

Begründung hat es übrigens in sich: sie ist nicht streng logisch, d. h., man kann aus der Implikation, dass aus A B folgt, nicht die Regel: »wenn Du B willst, tue A« ableiten. Aber probieren kann man es ja mal. Und interessanterweise scheint das doch ein – in den meisten Fällen – erfolgreiches Vorgehen zu sein. Doch wenn es praktisch zugeht, dann kann selbst ein Auszubildender den einen oder anderen Handgriff durchführen und eine Maschine bedienen, ohne eine dazu gehörende naturwissenschaftliche oder technikkwissenschaftliche Begründung zu kennen.

Dies hat dazu geführt, dass man im Ausbildungsbereich bis hin zur Wissenschaft Unterscheidungen danach trifft, ob man etwas nach den »Regeln der Kunst« oder wissenschaftlich betreibt. »Nach Regeln« bedeutet, dass man wie nach einer Bau- oder Bedienungsanleitung etwas zusammenbaut, repariert, in Gang setzt und bedient, was einer eher handwerklichen Tätigkeit entspricht. Ein neues Gerät aber, ein neues Verfahren oder eine neue Dienstleistung zu entwickeln geht heute nur noch aufgrund wissenschaftlicher Erkenntnisse – und das sind beileibe eben nicht nur naturwissenschaftliche Erkenntnisse, sondern, wie wir noch sehen werden, auch psychologische, organisatorische, soziologische, ökonomische und auch ethische Erkenntnisse.

Allerdings beginnt sich diese Unterscheidung, die sich in der früheren Trennung von Gestaltung (Design), Erfahrung und Kreativität einerseits und wissenschaftlichem Vorgehen in Form von Theorie, Experimenten und Tests andererseits niederschlägt, durch die Informatisierung der Technik mehr oder weniger aufzulösen. Immer mehr Geräte werden von der Informations- und Kommunikationstechnik durchdrungen, mehr als 70 % des Entwicklungsaufwandes gehen manchmal schon allein in die Programmierung. Dort herrschen weniger kausale als logische Zusammenhänge, die man berücksichtigen muss. Auf den untersten Ebenen des Programmierens darf man keine 0 mit 1 verwechseln und man muss strikt alle Regeln der Syntax der Programmiersprache einhalten. Aber wenn es um programmierbare Anwendungsmöglichkeiten von Computern oder Mikrocomputern

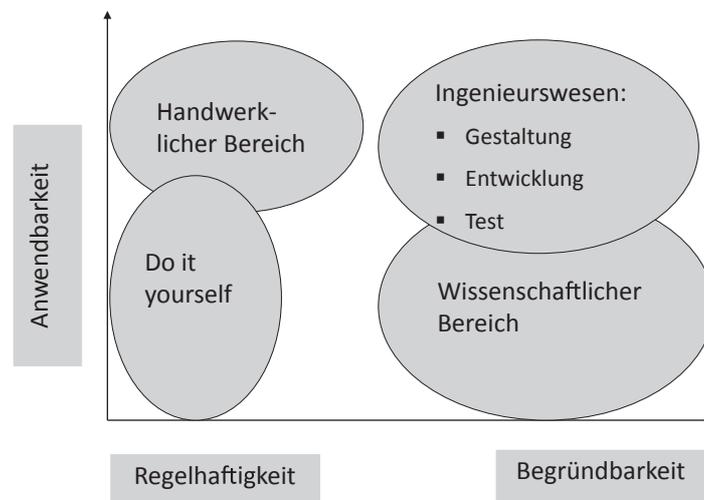
geht, heute Apps genannt, dann ist man in der Gestaltung viel freier als z. B. in der reinen Mechanik oder Elektrik. Allerdings machen diese gestiegenen Möglichkeiten die Bedienung für den Endnutzer dann komplizierter: Auch der künftige Kunde wird alle Möglichkeiten, die ihm eine Menüsteuerung eines Handys bieten, kaum wissen und ausschöpfen können. Eher lassen wir uns in solchen Fällen nicht von systematischem Wissen, sondern von Versuch und Irrtum, d. h. von der eigenen Bedienungserfahrung mit solchen Geräten leiten. Das führt dann zu ganz eigenen Regeln des Gebrauchs.

### Wenn's mal nicht funktioniert

Ein solches beliebtes Vorgehen hat jedoch seine Grenzen, wenn es mal nicht funktioniert. Selbst Hand anzulegen, führt heute meist schon bei einfacher Technik zur »Verschlimmbesserung«. Dann rennen wir zuerst zu einem Freund, der sich auskennt, oder wählen die – meist besetzte – Hotline oder schleppen das Gerät zum Service. Das letzte Hilfsmittel ist bekanntlich der Neukauf. Entsprechend nehmen die Kosten in der genannten Reihenfolge zu. Das hängt zum einen damit zusammen, dass das für die Aufgabe nötige Wissen genügend fundiert, und zum anderen, dass es auch anwendbar sein muss. Und da sieht man leicht, dass beides nicht das gleiche ist.

Man kann das wie in einem Portfolio anordnen (vgl. Bild 2.1): Das Do-it-yourself-Verfahren ist laienbasiert, d. h., wenn wir selbst etwas reparieren wollen, sind wir, auch wenn wir ausgebildete Ingenieure sein sollten, im jeweils anderen Fachgebiet doch mehr oder weniger Laien, die dort ihr dann eher intuitives Wissen wenig begründen können. Im wissenschaftlichen Bereich steht die Anwendbarkeit zunächst noch nicht so sehr im Vordergrund, auch wenn sie letztlich immer das Ziel technikwissenschaftlicher Bemühungen ist. Der handwerkliche Bereich ist erfahrungs- und regelbasiert, hier ist der praktische Erfolg entscheidend. Dazwischen liegt das Ingenieurwesen – nicht alles, was dort erfolgreich angewendet wird, ist schon

wissenschaftlich begründet und nicht alles, was wissenschaftlich bekannt ist, kann angewendet werden. Hier spielt die Gestaltung und die Kreativität eine große Rolle, es ist das große Gebiet der Entdeckungen und Erfindungen.



**Bild 2.1** Anwendbarkeit und Begründung

Wenn es also einmal nicht funktioniert, dann gehen wir im obigen Portfolio von links unten nach oben und dann nach rechts: Zuerst kommt das Regelwissen und erst dann das Begründungswissen, wenn es um die Praktikabilität geht. Das dürfte auch mit einer der Gründe sein, weshalb Handwerker sich ungern in theoretische Diskussionen verwickeln lassen und Ingenieure keine Grundsatzdebatten lieben, sofern sie sich nicht direkt auf Technik beziehen.

## Technisches Versagen

Aus Fehlern lernt man bekanntlich, und am billigsten ist dies, wenn man aus den Fehlern anderer lernt. Aus technischem Versagen kann man sehr wohl lernen und die meisten schubartigen Entwicklungen

in der Sicherheitstechnik verdanken ihre ersten Impulse technischen Havarien. Allerdings liegen die Ursachen der meisten großen wie kleinen technischen Katastrophen bei Brücken, Dämmen, Kernkraftwerken oder generell beim Verkehr in einer unauflösbaren Mischung von technischem, organisatorischem und menschlichem Versagen. Auf diese enge Verquickung kommen wir gleich zurück.

Lassen Sie mich einfach nur die Frage stellen, was es heißt, wenn etwas nicht funktioniert, wie es soll. Denn oftmals kann man ein schnelleres Verständnis für Technik entwickeln, wenn die Dinge nicht so funktionieren, wie wir sie gerne hätten. Betrachten wir also technisches Versagen etwas genauer.

Der Motor des Autos stottert – noch ein paar Fehlzündungen und die Karre bleibt mitten auf der Landstraße stehen – keine Reparaturwerkstätte weit und breit. Aber dafür vier hochkompetente Insassen – ein Ingenieur der Elektrotechnik, eine Kollegin aus dem Maschinenbau, ein Philosoph und eine Informatikerin. Der Elektrotechniker schlägt vor, sich die Bordelektrik vorzunehmen, denn nach den Abschiedsgeräuschen des Motors zu schließen, müsse das Stottern wohl an der Zündspule liegen. Die Kollegin vom Maschinenbau lächelt nur müde, schließlich handele es sich um einen Dieselmotor. Also müsse man den Motor auseinandernehmen, schlimmstenfalls das Getriebe. Während der Philosoph nochmals die Frage nach dem Ziel der Fahrt stellen will, fordert die Informatikerin alle auf, aus dem Auto zu steigen, den Zündschlüssel abzuziehen und abzuschließen, um dann aufzuschließen und das Auto erneut zu starten.

Jeder geht auf seine Weise mit Fehlfunktionen um – eben so, wie er es gelernt hat. Technisches Versagen ist ein perspektivischer Begriff – es kommt darauf an, wer ihn benutzt und in welchem Zusammenhang. Versagen bedeutet, dass man etwas erwartet hat, was nun nicht eintrifft – der Schalter wird angeknipst, aber das Licht geht nicht an. Die Birne ist kaputt – eine Verschleißerscheinung. Die Dinge altern, ihre Zuverlässigkeit (hinsichtlich eines definierten Funktionswunsches) nimmt mit der Zeit ab. Oder die Sicherung ist durchgebrannt – aus welchen Gründen auch immer – oder es ist

kein Strom im Netz da, weil der Sturm einen Strommasten geknickt hat.

Das Nichtfunktionieren enttäuscht unsere Erwartungen – aber es ist nicht die Technik, die sich uns verweigert, es ist nicht die Physik oder Chemie, die aus dem Ruder läuft, es sind nicht die Naturgesetze, sondern es sind die falsch gebauten Apparate, die fehlende Wartung, der Kurzschluss vorher, die mangelnde Stärke der Strommasten, weil wir mit solchen Stürmen nicht gerechnet haben.

Würden wir nach langem Nachdenken auch herausbekommen, dass wir einfach nur vergessen haben, die Stromrechnung zu bezahlen, dann würde man – etwas vollmundig – von menschlichen Versagen sprechen. Aber das ist nur die halbe Wahrheit.

## Menschliches Versagen

Man merkt schon, wo der philosophische Hase hinläuft: Technik ist von Menschen für Menschen gemacht – am Versagen ist nicht die Physik schuld, sondern letztlich, in der Kette der Ursachen, der Mensch. Das ist der Grund, weshalb alle technischen Katastrophen sogleich die Frage nach der Verantwortung und nach der Haftung nach sich ziehen. Selbst bei Naturkatastrophen ist dies der Fall – hätte man die Häuser in einem Erdbebengebiet nicht stabiler bauen sollen, hätte man das Kraftwerk auch gegen einen Tsunami mit Neun-Meter- statt nur gegen Sechs-Meter-Wellen absichern sollen, hätte man, hätte man... Die grammatikalische Form des Irrealis verrät, dass nichts mehr zu ändern ist, aber dass es da wohl schon einen Menschen, eine Firma oder eine Gruppe von Personen gegeben hat, die anders hätten handeln können und nun müssten sie für diese Versäumnisse einstehen. Freilich – hinterher ist man klüger und weiß besser, was man hätte tun sollen.

Rechtlich wird es für den leitenden Ingenieur besonders schlimm, wenn man ihm nachweisen kann, dass er nicht nach dem Stand von Wissenschaft und Technik gehandelt hat. Fehlkonstruktion, Schlam-

perei – all das brauchen wir hier nicht zu diskutieren. Das Problem ist, dass man Brücken, große Anlagen oder Hochhäuser in ihrer vollen Größe nicht mehr im Labor testen kann, sondern nur deren Komponenten. Der eigentliche Test ist dann der Betrieb. Wer ist dann verantwortlich?

Wir sagten, dass unser technisches Wissen in Form von Regeln aufgebaut ist – und dass man die Begründung der Regel nicht unbedingt kennen muss, um erfolgreich technisch handeln zu können. Nun ist eine Regel weder wahr noch falsch, sondern sie ist effektiv oder nicht effektiv, d. h. ihre Durchführung führt zum gewünschten Ergebnis oder nicht. Das Problem ist, dass solche Regeln zum einen nie vollständig sind, sie decken nicht alle Wechselfälle des technischen Handelns ab. Denn wenn die Regel lautet: »Wenn Du B haben willst, musst Du A tun«, dann könnte es ja auch weitere Regeln geben, die wir technisch noch nicht kennen, aber die ebenfalls funktionieren: »Wenn Du B haben willst, kannst Du auch C oder D oder E tun.« Zum anderen haben die Durchführungen von Regeln meist Nebenwirkungen: Wenn man A tut, bekommt man B entweder nur zu einem bestimmten Grad – der Techniker nennt das Wirkungsgrad – und zum anderen bekommt man noch B+, will sagen noch etwas Abfall, Restwärme, Schmutz, Lärm etc. dazu. Das sieht man am Beispiel der Glühbirne recht schnell: Sie strahlt mehr im Infraroten als im Sichtbaren, irgendwann ist sie hinüber, dann muss man sie entsorgen. Mit der Energiesparlampe hat man zwar einen besseren Wirkungsgrad, aber ihre Entsorgung wird auf die Dauer wohl sehr teuer werden. Irgendeinen Preis wird man also zahlen müssen.

Natürlich ist es von Vorteil – und deshalb gibt es ja auch die Technikwissenschaften –, bei einer technischen Regel den naturwissenschaftlichen Hintergrund zu wissen. Das Problem ist, dass Technik ohne Organisation weder bei der Erfindung noch bei der Herstellung noch beim Gebrauch funktioniert. Wir kommen auf diesen wichtigen Punkt in Kapitel 12 zurück.

## »Normale« Katastrophen

In einem leider dem kritischen Bewusstsein von Politikern und Experten nicht mehr so gegenwärtigen Buch hat Charles Perrow (1986) einige große technische Katastrophen unter die Lupe genommen und hartnäckig nach den Ursachen gefragt. Schaut man sich die Beinahe-Katastrophe in Three Mile Island (1979), die Chemieunfälle in Seveso (1976) oder in Bhopal (1984), die Nuklearkatastrophen von Tschernobyl (1986) und später Fukushima (2011) oder auch die beiden Havarien der Raumfähren Challenger (1986) und Columbia (2003) näher an, dann stellt man neben einem meist technisch bedingten Auslöser und der berühmten Verkettung unglücklicher technischer Umstände immer wieder menschliches Versagen fest. Gemeint sind damit fehlerhafte Reaktionen auf einen sich anbahnenden katastrophalen Zustand des Systems, die zur Fehlerverstärkung führen. Das passiert wie in einer Rückkopplungsschleife: Der ersten, meist technischen Fehlfunktion folgt eine falsche Reaktion des Bedienungspersonals, was den technischen Fehler verstärkt, auf den wiederum mit einer fehlerhaften Handlung reagiert wird. Technische und organisatorische Fehler folgen aufeinander wie bei einem mehrfachen Sandwich – man hat das System Schritt für Schritt nicht mehr im Griff. Auslöser sind Abweichungen von einer Normalsituation durch meist technische Defekte, gefolgt von Versäumnissen, Fehleinschätzungen, Fehlbedienung, Schlamperei und unter Zeitdruck nicht zur Kenntnis genommenen Warnungen durch das Personal.

Das hat – mit Recht – in der Diskussion die Frage nach der Beherrschbarkeit von großen technischen Anlagen aufgeworfen und Perrow hat in seinem Buch eine interessante Antwort gegeben, die allerdings ein bisschen Systemdenken verlangt. Er zeigt anhand einer Alltagssituation, die wir hier aus dem Buch als Zitat wiedergeben, wie die Verkettung kleinerer Fehlfunktionen dann zur »großen«, d. h. in unserem Beispiel persönlichen Katastrophe führen kann.<sup>15</sup> Die Schilderung von Perrow findet sich als Zitat kursiv in der linken Spalte, in

der rechten Spalte ist kurz die theoretische Interpretation wiedergegeben, die Perrow in seinem Text gibt.

**Tabelle 2.1** Alltagskatastrophe nach Ch. Perrow

<p><i>»Stellen Sie sich vor, Sie gehen eines Morgens nicht zur Arbeit, weil es Ihnen nach vielen Mühen gelungen ist, für diesen Vormittag ein wichtiges Vorstellungsgespräch in der Personalabteilung einer anderen Firma zu vereinbaren. Ihre Freundin ... hat das Haus bereits verlassen, wenn Sie das Frühstück machen, aber dummerweise hat sie die fast geleerte gläserne Kaffeekanne auf der Heizplatte der angeschalteten Kaffeemaschine stehenlassen, sodass der Kaffee verkocht und die Kanne gesprungen ist.</i></p>	<p>Keine Normalsituation</p> <p>Erster Bedienungsfehler</p>
<p><i>Ohne Kaffee am Morgen sind Sie zu nichts zu gebrauchen, also stöbern Sie im Schrank, bis Sie Filterpapier und einen alten Kaffeefilter entdecken. Sie müssen nun noch warten, bis das Wasser kocht und durch den Filter gelaufen ist, dann trinken Sie hastig, unter nervösen Seitenblicken auf Ihre Uhr, die Tasse leer und stürmen aus dem Haus. Vor der Autotür stellen Sie fest, dass Sie in der Eile Ihren Schlüsselbund vergessen haben.</i></p>	<p>Folge des Bedienfehlers: Zeitdruck, Unaufmerksamkeit, 2. Bedienfehler</p>
<p><i>Das ist nicht weiter tragisch, da Sie eigens für derartige Notfälle einen zweiten Hausschlüssel in einem Blumenkasten versteckt und einen zweiten Autoschlüssel in der Wohnung deponiert haben. ... Aber dann fällt Ihnen ein, daß Sie am Abend zuvor den Hausschlüssel einem Bekannten gegeben haben, der bei Ihnen, während Sie nicht daheim sind, im Laufe des Tages einige Bücher abholen will.</i></p>	<p>Redundanz</p> <p>Dieser »Redundanzpfad« ist nicht weiter gangbar.</p>
<p><i>Nun drängt allmählich die Zeit, aber immerhin hat ja der Nachbar ein Auto. Er ist ein freundlicher alter Herr, der seinen Wagen nur einmal im Monat fährt und gut in Schuss hält. Sie klingeln bei ihm und wollen Ihre Geschichte loswerden, aber Sie hören von ihm, dass ausgerechnet in der vergangenen Woche die Lichtmaschine ausfiel und erst am Nachmittag repariert werden soll.</i></p>	<p>Ein zweites »Notfallsystem« versagt. Es handelt sich um ein entkoppeltes bzw. unabhängiges Ereignis, da zwischen dem verliehenen Schlüssel und dem Defekt der Lichtmaschine kein Zusammenhang besteht.</p>

<p><i>Na gut, Sie können ja immer noch den Bus nehmen. Aber eben doch nicht »immer«. Der freundliche alte Herr hat die Nachrichten gehört und erzählt Ihnen, dass das Busunternehmen mit der angedrohten Aussperrung der Busfahrer Ernst gemacht hat. Die Fahrer hatten sich geweigert, mit angeblich verkehrsunsicheren Bussen zu fahren, und außerdem verlangten sie höhere Löhne.</i></p>	<p>ein weiteres Sicherheitssystem fällt aus</p>
<p><i>Vom Telefon Ihres Nachbarn aus rufen Sie die Taxizentrale an, aber wegen der Aussperrung der Busfahrer sind alle Taxen besetzt.</i></p>	<p>Diese beiden Ereignisse sind eng gekoppelt.</p>
<p><i>Sie rufen den Sekretär der Personalleiterin an und sagen ihm: »Es ist wie verhext – bei mir ist heute morgen alles schiefgelaufen, und ich muss leider die Verabredung mit Mrs. Thompson absagen. Können wir einen neuen Termin vereinbaren?«</i></p>	<p>Ist die Reaktion zurückhaltend bis ablehnend, ist vermutlich die Chance verpasst. Zielerreichung – d. h. beabsichtigte Funktion – ist gescheitert; das bedeutet hier eine persönliche Katastrophe.</p>

Wenn man nun fragt, wer und was an einer solchen Katastrophe »schuld« ist, also sie verursacht hat, dann wird man einzelne Faktoren nennen können wie:

- Menschliches Versagen (z. B. das unterlassene Abschalten der Kaffeemaschine oder das Vergessen der Schlüssel in der Eile) in Form von Bedienfehlern,
- mechanischer Defekt (Ausfall der Lichtmaschine beim Auto des alten Herrn) (unabhängiges technisches Versagen),
- die Umwelt (Aussperrung der Busfahrer und Überlastung des Taxiverkehrs als enge Kopplung der Ereignisse),
- die Anordnung des Systems, das es ermöglicht, dass man sich aus seiner Wohnung aussperren kann, statt dass die Wohnungstür sich nur dann schließt, wenn man den Schlüssel von außen ins Schlüsselloch steckt, oder dass keine Reservetaxen für bestimmte Notfälle vorgesehen sind,
- angewandte fehleranfällige Verfahren (z. B. das Warmhalten von Kaffee in einer Glaskanne oder das zu knappe Aufstehen – kommt etwas dazwischen, ist der Zeitplan nicht einzuhalten).

All das trifft zu. Trotzdem liegt die eigentliche Ursache in der Komplexität des Systems begründet. Die genannten Ausfälle für sich allein

genommen sind harmlos, auch sind Verkettung unglücklicher Umstände in einer Normalsituation lediglich »harmlose« Kausalbeziehungen, und wenn Redundanzpfade vorhanden sind, bleibt die Normalsituation meist auch »normal«, d. h. beherrschbar. Unfälle sind jedoch meistens das Resultat von Mehrfachstörungen, die sich über Interaktion (d. h. enge Kopplung) zwischen mehreren Defekten ausbreiten, d. h., dass sich alle diese Störungen fast zur selben oder in der sich knapp daran anschließenden Zeit ereignen.

Es ist das große Verdienst von Charles Perrow, gezeigt zu haben, dass es Systeme gibt, die sich durch einen hohen Kopplungsgrad und durch ihr nichtlineares Verhalten einer prognostischen Analyse der einfacheren Art und damit auch einer vereinfachten Risikobetrachtung entziehen. Sie tun dies nicht nur wegen ihrer Nichtlinearität, sondern auch deshalb, weil sich die Kopplungen selbst durch eintretende Fehler ändern können und dadurch das System einen anderen Charakter erhält als denjenigen, der vorher als gewiss galt. Die Beispiele, die Perrow zusammengestellt hat, bestätigen zusätzlich die systemtheoretische Analyse, dass komplexe Systeme, die ihre Struktur im Laufe ihres »Funktionierens« ändern, auch aus formallogischen Gründen nicht mehr vollständig beschrieben und deshalb auch nicht vollständig verstanden, geschweige denn beherrschbar sind. D. h., dass solche Systeme unbeabsichtigte Folgen zeigen werden und in der Regel auch zeigen. Das hat nichts mit einer geheimnisvollen Autonomie technischer Systeme zu tun, wie manche Zeitgenossen dies befürchten, sondern damit, wie viel wir von Systemen, insbesondere von komplexen Systemen überhaupt wissen können. Dies ist in der Regel weniger als wir zu deren Beherrschung brauchen.

Wir werden das Thema Komplexität im Kapitel 9 aufgreifen, kehren aber nochmals zur Verantwortung zurück: Dass technische Systeme Fehlfunktionen zeigen, ist unvermeidlich. Technik funktioniert zwar aufgrund von natürlichen Abläufen, die wir über die Kenntnisse der Naturgesetze annähernd zu verstehen meinen. Naturgesetze sind Modelle dieser Abläufe und jedes Modell ist in der Technik nur so gut, so gut wir dessen Abhängigkeit von den Rand- und Anfangs-