Können eingehen, sollen daher hier resümiert werden. Es geht also um eine erste Antwort auf Vincentis Frage danach, »what engineers know and how they know it« (Vincenti, 1993). Diese Antwort wird vierteilig ausfallen und ein Lernen aus Schadensfällen, die Ermittlung von Kausalrelationen, die Erhebung von quantitativen Daten sowie die Wechselwirkung mit den Naturwissenschaften umfassen.

2.2.1 Technisches Versagen

Henry Petroski hat breitenwirksame Schriften zur Technik und zur technischen Gestaltung vorgelegt. Im Zentrum seiner verschiedenen Arbeiten steht dabei die Idee, dass technische Gestaltung die Aufgabe hat, aus Fehlern zu lernen und damit zukünftige Schadensfälle zu vermeiden. Umfassend wurde diese Position erstmalig ausgearbeitet in *To Engineer is Human* (Petroski, 1992). Knapp heißt es in einem späteren Buchbeitrag: »Failure is a central idea in engineering. In fact, one definition of engineering might be that it is the avoidance of failure.« (Petroski, 2000, S. 604) Wie verbreitet Petroskis Verständnis ist, sieht man auch an der Beschreibung, die der fiktive Protagonist Dick Simnel in Pratchetts Roman *Raising Steam* von seinem Vorgehen gibt. Mit Blick auf den Umgang mit Dampf und seine Gefahren äußert er (Pratchett, 2014, S. 255):

> You learn by your mistakes, if you're lucky, and I tried to make mistakes just to see ›ow that could be done, and although this is not the time to say it, you 'ave to be clever and you 'ave to be smart and you 'ave to be 'umble in the face of such power. You have to think of every little detail. You have to make notes and educate yourself and then, only then, steam becomes your friend.

Ähnlich spricht Walter Faber, Ich-Erzähler in Max Frischs *Homo faber*: »Jeder Apparat kann einmal versagen; es macht mich nur nervös, solange ich nicht weiß, warum.« (Frisch, 1977, S. 63) Und damit von fiktiven wieder zu realen Akteur*innen: In der aktuellen Studie von Poznic, Stacey, Hillerbrand und Eckert (2020, S. 17)[69] wird betont: »[J]et engine designers need to apply imagination to see where potential solutions might go wrong and make sure to test for anticipated failure modes.«

Das Lernen aus Schadensfällen kann als Petroskis Übertragung von Poppers Falsifikationismus[70] auf das Ingenieurwesen gelesen werden.[71] Wie Naturwissenschaftler*innen ihre Theorien an der Realität testen und korrigieren, wenn ihnen empirische Befunde widersprechen, so verbessern auch Techniker und Technikerinnen nach Petroski ihre Artefakte, falls diese scheitern: »Engineering failures may […] be viewed as disproved hypotheses.« (Petroski, 1992, S. 44)

Diese Position ist in verschiedenen Hinsichten problematisch. Der Bezug auf reale Schadensfälle hat bei Petroski zum Teil eine apologetische Funktion. Die menschli-

69 Diese wird unten in Abschnitt 3.4.10 im Detail diskutiert.

70 Zuerst und programmatisch formuliert in Popper (1935); später vielfach wieder aufgegriffen, ausgebaut und modifiziert; vgl. z.B. Popper (1963/2002) und Popper (1972/1979). Erhellend sind auch die zahlreichen neuen Anhänge in der englischen Ausgabe von Popper (1959/2002).

71 Auch wenn sich in Petroski (1992) noch kein Verweis auf Popper findet, stellt er diesen Bezug explizit – wenn auch nur am Rande – in Petroski (2000, S. 605) her.

https://doi.org/10.14361/9783839469521-015 https://www.inlibra.com/de/page/agb - Open Access - (cc) BY-NC

che Fehlbarkeit wird als Entlastungsgrund für technisches Versagen angeführt. Da die Fehleranfälligkeit von Techniken nie restlos zu antizipieren sei, plädiert Petroski für ein Verständnis gegenüber technischen Fehlern.[72] Allerdings unterläuft ihm damit ein Sein-Sollen-Fehlschluss.[73] Aus der Tatsache, dass Versagensfälle nicht immer vorhergesagt werden können, folgt nicht, dass man es nicht bestmöglich versuchen sollte. An dieser Stelle nähern sich damit deskriptive und normative Aussagen in einer unguten Weise an. Mindestens muss Pestroksi daher sprachliche Ungenauigkeit angelastet werden.

Und auch weitere Ungenauigkeiten lassen sich aufweisen. So scheint die Idee eines technischen Falsifikationismus generell einem Kategorienfehler aufzusitzen. In diesem Zusammenhang ist an die Type-Token-Unterscheidung zu erinnern.[74] Es ist je zu klären, worauf Bezug genommen wird, wenn von technischem Versagen die Rede ist. Geht es darum, dass *dieses konkrete* Artefakt (Token) defekt ist bzw. zerstört wurde, oder ist vielmehr die Rede davon, dass diese Art von Artefakt (Type) für eine bestimmte Verwendungsweise ungeeignet ist. Petroski scheint durchweg technische Tokens, also konkrete Artefakte, im Blick zu haben. In diesem Fall liegt jedoch zweifellos ein Kategorienfehler vor. Denn Theorien und Hypothesen können widerlegt werden, konkrete Artefakte und Prozesse nicht. Ein konkreter technischer Gegenstand ist weder wahr noch falsch, er *ist* einfach.[75] Jedoch lassen sich für jede Technik natürlich verschiedene Hypothesen formulieren; etwa: Dieses konkrete Artefakt (Token) ist eine korrekt hergestellte Instanz des zugehörigen Artefakt-Types. Oder: Dieser Artefakt-Type ist geeignet, um in dieser Situation verlässlich die Funktion f zu erfüllen. Hypothesen dieser Art sind wahrheitsfähige Aussagen und damit auch widerlegbar. Da sich jedoch für eine einzelne Technik eine Vielzahl an Hypothesen formulieren lassen, muss genau angegeben werden, welche Hypothesen mit einem Schadensfall als widerlegt betrachtet werden.

Noch entscheidender ist jedoch, dass technisches Versagen zwar Lektionen für zukünftige Gestaltungsprozesse bereithalten mag, dass diese Lektionen jedoch unbedingt vermieden werden sollten. Denn technisches Versagen involviert häufig Gefahren

---

72 Dies zieht sich insgesamt durch Petroski (1992) und zeigt sich bereits am Titel von Petroski (2012): »To Forgive Design«. Eine ähnliche Apologie der Ingenieurwissenschaften findet sich auch bei Florman (1994) und – allerdings deutlich moderater ausgeprägt – bei Ropohl (1985).

73 Auf die Sein-Sollen-Dichotomie komme ich in Kapitel 4 aus ethischer Perspektive zurück.

74 Die Type-Token-Unterscheidung, die häufig auch im Deutschen unter Rückgriff auf die englischen Begriffe verwendet wird, geht auf Charles Sanders Peirce zurück. Pierce führte die Unterscheidung anhand eines Beispiels aus dem Bereich der Sprache ein: »There will ordinarily be about twenty *the*s on a page, and of course they count as twenty words. In another sense of the word ›word,‹ however, there is but one word ›the‹ in the English language and it is impossible that this word should lie visibly on a page or be heard in any voice, for the reason that it is not a single thing or single event. It does not exist; it only determines things that do exist. Such a definitely significant Form, I propose to term a *Type*. A Single event which happens once and whose identity is limited to that one happening or a Single object or thing which is in some single place at any one instant of time, such event or thing being significant only as occurring just when and where it does, such as this or that word on a single line of a single page of a single copy of a book, I will venture to call a *Token*.« (Peirce, 1906, S. 505–506)

75 Analog äußert Nordmann: »Wahr und falsch können Sätze sein, die etwas über die Welt aussagen. Das Funktionieren eines Geräts ist nicht wahr oder falsch – das Gerät funktioniert oder es funktioniert nicht.« (Nordmann, 2011)

https://doi.org/10.14361/9783839469521-015 https://www.inlibra.com/de/page/agb - Open Access - (cc) BY-NC

für Leib und Leben. Dies illustrieren eindrücklich die von Petroski selbst angeführten Beispiele, etwa die kollabierenden »Hyatt Regency walkways« (1981) (Petroski, 1992, v.a. S. 85–93) sowie das Challenger Unglück (1986) (Petroski, 2012, S. 27–28, 271–273). Bezüglich der Wissenschaften mag man Popper zustimmen: »Every refutation should be regarded as a great success« (Popper, 1963/2002, S. 329). Wissenschaft heißt nach seinem Verständnis, Meinungsverschiedenheiten nicht gewaltsam zu entscheiden, sondern im rationalen Diskurs Theorien statt Menschen sterben zu lassen: »In früheren Zeiten wurde der Träger der Theorie ausgeschieden. Jetzt können wir unsere Theorien an unserer statt für uns sterben lassen.« (Popper, 1999, S. 58) Technik ist dagegen nicht in abstrakten Ideen, sondern in konkreten Gegenständen verkörpert, die in menschliche Lebenspraktiken eingelassen sind. Im Falle technischen Versagens geht es damit nicht nur darum, Theorien »sterben zu lassen«, sondern es geht potentiell um das Leben von Menschen. Es ist daher Wendt zuzustimmen, wenn er von Ingenieur*innen »ein besonders ausgeprägtes Verantwortungsbewußtsein« fordert (Wendt, 1982, S. 313–314); denn:

> Eine unvollkommene Theorie kann gegebenenfalls ohne großen Schaden für die Menschen korrigiert werden; der fehlerhafte Entwurf eines technischen Gebildes oder Verfahrens hingegen wird sicherlich unmittelbaren Schaden hervorrufen – in der Ökonomie, in den sozialen Folgen oder bezüglich Gesundheit und Leben der Menschen.

Mit Blick auf die konkrete Praxis der Technikwissenschaften zeigt sich auch, dass Petroskis Zugang in einer wichtigen Hinsicht unvollständig ist. Es gibt nämlich durchaus eine Klasse von technischen Versagensfällen, auf die seine Analysen recht gut passen: nämlich Laborexperimente. Diese reichen von klassischen Zug- und Dauerfestigkeitsversuchen in den Materialwissenschaften bis zu Experimenten mit gesamten technischen Artefakten, etwa Crashtests. Jedoch trifft Petroski keine klare Unterscheidung zwischen gezielten Versagenstests in einer kontrollierten Laborumgebung und realen Versagensfällen; besprochen werden zumeist nur letztere. Für kontrollierte Versuche gilt dabei, was für realweltliche Schadensfälle nicht zutrifft: Hier mag ein Lerneffekt vorliegen, der zugleich ungefährlich und damit nicht problematisch ist.[76] Allerdings fehlt es Petroski an einer systematischen Theorie technischen Wissens sowie an einem expliziten Verständnis des Gestaltungsprozesses. Es bleibt somit unklar, wie die Lektionen aus Praxis und Labor in den Gestaltungsprozess eingebracht werden können. Konkreter: Wie werden Erfahrungen mit Technik fruchtbar gemacht und auf *andere* Gegenstände übertragbar? Wenn Petroski also selbst davon spricht, es gehe darum »[to] properly anticipate the possible failure modes« (Petroski, 2007, S. 27) oder wenn es – wie eingangs zitiert – bei Poznic, Stacey, Hillerbrand und Eckert (2020, S. 17) heißt »to see where potential solutions might go wrong«, dann sind dies Aspekte, die innerhalb von Petroskis Theorierahmen nicht artikulierbar sind. Aussagen über zukünftige Techniken sind – so meine These – überhaupt erst vor dem Hintergrund einer Theorie technischer Fiktionen adäquat formulierbar, wie sie im folgenden Kapitel ausgearbeitet wird.

76 So lässt sich auch das angeführte Pratchett-Zitat deuten: als Lernen im Versuchs- oder Labormaßstab, wo Fehler ggf. gezielt herbeigeführt werden.

https://doi.org/10.14361/9783839469521-015 https://www.inlibra.com/de/page/agb - Open Access - (cc) BY-NC

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.[77] 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).

https://doi.org/10.14361/9783839469521-015 https://www.inlibra.com/de/page/agb - Open Access - (cc) BY-NC