht sowie in sogenannten Wöhler- und Smith-Diagrammen dargestellt und ausgewertet. Auch Computerkomponenten, etwa Festplatten, werden auf ihre Ausfallwahrscheinlichkeiten analysiert. Die Angabe

80 Allerdings rechne ich auch Pharmazeutika eindeutig zu technischen Artefakten; ich komme darauf zurück.

81 Dies ist auch ein Beispiel, das Pietsch (2014a) für die Relevanz der Differenzenmethode in den Ingenieurwissenschaften anführt.

82 Dieses Beispiel findet sich ebenfalls bei Pietsch (2014a).

erfolgt dabei üblicherweise durch das AFR-Maß (*annualized failure rate*). Dabei kommen im Feld der *Reliability Analysis* anspruchsvolle statistische und wahrscheinlichkeitstheoretische Methoden zum Einsatz (Zacks, 1992; Pham, 2020); mittelbar basieren sie jedoch ebenfalls auf der diskutierten Differenzenmethode.

Trotz verschiedener theoretischer Bedenken scheint die Differenzenmethode in den Praktiken der Natur- und Technikwissenschaften also fest verankert zu sein und auch erfolgreich zum Einsatz zu kommen. Allerdings ist ein wichtiges Charakteristikum des kausalen Denkens an dieser Stelle noch nachzutragen. Dem *Difference-Making*-Ansatz liegt ein strikt phänomenaler Zugang zugrunde. Für das Etablieren von Kausalrelationen ist es nicht nötig, beliebig tief in die Phänomene einzudringen, diese weiter zu systematisieren oder auf höherrangige Theorien zurückzuführen.<sup>83</sup> Der kausale Zusammenhang zwischen dem Betätigen des Lichtschalters und dem Aufleuchten der Lampe lässt sich eindeutig über die Differenzenmethode bestimmen. Es ist hierfür nicht nötig, in die Mechanismen der Elektrizität, der Funktion von Leuchtdioden, der Theorie der Optik etc. vorzustoßen. Ebenso lassen sich erfolgreich Legierungselemente für Metalle auffinden, ohne sich tief auf die Metallchemie oder theoretische Werkstoffkunde einzulassen. Kausales Denken ist – für sich genommen – noch kein theoretisches Denken. Und eine weitere Eigenschaft hat kausales Denken alleine noch nicht: Es ist nicht quantitativ.<sup>84</sup> Über die Differenzenmethode lässt sich feststellen, *ob* ein Kausalzusammenhang vorliegt, jedoch nicht, *wie groß* der Effekt ist oder wie Ursachenstärke und Wirkungsstärke zusammenhängen. Gerade quantitative Informationen sind jedoch unerlässlich für die Technikwissenschaften.

### 2.2.3 Daten und Berechnungen

Bereits lange, bevor »Big Data« zum Schlagwort wurde, erhoben Techniker\*innen riesige Datenmengen. Als paradigmatisch betrachte ich hierbei den VDI-Wärmeatlas (Stephan u. a., 2019), ein Buch, das bereits einiges an physischer Evidenz für die Wichtigkeit quantitativer Daten in den Technikwissenschaften mitbringt. Die aktuellste Ausgabe von 2019 umfasst 2082 Seiten, die zumeist eng gedrängte Tabellen mit Stoffwerten aus den Feldern Thermodynamik und Wärmeübertragung zeigen.<sup>85</sup> Der VDI-Wärmeatlas erlaubt es damit – um ein etwas banales Beispiel heranzuziehen – weit über die reine Kausalbeziehung »Wärmezufuhr verursacht das Sieden von Wasser« hinauszugehen. Mit den tabellierten Daten kann genau angegeben werden, bei welchen Temperaturen Wasser

83 Nach dem hier entfalteten Kausalitätsverständnis könnte auch eine Welt, die nicht geschlossen von einem Satz (einfacher) Naturgesetze »beherrscht« wird, trotzdem verlässliche Kausalitäten aufweisen. Dies ist ein Gedankengang, der in der aktuellen Philosophie des Geistes im Kontext der Debatte um die Willensfreiheit ebenfalls eine wichtige Rolle spielt; vgl. z.B. Keil (2018).

84 Daher geht auch Vincenti (1993) in seinem Bericht über die Flugzeugpropellertests bereits über rein kausales Denken hinaus, wenn er von »data for design« spricht (S. 137–169).

85 Um die Evidenz noch weiter zu treiben: Die Printausgabe hat ein Gewicht von über 4 kg und kostet – aufgrund ihres gewichtigen Inhalts – neu 799 €. Der hohe Preis scheint schon daher gerechtfertigt, da das Werk bereits seit über 50 Jahren immer wieder neu aufgelegt und erweitert wird; jedoch gehen die Unmengen an Daten auf eine noch deutlich längere Zeitspanne zurück, in der sie in akribischer und teils sehr aufwändiger Laborarbeit erhoben wurden.