

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.⁸³ 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.⁸⁴ 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.⁸⁵ 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 Umfragen an Daten auf eine noch deutlich längere Zeitspanne zurück, in der sie in akribischer und teils sehr aufwändiger Laborarbeit erhoben wurden.

(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