

## **2 Wie Determination zustande kommt.**

### **Über die Bedingungen der Möglichkeit technischer Vollzüge**

---

#### **2.1 Auslagerung durch Angemessenheit**

##### **2.1.1 Handlung und Angemessenheit**

Der Techniker als Könnner

Dort, wo die Bestimmtheit der Technik ihre Grenzen erreicht, stoßen wir auf einen Menschen: den Techniker. Aus der Vielzahl technischer Berufe und nicht zuletzt auch aus den hohen Gehältern, die dort gezahlt werden, lässt sich erahnen, wie groß die Bedeutung des Technikers für die Technik ist. In unserem Alltag sehen wir den Techniker aber nicht. Er tritt nur dann auf, wenn etwas mit der Technik nicht stimmt, wenn sie nicht »von allein« läuft. Die Frage, die nun zu beantworten ist, heißt ganz einfach: Was macht denn der Techniker eigentlich? Offensichtlich ist es etwas, das wir selbst nicht schaffen, etwas, das nur er beherrscht – weil er Experte ist. Was es bedeutet, Experte zu sein, lässt sich über die folgenden Ausführungen von Jürgen Mittelstraß erschließen:

»In Wissenschaft und (wissenschaftsgestützter) Technik bildet die Gesellschaft ein positives Wissen aus, d.h. ein Wissen um Ursachen, Wirkungen und Mittel. Positives Wissen allein löst jedoch noch keine Probleme. Zum positiven Wissen muß vielmehr ein handlungsleitendes Wissen oder Orientierungswissen hinzutreten, das eine Antwort auf die Frage, nicht was wir tun können, sondern was wir tun sollen, ist. Ohne ein derartiges handlungsleitendes Wissen entstehen Orientierungsdefizite, d.h. das Können wird orientierungslos. Daß dieser Um-

stand häufig verborgen bleibt, liegt wiederum an der eigentümlichen Art und Weise, in der moderne Gesellschaften Probleme »technisch« zu lösen suchen. Technische Problemlösungen sind Antworten auf technische Fragen. In der Tat muß ein Problem, das »technisch gelöst« werden soll, selbst erst in die Form eines technischen Problems gebracht, d.h. »technisch gemacht« werden.[...] Es charakterisiert moderne entwickelte Gesellschaften in Form von Industriegesellschaften, diese Transformation zu leisten, z.B. in der Weise eines allgegenwärtigen Expertenwesens.«<sup>1</sup>

Die bestimmten Wirkungszusammenhänge der Technik werden erst durch eine Orientierungsleistung möglich, die die gegenwärtige Situation technisch erschließt. Techniker zeichnen sich dadurch aus, dass sie dazu geschult sind, diese Leistung auf ihrem speziellen Arbeitsgebiet zu erbringen. Das Orientierungswissen, von dem Mittelstraß dabei spricht, kann dabei auch – wie etwa in der handwerklichen Ausbildung durch Übung – ohne explizite Nennung oder formale Repräsentation aufgebaut werden. Es ist als ein grundsätzliches »Sichzurechtfinden«<sup>2</sup>, eine allgemeine Kompetenz zu verstehen.<sup>3</sup>

Hinweise auf eine solche Kompetenz finden sich bereits bei Aristoteles. Er beschreibt die Fähigkeit, die einen »Kenner« ausmacht, dadurch, dass dieser »in den einzelnen Gebieten je den Grad von Genauigkeit verlangt, den die Natur der Sache zulässt.«<sup>4</sup> Ein Kenner ist dazu in der Lage, mit einer Situation angemessen umzugehen. Durch diese Angemessenheit wird bei der Formulierung der Problemstellung, in der dann die determinierten Zusammenhänge von Mittel und Zweck wirksam werden können, genau »der Klarheitsgrad erreicht, den der gegebene Stoff gestattet.«<sup>5</sup> Das bedeutet, dass die Beurteilung der Situation und die Stofflichkeit, in der sie dem Kenner gegen-

---

1 Mittelstraß, J.: Leonardo-Welt. Frankfurt 1996. S. 33f.

2 Luckner, A.: Orientierungswissen und Technikethik, in: Dialektik. Zeitschrift für Kulturphilosophie. 2002 (2). Hamburg 2002. S.i65.

3 Badura, J.: Die Suche nach Angemessenheit. Praktische Philosophie als Ethische Beratung. Münster 2002. S. 28f.

4 Aristoteles: Nikomachische Ethik. Stuttgart 2001. 1094b.

5 Ebd.

über tritt, miteinander in einem Gleichgewicht stehen.<sup>6</sup> Der Kenner geht weder so ungenau an die Situation heran, dass er dem Sachverhalt, mit dem er konfrontiert ist, nicht gerecht wird, noch verliert er sich Feinheiten, die keinen Beitrag mehr zur Problemlösung bringen. Er orientiert sich dadurch, dass er die verschiedenen Ansichten, die er aus den möglichen Betrachtungsweisen der Situation gewinnt, miteinander in Kohärenz bringt. Genau so kann man beschreiben, was es bedeutet, sich zurechtzufinden: Man nimmt den Ort, an dem man sich befindet, gerade so wahr, dass man die Wege, die einem offen stehen, danach beurteilen kann, in welche Richtung sie gehen.

### Die Fortschreibung von Angemessenheit

Nach Meinung von Aristoteles erfordert Technik im Alltag keine besondere Herstellung von Angemessenheit. Technische Vollzüge sind in sich bereits angemessen. Aristoteles erklärt dies dadurch, dass die Technik als Bewirken in einem »Zweckzusammenhang« stattfindet, weil der Mensch im technischen Tun »das zu bearbeitende und zu formende Material schon immer als vorgeformt, als von der Physis selbst vorbereitet auf findet«<sup>7</sup>. In dem, was der Mensch mit Technik macht, verleiht er, so Aristoteles, den natürlichen Gegebenheiten Ausdruck. Dazu bedarf es zuerst einmal keines Könners, der sich zurechtfindet, sondern nur eines einsichtigen Anwenders. In der Natur ist ja bereits alles zurechtgelegt.

Man könnte daraus nun schließen, dass die Bestimmtheit der Technik für Aristoteles keine Grenze hat, an der ein Techniker im oben beschriebenen Sinne zu finden ist. Tatsächlich finden wir so einen Techniker aber auch bei Aristoteles. Nur der Verlauf der Grenzlinie hat sich verschoben, weil Aristoteles die Zweckzusammenhänge bereits in der Natur angelegt hat. Die Grenze der Bestimmtheit verläuft deshalb an der Grenze der Natur, und eben da bedient sich Aristoteles auffallend

6 Stegmaier, W.: »Was heißt: Sich im Denken orientieren?« Zur Möglichkeit philosophischer Weltorientierung nach Kant, in: Allgemeine Zeitschrift für Philosophie 17.1 (1992) S. 1-16. S. 13, auch Badura, J.: Die Suche nach Angemessenheit. A.a.O.

7 Kaulbach, F.: Einführung in die Philosophie des Handelns. Darmstadt 1982. S. 21.

deutlich einer technischen Metapher, indem er von einem ersten Beweger spricht. Er spielt die Rolle der Instanz, die wir im Alltag nicht sehen, die aber wesentlich dafür verantwortlich ist, dass alles läuft. In gewisser Weise könnte man sagen, dass die moderne Welt nur die Positionen von Natur und Beweger vertauscht hat. Die Natur ist unbestimmt geworden und viele kleine Beweger sind nun dabei, aus ihr Zweckzusammenhänge zu schaffen, durch die die Frage nach der Angemessenheit in der Bestimmtheit technischer Vollzüge wegfällt.<sup>8</sup>

Der Techniker gerät im Alltag außer Sicht, weil er die bestimmten Wirkungsbeziehungen, die im Tun mit der Technik zum Ausdruck kommen, so zurechtgelegt hat, dass wir mit ihnen natürlich umgehen können. Die Angemessenheit, die der Techniker in seiner Arbeit herstellt, ist in die Bestimmtheit der Technik eingeschrieben. Darin lässt sich, wenn man will, auch der Gedanke einer Ersparnis von Anstrengung wieder erkennen. Schon bei Aristoteles sind rein ökonomische Überlegungen zur Begründung des Prinzips der Angemessenheit zu finden. »Falls ein Mensch unaufhörlich hin und her überlegen wollte«, so heißt es da, »müsste er ins Endlose geraten.«<sup>9</sup> Bestimmtheit bewahrt uns davor, immer wieder neu über Aufwand und Ertrag und die Zielführung von Mitteln nachzudenken. Nagel und Hammer bilden das Schema für ein Aufhängen von Bildern heraus, Flugzeuge machen etwas ähnliches für Fernreisen. In beiden Fällen können wir auf den Aufwand der Suche nach Alternativen verzichten. Wir tun einfach, ohne über andere Vorgehensweisen oder Ergebnisse nachdenken zu müssen. Dass Nagel und Hammer auf einem naturgegebenen Zweckzusammenhang beruhen, ist vorstellbar. Bei einem Jumbo-Jet ist diese Vorstellung kaum beizubehalten. Im Hinblick auf die Bestimmtheit technischer Vollzüge sind sie gleichwertig.

Eine besondere Rolle für die Ersparnis von Anstrengung spielt die Verbesserung von Interaktion. Wenn Gegenstandsbegriffe und Vollzugsformen nicht immer wieder neu entstehen, sondern in einer bestimmten Form dauerhaft hinterlegt werden, sind sie als Artefakte für verschiedene Individuen ver-

---

8 In Wirklichkeit ist es wohl umgekehrt. Aristoteles hat die Urform des Technikers zum Gott erhoben.

9 Aristoteles: Nikomachische Ethik. A.a.O. 1113a.

füßbar. Dadurch ergeben sich neue Formen der Kooperation, bei denen es viel einfacher ist, sich darauf zu einigen, womit und wozu etwas geschehen soll. Dort, wo Technik institutionalisiert ist, sind solche Bestimmungen als Standards und Normen, die festlegen, was die Gegenstände und Operationen der Technik sind, unverzichtbare Voraussetzung. Trotzdem verschwinden gerade auch diese Vorgänge vor unseren Augen, wenn wir im Alltag mit der Technik tätig werden. Dass die Bestimmtheit, mit der uns technische Artefakte immer wieder neu gegenüber treten und zueinander passen, durch besondere Anstrengung von Technikern entstanden ist, bleibt uns meist verborgen.

### 2.1.2 Gegenständliche Angemessenheit

#### Stochastische Toleranzen

Wenn es darum geht, den Unterschied in der Denkweise zwischen Mathematiker und Techniker zu beschreiben, hört man immer wieder das folgende Beispiel: Für einen Mathematiker ist es egal, ob er 10 oder 10,00 schreibt. Für ihn handelt es sich um die gleiche Zahl. Für den Techniker ist 10,00 aber etwas völlig anderes als 10. 10 ist nämlich alles, was zwischen 9,5 und 10,5 liegt. 10,00 ist eine viel genauere Angabe. Während der Mathematiker in absoluten Größen denkt, ist für den Techniker jede Zahl immer nur bis zu einem gewissen Grad bestimmt. Wenn Mathematiker und Techniker miteinander reden wollen, müssen sie für jede Zahl die Größe des zugehörigen Toleranzbereichs kenntlich machen.

Mathematischen Zugang zu den Toleranzbereichen seiner Werte erhält der Techniker durch die Fehlerrechnung. Auf die Vorstellung, man könne mit Fehlern rechnen, käme man ohne mathematisches Denken wohl gar nicht, setzt sie doch die Vorstellung eines exakten Werts voraus, der eigentlich richtig ist, in der Messung aber immer von einer zweiten Größe überlagert wird, die Abweichung verursacht. Das natürliche Mittel, um Fehler bei einer Beobachtung zu vermeiden, ist ihre Wiederholung. Wenn die Wiederholung dasselbe Ergebnis liefert, wird die ursprüngliche Beobachtung damit bestätigt. In der Technik sind die Ergebnisse wiederholter Beobachtungen nur sehr selten gleich. Jede Messung einer Größe liefert normalerweise ei-

nen etwas anderen Wert. Man kann diese Abweichungen als Überschreitung der Genauigkeit verstehen, die dem betrachteten Gegenstand angemessen wäre.

Im Umgang mit solchen Messreihen gibt es noch heute unterschiedliche Vorgehensweisen: Einige berechnen sofort den Durchschnitt aus allen Werten, andere streichen den größten und den kleinsten Wert oder die Werte mit der größten Abweichung zuerst heraus und berechnen dann den Durchschnitt. Die wirklichen Messergebnisse werden also durch ein gedachtes Ergebnis ersetzt, das die Abweichungen miteinander vereinbart. Die Fehlerrechnung dient dazu, dieses Ergebnis in einen bestimmten und einen unbestimmten Anteil zu zerlegen. Damit wird es nicht nur möglich, Toleranzbereiche anzugeben, sondern auch, absichtsvoll mit ihnen umzugehen und sie durch methodische Vorgaben einzuschränken. Spätestens hier endet die Vorstellung, Gegenstände seien von Natur aus bestimmt. Wir entscheiden nun selbst, bis zu welchem Grad wir sie bestimmen. In der Umkehrung bedeutet das, dass wir auch davon ausgehen, dass sie zu einem gewissen Grad unbestimmt bleiben.

Die Fehlerrechnung wurde erst möglich, nachdem Pascal und Fermat gezeigt hatten, dass man mit Zufällen rechnen kann. Im Rahmen ihrer astronomischen Arbeiten haben Legendre und Laplace als erste vorgeschlagen, den Fehler der Messung durch die mittlere quadratische Abweichung der einzelnen Werte von ihrem Durchschnitt abzuschätzen.<sup>10</sup> Diese Idee wurde von Gauss aufgegriffen, der sich mit demselben Problem vor allem in der Geodäsie konfrontiert sah. Er brachte die mittlere quadratische Abweichung mit einer Wahrscheinlichkeitsverteilung in Zusammenhang, die das Auftreten zufälliger Messfehler beschreibt.<sup>11</sup> Durch diese Verteilung wird es möglich, eine Aussage über die verbleibende Unsicherheit in Abhängigkeit von der Anzahl der Messwerte und ihren Diffe-

---

10 Durchschnitt und mittlere Quadratische Abweichung davon sind aus mathematischer Sicht ebenfalls »natürliche« Methoden zum Umgang mit Messungen und Fehlern. Die Begründung für diese Natürlichkeit sei dem Leser erspart.

11 Gauss, C.F.: *Theoria combinationis observationum : erroribus minimis obnoxiae* : Pars 1, in: *Commentationes societatis regiae scientiarum Gottingensis recentiores*. Vol c. Göttingen 1823.

renzen zu machen. Es bleibt jedoch, so bemerkt auch Gauss schon, dem Geodäten selbst überlassen, wie weit er dieses Spiel treibt. Er muss entscheiden, welches Maß an Bestimmtheit seine Beobachtungsgegenstände erfordern. Den Aufwand, um sich mit der verbleibenden Ungewissheit auseinanderzusetzen, kann er sich ersparen. Außerdem weist Gauss darauf hin, dass Unbestimmtheit auch noch an anderer Stelle ins Spiel kommt. Die Möglichkeiten, die Qualität des Messergebnisses zu verbessern, nicht nur vom zufälligen Fehler, sondern auch von den *errores divisionis instrumentorum*, den Fehlern der Auflösung der Instrumente, die immer eine begrenzte Größe hat.<sup>12</sup>

### Normierte Gegenstände

Normen drücken Bestimmtheit aus. Sie geben vor, wie etwas zu sein hat. Damit legen sie auch fest, worauf es ankommt und was unbedeutend ist. Bestimmte Wirkungszusammenhänge, die wiederholt vorkommen und unabhängig vom Menschen sind, der sie erfährt, wären ohne Normen nicht denkbar. Wo der Mensch in der Natur keine Bestimmtheit vorfindet, muss er Normen schaffen, damit Technik sich vollziehen kann. Normen für Gegenstände sind meist als extensional beschreibende Vorgaben, nur selten als Vorgaben eines Herstellungsverfahrens verfasst. Extensionale Beschreibungen erfordern eine unveränderliche Vergleichsgröße: ein fixiertes Maß. Alte Maße beziehen sich meistens auf den menschlichen Körper. Daher kommen Längenmaße wie Fuß, Elle oder Doppelschritt oder Mengenmaße wie eine Handvoll (Drachme). Anthropologische Studien lassen darauf schließen, dass auch Zahlen als Dekontextualisierung aus dem Vergleich mit Fingern oder anderen Körperteilen hervorgegangen sind.<sup>13</sup> Hohlmaße und Gewichte bezeichnen oft Füllungen bestimmter Behälter und sind ebenfalls nach diesen Behältern benannt (Scheffel, Fass, Sack). Eine andere Art von Maßen lassen sich heute noch in der Umgebung alter Marktplätze erkennen. Dort gibt es oft ein Gebäude, meistens ist es die Kirche, in dessen Mauern die Umrisse verschiedener

12 Ebd. S. 5.

13 Insb. Arbeiten von Lévy-Bruhl und Cole, Gay & Glick, kurze Zusammenfassung in Hallpike, C.R.: Die Grundlagen primitiven Denkens. München 1990, S. 283ff.

Waren eingeritzt sind. Wurden diese Waren auf dem Markt verkauft, konnte man durch Vergleich mit den Umrissen an dem Gebäude feststellen, ob sie die richtige Größe hatten. Über das Maß als Vergleichsgröße kann eine extensionale Norm in die Angabe von Vielfachen des Maßes verwandelt werden.

Im Handelswesen lässt sich die Verwendung von Maßen und Normen am weitesten zurückverfolgen. Für die Realtechnik spielt die Erstellung von Normen über die Ansprüche des Handels hinaus überraschend lange keine besondere Rolle. Erst mit der Industrialisierung und Massenfertigung wuchs die Bedeutung von Normen auch hier. Erste Vereinbarungen über Normen gehen auf Ingenieursvereine zurück. Erhebliche Schwierigkeiten bei der Einführung von Normen verursachte die Vielfalt an Maßeinheiten in verschiedenen Ländern. Das metrische CGS-System war zwar bereits während der französischen Revolution ausgearbeitet worden, hatte sich bis Ende des neunzehnten Jahrhunderts aber nur in wenigen Ländern, darunter nicht einmal Frankreich selbst, durchsetzen können. Die Rolle des Vorreiters bei der Erstellung von Normen spielten die Elektrotechniker, die in Anbetracht der Kabelverbindungen über Ländergrenzen hinweg schon frühzeitig nach Internationalisierung strebten. »Ende des 19., Anfang des 20. Jahrhunderts erkannten sie die Notwendigkeit einer ständigen Organisation, um zu einer kontinuierlichen methodischen internationalen Normung zu kommen. Bereits 1906 wurde die »International Electrotechnical Commission« IEC gegründet.«<sup>14</sup> Eine allgemeine Institution zur Normierung entstand in Deutschland erst im Jahr 1917 in Form des Normenausschusses der Deutschen Industrie (NADI), der 1926 durch den Deutschen Normenausschuss, 1975 durch das Deutsche Institut für Normung (DIN) abgelöst wurde. Träger des DIN ist nicht der Staat, sondern ein eingetragener, gemeinnütziger Verein, an dem unterschiedliche Interessengruppen aus dem Umfeld der Industrie vertreten sind. Ähnliche Institutionen im Ausland entstanden ebenfalls erst Anfang des 20. Jahrhunderts.<sup>15</sup>

---

14 Klein, M.: Einführung in die DIN-Normen. Stuttgart 1996<sup>11</sup>, S.31.

15 Vgl. dazu Bresemann H.-J.: Wie finde ich Normen, Patente, Reports: ein Wegweiser zu technisch-naturwissenschaftlicher Spezialliteratur. München 2001.

Das Deutsche Institut für Normung erstellt die Deutschen Industrienormen, die selbst wieder durch die DIN 820 T1 genormt sind. Die Deutschen Industrienormen definieren technische Gegenstände als so genannte Typen, d.h. »nach Art und Größe festgelegte Dinge«<sup>16</sup>. Typen werden extensional hinsichtlich der zutreffenden Maße durch vier Arten von Werten beschrieben: theoretische Werte, Genauwerte, Hauptwerte und Rundwerte. Die theoretischen Werte ergeben sich aus der Herleitung des Gegenstands. Die Genauwerte sind diejenigen Werte, die als Norm gesetzt werden. Sie werden im Allgemeinen aber nicht genutzt, sondern dienen nur als Basis für die Erzeugung des Hauptwertes und der Rundwerte. Der Hauptwert ist derjenige Wert, der in der Praxis den Gegenstand beschreibt. Er weist gegenüber dem Genauwert üblicherweise eine Abweichung von 1,26% nach oben und 1,01% nach unten auf. Die Rundwerte sind weitere Vergrößerungen für produktionspezifische oder handelsübliche Prozesse, bei denen die Messung des Hauptwertes selbst nicht in Frage kommt (z.B. bestimmte Formen der Losgrößenfertigung).

Jedes technische Artefakt, mit dem wir Umgang haben, wird ganz oder teilweise durch solche Typen der deutschen Industrienorm beschrieben. Beim Vollzug jeder technischen Handlung, bei der verschiedene Artefakte interagieren, garantiert uns die Konformität mit den Typenbestimmungen der DIN, dass die Artefakte für eine Interaktion aufeinander abgestimmt sind. Dadurch passen Schrauben zu Gewinden, Mobiltelefone zu Sendeeinrichtungen und Elektrogeräte an die Steckdose. Dabei ist jedes Artefakt aber nur durch die Toleranzgrenzen der Hauptwerte festgelegt, durch die es extensional beschrieben ist. Technische Vollzüge und die für sie industriell hergestellten Artefakte sind so aufeinander abgestimmt, dass extensionale Abweichungen unterhalb der Toleranzgrenze keinen Einfluss auf die Vollzüge haben. Diese Abweichungen existieren für die Technik nicht. Alle Artefakte, die die Toleranzgrenze einhalten, sind als Typen betrachtet identisch. Unterhalb des Typenbegriffs vergewissert sich die Technik ihrer Gegenstände nicht. Sie ist so konzipiert, dass dies nicht notwendig ist.

---

16 Klein M: Einführung in die DIN-Normen. A.a.O. S. 19.

### 2.1.3 Operationale Angemessenheit

#### Unschärfen im Vollzug

Angemessenheit ist nicht nur eine Frage des Gegenstands, sondern auch eine Frage des Verlaufs eines Tuns. Auch dabei kann ein Blick auf die Wissenschaften weiterhelfen. Allerdings ist es dazu notwendig, in noch größere Tiefen hinab zu steigen als bei der Fehlerrechnung. Dieses Vorgehen hat jedoch noch einen weiteren Vorteil: wir stoßen ebenso auch wieder auf eine Form gegenständlicher Ungewissheit, diesmal mit solch radikalen Auswirkungen, dass vollständige Gewissheit im Tun mit der Technik ein für allemal ausgeschlossen wird. Das Gegenargument ist nämlich in der physikalischen Wirklichkeit selbst angelegt.

Wenn in den Naturwissenschaften über Unschärfe gesprochen wird, dann ist meistens von der Theorie der Quantenmechanik die Rede, die Anfang des zwanzigsten Jahrhunderts entwickelt wurde, um zu erklären, warum sich Elementarteilchen in manchen Experimenten wie ein Materiequantum, in anderen aber wie eine Welle verhalten. Der zentrale Satz in der Quantenmechanik ist die Unschärferelation, die Heisenberg Anfang der dreißiger Jahre formuliert hat, und der zufolge es nicht möglich ist, Ort und Impuls eines Teilchens gleichzeitig exakt zu bestimmen. Neben experimenteller Evidenz gibt es dafür auch einen mathematischen Beweis, der grob gesagt darauf hinausläuft, dass zur Ermittlung einer der beiden Größen die Zustandsfunktion, die das physikalische System beschreibt, mit Hilfe der Differentialrechnung für Matrizen nach dieser Größe hin entwickelt werden muss. Wenn das geschieht, ist eine Entwicklung nach der anderen Größe nicht mehr möglich. Das heißt, dass die jeweils andere Größe mathematisch gesehen nicht nur unscharf, sondern gänzlich unbestimmbar ist, sobald eine Größe exakt fixiert ist. Jede Messung, die in einem physikalischen Experiment Zustände von Elementarteilchen erfasst, verursacht eine annähernd exakte Fixierung derjenigen Größe, über die die Messung das physikalische System erschließt. Damit wird die andere Größe stets unscharf. Die Unterschiedlichkeit des Verhaltens von Elementarteilchen ist also schon durch die Anordnung des Experiments festgelegt. Das Phänomen und seine Beobachtung sind nicht mehr voneinander trennbar. Der

Laie wird im alltäglichen Umgang mit der Technik normalerweise nicht mit quantenmechanischen Effekten konfrontiert, weil die Ungewissheit technischer Vollzüge eine Größenordnung hat, die weit oberhalb solcher Wirkungen liegt. In der Halbleiterentwicklung, der Telekommunikation und diversen Formen der Nanotechnik spielen quantenmechanische Effekte aber heute schon eine wichtige Rolle.

Die Tatsache, dass gewisse Größen, mit denen die Mikrophysik hantiert, unscharf sind, wäre für sich allein betrachtet erst einmal kein besonderes Problem. Unscharfe Größen können nach dem Muster der Fehlerrechnung als statistische Größen betrachtet werden, mit denen man dann im Rahmen der Wahrscheinlichkeitsrechnung weiterarbeiten kann. Die Wissenschaft, so Heisenberg, bleibt weiterhin exakt, man hat es nur mit anderen Typen von Objekten zu tun.<sup>17</sup> Problematisch sind die Auswirkungen auf die Anordnung des Experiments. Die beruhigende Vorstellung, man könne als Forscher tun, was man wolle – die Welt, mit der man zu tun hat, sei immer die gleiche, ist so nicht mehr aufrecht zu erhalten. Je nachdem, wie die Mikrophysik an die Welt herangeht, nimmt sie völlig unterschiedliche Phänomene wahr. Die Welt ist nur noch als Raum, in dem Effekte stattfinden können, immer die gleiche, nicht mehr als Effekt selbst. Die Folgen daraus lassen die Wissenschaft nicht in sich zusammenbrechen, aber sie zeigen eine weitere, statistische Dimension des Weltbezugs auf. Solange die Anordnung des Experiments hinreichend grob bleibt, ist davon nicht einmal etwas zu bemerken. Wieder haben wir es mit Unbestimmtheit in Form angemessener Ungewissheit zu tun, die sich jetzt jedoch nicht auf einen Gegenstand, sondern auf einen Ablauf bezieht. Es erscheint deshalb sinnvoll, nach der gegenständlichen Ungewissheit nun von einer »operationalen« zu sprechen.

---

17 Vgl. Heisenberg, W.: Wandlungen der Grundlagen der exakten Naturwissenschaften in jüngster Zeit (1934) In: Autrum, H. (Hrsg.): Von der Naturforschung zur Naturwissenschaft: Vorträge, gehalten auf Versammlungen der Gesellschaft deutscher Naturforscher und Ärzte (1822-1958). Berlin u.a. 1987, S. 483-501.

## Umgang mit operationaler Ungewissheit

Die Suche nach operationaler Ungewissheit im Makrobereich führt wieder auf den Gedanken des Aristoteles, dass eine Handlung nicht so verkompliziert werden darf, dass sie nicht mehr effektiv durchführbar ist. »Es gibt nichts gutes, außer man tut es« lautet Kästners geflügeltes Wort dazu. Tun muss stattfinden. Dazu ist es nicht nur notwendig, die Gegenstände, mit denen hantiert wird, unscharf zu lassen, sondern auch die Operation nicht allzu fein auszudifferenzieren. Wittgenstein untersucht dieses Thema linguistisch, wenn er über die Bedeutung von Äußerungen wie »Halte dich ungefähr hier auf!« nachdenkt<sup>18</sup>. Wer sich verabredet, wird die Dimensionalität dieses Ereignisses nicht ganz exakt vorgeben. Wichtig ist, dass ein Eintreten ermöglicht wird, und dazu reicht es aus, wenn die Beteiligten ungefähr zur gleichen Zeit ungefähr den gleichen Ort aufsuchen. Eine Feinabstimmung kann mehr schaden als nutzen, weil Störgrößen die Ausführung des Vollzugs in dieser Genauigkeit leicht verhindern können. Was ist denn, wenn man den genauen Ort (»Vor dem Schaufenster mit der komischen Uhr«) nicht findet, weil er so nicht existiert (Da ist keine komische Uhr) oder von anderen Leuten belegt ist? Die Planung eines Vorgangs kann bis zu dem Grad ungewiss bleiben, bis zu dem der Vollzug nicht gefährdet wird. Damit verringert sich der Aufwand zur Erfassung der Situation; und ebenso die Wahrscheinlichkeit, dass die Situation so nicht aufgefunden oder hergestellt werden kann. Bestes Beispiel ist der inzwischen wohlbekannte Reservetank, der die Planung der Reise deutlich erleichtert und die Einhaltung fixer Verbrauchswerte während der Fahrt unnötig macht.

Auch für Vorgänge gibt es Normen im DIN-Katalog. So kann man Produktionsweisen, aber auch Bürotätigkeiten, wie zum Beispiel Programmierung und Betrieb von Computersystemen unter Normen betreiben und entsprechend zertifizieren lassen. Normen für Vorgänge setzen Bedingungen für den Vollzug. Dazu gehörten die Kompetenz der Ausführenden, die Existenz von Dokumentationen, die Verfügbarkeit von Bedienelementen etc. Unschärfen in Handlungsnormen drücken sich

---

18 Wittgenstein, L.: Philosophische Untersuchungen. A.a.O. § 88.

normalerweise nicht über Fehlerrechnung, sondern natürlich-sprachlich aus, indem Beschreibungen allgemein gehalten oder einzelne Aspekte offen gelassen werden. Der DIN-Katalog ist aber nur eine Sammlung von Handlungsnormen unter vielen. Sammlungen von Handlungsnormen sind viel älter Sammlungen von Gegenstandsnormen und auch viel weiter verbreitet. Zu ihnen zählen Gesetze, Gebote und Richtlinien und alle anderen formalen Beschreibungen korrekten Verhaltens. Aus technischer Sicht sind insbesondere Gebrauchsanweisungen zu nennen, die zu nichts anderem dienen als technische Vollzüge zu beschreiben, bzw. hinsichtlich der zugehörigen Geräte explizit festzulegen, um Haftungsfolgen durch falsche Benutzung auszuschließen. Gebrauchsanweisungen definieren in diesem Sinn also technische Vollzüge. Das Gefühl der Ungewissheit im Umgang mit Gebrauchsanweisung ist vermutlich jedem bekannt, der von Zeit zu Zeit mit ihnen umgehen muss, ebenso die Frage der Angemessenheit. Allzu exakte Gebrauchsanweisungen verunmöglichen technische Vollzüge eher, als dass sie sie ermöglichen. Allzu ungenaue Gebrauchsanweisungen sind umgekehrt auch nicht sehr hilfreich.

Es ist an dieser Stelle notwendig, noch auf eine technische Struktur einzugehen, die versucht, gegenständliche und operationale Unbestimmtheit innerhalb von technischen Vorgängen abzubilden: die Fuzzy Logic. Fuzzy Logic dient dazu, Spielräume im Umgang mit Objekten und im Auslösen von technischen Prozessen abzubilden. Das funktioniert derart, dass die Objekte oder Zustände eines Systems nicht als deterministische Größen sondern als stochastische Variablen erfasst werden, die nur durch einen Zustandsraum bestimmt sind. Sie müssen also keinen einzelnen, fixen Wert annehmen, sondern können auch als Mengen unterschiedlicher Werte mit der jeweiligen Wahrscheinlichkeit ihres Zutreffens hinterlegt sein. Ein beliebtes Beispiel ist der automatisierte Einbau von Windschutzscheiben in Automobile. Klassische Technik würde dabei zum Beispiel so vorgehen, dass sie die Scheibe zuerst links und rechts ausrichtet, dann oben und unten, bevor sie schlussendlich auf die Öffnung in der Karosserie gedrückt wird. Die einzelnen Schritte bauen kaskadisch aufeinander auf, mit jedem Schritt wird die Scheibe etwas mehr fixiert. Dabei geht Spielraum zum Ausgleich verloren. Ein Vorgehen mit Fuzzy Logic würde zuerst

nur den Möglichkeitsraum der Ausrichtung an jeder Seite er-messen, diese Informationen zusammenziehen und aus ihnen erst ganz am Ende die beste Positionierung der Scheibe berechnen. Damit wird der vorhandene Spielraum optimal genutzt. Derjenige Teil der Ungewissheit, der durch die Abstimmung unterschiedlicher technischer Größen entsteht, verbleibt innerhalb der Technik und kann effektiv genutzt werden. Die Ungewissheit pro Messung wird aber weiter in die vorgegebene Toleranzschwelle ausgelagert.

## **2.2 Auslagerung durch Kontrolle**

### **2.2.1 Komplexitätsbündelung außerhalb der Technik**

#### Wirkungsschemata und ihre Einbettung

Der Hammer gilt als besonders einfaches Werkzeug. Deshalb ist er dafür berüchtigt, als archetypisches Beispiel für ein technisches Artefakt herangezogen zu werden. Tatsächlich verhält es sich mit dem Hammer komplizierter, als es auf den ersten Blick erscheinen mag. Sein Wirkungsschema ist zwar einfach: Energie wird in kinetische Form gebracht und mit einem Schlag gebündelt auf einen anderen Gegenstand – nehmen wir an, es sei ein Nagel – übertragen. Die Operation, die mit dem Hammer ausgeführt wird, ist aber keineswegs einfach; das weiß man, wenn man sich schon einmal richtig auf die Finger geklopft hat. Im Vergleich zum Eindringen eines Reißnagels in ein weiches Stück Holz erfordert die Bedienung eines Hammers ein deutliches Mehr an motorischer Aktivität. Der Hammer muss geschwungen werden, er muss zielgenau auf den Nagel zu bewegt werden, und die Schlagfläche muss den Nagel im richtigen Winkel und ohne störende Torsionseffekte treffen, damit die Energieübertragung so erfolgt, wie man es haben möchte. Für die Einfachheit des Wirkungsschemas des Hammers zahlt man also einen teureren Preis in Form erhöhter Komplexität der Bedienung.

Eine angemessene Ausgestaltung von Gegenstand und Verlauf des technischen Vollzugs hilft an dieser Stelle nur wenig. Man kann nicht sagen, dass wir uns in der Situation, in der wir einen Hammer benutzen, wirklich zurechtfinden. Was bei der

Einbettung der Technik in das menschliche Tun abläuft, wird in diesem Fall nie ganz überschaubar. Auch diejenigen, die in jahrelanger Ausbildung den Umgang mit bestimmter Technik erlernen, sind nicht davor sicher, dass ihnen etwas misslingt. Techniker zu sein, bedeutet auch, sich zu trauen, mit dem, was man überblicken kann, Verantwortung für das Ganze zu übernehmen. Selbst gestandene Handwerker müssen damit rechnen, dass sie einen Nagel verbiegen oder ihre eigenen Finger verletzen. Das geschieht ihnen zwar seltener als anderen Menschen, aber es ist nicht vermeidbar. Zum Gegenstand wissenschaftlicher Untersuchung ist dieser Sachverhalt erst recht spät geworden, was vielleicht auch damit zu tun hat, dass die Wirklichkeit des menschlichen Tuns mit der Technik über viele Jahrhunderte den meisten Philosophen und Wissenschaftlern beim Aufbau theoretischer Modelle fremd geblieben ist.<sup>19</sup> Heute nimmt sich die Ergonomie des Themas an, indem sie danach fragt, wie gut der Umgang mit Technik den »natürlichen« menschlichen Verhaltensweisen gerecht wird, und die Risikoforschung untersucht besonders gravierende Fehlschläge bei der Anwendung technischer Wirkungszusammenhänge. Das vollständige Ausmaß an Komplexität, das der Mensch beim Vollzug einfacher technischer Funktionen zu bewältigen hat, wird meistens aber erst dann sichtbar, wenn versucht wird, den Menschen durch eine Maschine zu ersetzen.

Bedienungskomplexität wird nicht nur im Umgang mit der materiellen Ausprägung technischer Artefakte in der Realtechnik erzeugt, sondern betrifft alle Situationen, in denen Abläufe stattfinden, die auf festen Regeln basieren. So erzeugt auch der Umgang mit Sprache eine derartige Bedienungskomplexität, die über Jahrtausende nicht wahrgenommen wurde und an der man erst durch die moderne Linguistik und die Versuche, Maschinen das Sprechen beizubringen, nicht mehr vorbeikam. Woher das Problem kommt, bringen Gamm und Körnig mit Wittgenstein am Beispiel des Schachspiel auf den Punkt: »Praxis ist [...] nicht auf Regeln befolgendes Handeln zu reduzieren, was wiederum nicht heißt, ihre Institution sei ohne Regeln denkbar. Sowenig wie das Aufstellen der Spielfiguren im

---

19 Vgl. Niemann, H.-W.: Vom Faustkeil zum Computer. Technikgeschichte–Kulturgeschichte–Wirtschaftsgeschichte. Stuttgart 1984.

Schachspiel ein Zug des Spiels ist, sowenig ergibt sich aus der Zusammenstellung von Regeln eine Lebenspraxis.«<sup>20</sup> Zwischen dem Regelwerk, nach dem sich eine Handlung vollzieht, und dem, was der Handelnde tut, besteht ein Unterschied. So muss es auch sein, damit die Regel über den einmaligen Vollzug hinaustreten und allgemeine Gültigkeit und Wiederverwendbarkeit beanspruchen kann; sonst wäre die Regel ja nur eine situationsimmanente Konsequenz. Umgekehrt bleibt an dem Menschen, der sich an die Regeln hält, die Notwendigkeit hängen, ihre Einbettung in die Gesamtsituation vorzunehmen, um aus den Regeln auch Wirkungen zu machen. Handelte es sich dabei um einen technischen Vorgang, dann könnte er durch weitere Regeln erfasst werden. So ist es aber nicht.

### Bedienungsfehler und Bedienungsunbestimmtheit

Treffen wir statt des Nagels unsere Finger, so geben wir normalerweise nicht dem Hammer die Schuld dafür. Wir glauben, die Bedienungsleistung selbst verantworten zu können. Wir halten die Funktion des Hammers also für beherrschbar und der Fehlschlag ist uns peinlich. Schauen wir jedoch einem kleinen Kind dabei zu, wie es sich mit dem Hammer auf die Finger klopft, so ziehen wir vermutlich andere Schlüsse daraus. Selbst wenn wir einräumen, dass das Kind versteht, wie ein Hammer funktioniert, und dass sein Konzept vom Einsatz des Hammers in dieser Situation sowohl gegenständlich als auch operational angemessen ist, werden wir nicht dem Kind die Schuld geben. Die Tatsache, dass es die Abläufe des technischen Vollzugs begriffen hat, heißt noch lange nicht, dass es den Vollzug als Handlungsträger beherrscht. Weil wir erwachsen sind, wollen wir uns vom Kind unterscheiden. Im Prinzip sind wir aber immer noch in der gleichen Situation.

Je komplexer die Einsatzbedingungen bestimmter Wirkungsbeziehungen sind, desto eher entstehen Diskrepanzen zwischen Verstehen der Abläufe und Beherrschen der Bedienung. Der Regelsatz des Schachspiels ist beispielsweise nicht

---

20 Gamm, G. & Körnig, S.: Die Unbestimmtheit im Kalkül. Wittgensteins Sprachspiele und das Problem der Schachprogrammierung, in: Gamm, G., Kimmerle, G. (Hrsg.): Wissenschaft und Gesellschaft. Tübingen 1991, S. 136-162. S. 141.

übermäßig kompliziert. Die Größe des Feldes, die Anzahl der Figuren und die freie Kombinierbarkeit der Züge erzeugen jedoch eine derartige Vielfalt möglicher Spielsituationen, dass es Jahre dauert, um wirkliche Expertise für Schach aufzubauen. Fragt man nun Experten des Schachspiels, wie sie zu ihren Zügen kommen, so erhält man – das war eine der ersten Ergebnisse der Künstlichen Intelligenz in den sechziger Jahren – meistens völlig unvollständige und irrationale Herleitungen ihrer Entscheidungen, die niemals eine Grundlage für einen erfolgreichen Algorithmus des Schachspiels bieten würden.<sup>21</sup> Die Bedienleistung beim Schachspiel ist immens; entsprechend großen Aufwand hat es gekostet, Schachprogramme zu entwickeln, die sich mit Schachmeistern messen konnten. Viele moderne technische Systeme stehen dem Schachspiel in keiner Weise nach. Wir können zwar die Abläufe nachvollziehen und in ihrer Funktion begreifen; wie jedoch ihre Bedienung zu beherrschen ist, bleibt in vielen Fällen offen.

Die entscheidende Frage wäre nun, ob man das Bedienungsproblem der Technik nicht selbst wieder durch Technisierung beseitigen kann. In der Tat entstehen zur Bedienung von Technik permanent neue realtechnische, intellektualtechnische oder sozialtechnische Regelschleifen, die entweder neue Bedienungsmöglichkeiten erschließen, unerwünschte Bedienungsmuster abfangen oder Abläufe besser durchschaubar machen sollen. Infolgedessen kann der Mensch jedoch meist noch viel weniger durchdringen, was geschieht. Ob diese Veränderung ein Fortschritt ist, bleibt dahingestellt. Charles Perrow illustriert dies am Beispiel der Operateure in Kernkraftwerken:

»Viele Operateure wehren sich gegen die Einführung generalisierterer Steuerungen auf einer hohen Systemebene wie z.B. Kathodenstrahlröhren, die auf ihrem Bildschirm den Zustand einer Reihe von Einheiten oder Subsystemen anzeigen, da dies selektive Eingriffe auf unteren Systemebenen erschwert. Die Kontrollen auf unterer Ebene sind weniger gut erreichbar, da angenommen wird, dass sie nicht benötigt werden. Entweder liegen sie abseits, oder sie sind nur durch eine komplizierte Abfolge von Schritten ansteuerbar, bei denen die allgemeineren

---

21 Vgl. Weizenbaum, J.: Das Menschenbild der Künstlichen Intelligenz. A.a.O. S. 143.

Kontrollen außer Funktion gesetzt werden. Es kommt aber auch vor, dass sich die Operateure über ihr weniger automatisiertes System trotz der größeren eigenen Eingriffsmöglichkeiten beklagen, da sie in der Steuerzentrale vor bis 5 Meter langen Schalttafeln mit Dutzenden von gleich aussehenden Schaltern stehen, die mit kaum lesbaren Ziffern gekennzeichnet sind. Deren Anordnung entspricht nicht einmal dem Betriebsablauf, sondern vielmehr den Erfordernissen einer möglichst einfachen Installation. So kann es kaum wundernehmen, dass einer der häufigsten »Bedienfehler« in Kernkraftwerken in der Bedienung eines falschen Schalters besteht.«<sup>22</sup> Gerade die Schalter exemplifizieren das Problem des Weltbezugs technischer Vollzüge sehr gut. Natürlich ist das Umlegen des Schalters ein klar determinierter, gänzlich einfach verstehbarer Akt. Man muss nur wissen, was er bedeutet. Das Dilemma der Wahl zwischen zuviel und zuwenig Einstellmöglichkeiten wird deshalb »noch dadurch verschärft, dass die Kennzeichnung des »Standardzustands« eines Steuer- oder Kontrollmechanismus nicht immer einheitlich erfolgen kann«<sup>23</sup>. Wenn die Notabschaltung aktiv ist, heißt das, dass das System selbst nicht aktiv ist. Soll dann eine grüne Lampe leuchten oder eine rote? Was heißt grün? Ist es eine Verallgemeinerung mehrerer Zustände, die jeweils die Standardeinstellung angibt, oder existiert für jede Einstellung eine Lampe, für die rot und grün dann aber ganz unterschiedliche Dinge bedeuten können?

Auch bei zusätzlicher Regelung bleiben Fragen der Bedienung offen, die außerhalb der Technik beantwortet werden müssen. Kommt es zu einem Störfall, wird die Schuld nicht der Technik angelastet. Wenn man einmal von groben Material- und Konstruktionsfehlern absieht, wird eine Analyse dessen, was geschehen ist, stets darauf hinauslaufen, dass das technische Artefakt, das bedient werden musste, den Regeln entsprechend funktioniert hat. Also wird die Schuld dem Umfeld der Technik angelastet und meistens als Bedienfehler auf den Menschen abgeschoben.<sup>24</sup>

---

22 Perrow, C.: Normale Katastrophen; die unvermeidlichen Risiken der Großtechnik. Frankfurt, New York, 1989, S. 119f.

23 Ebd. S. 120.

24 Ebd. S. 20, S. 293ff.

## 2.2.2 Delegation an den Nutzer

### Die Problematik der Optimierung

Will man die Beherrschung von Bedienungskomplexität wiederum durch Technik unterstützen, so gerät man heute unwillkürlich zur Informationstechnologie. Die bestimmten Wirkungsbeziehungen stellen sich dort als Algorithmen und Datenstrukturen dar. Sie sind im Rahmen der symbolischen Logik begrifflich formalisiert (was nicht unbedingt den Ursprung, aber eine gewisse Rechtfertigung der Verwendung des Begriffs »Technologie« statt »Technik« darstellt). Dank der Fähigkeit des Computers, jede mögliche endliche Verkettung formaler Schlüsse auf digitalem Weg auszuführen, kann Informationstechnologie überall da zur Unterstützung technischer Vollzüge eingesetzt werden, wo diese digital darstellbar sind; und das wird sie auch. Heute gibt es nur noch vergleichsweise wenige technische Vollzüge, an denen nicht in irgendeiner Weise ein Mikroprozessor beteiligt wäre, sei es, weil durch ihn Umfang und Geschwindigkeit der Informationsverarbeitung erhöht werden können, oder weil derartige Prozessoren schlicht und einfach so billig sind, dass Alternativen nicht in Betracht gezogen werden müssen. Weil der Computer unzählige Rechenschritte in minimaler Zeit ausführen kann, vervielfacht die Informationstechnologie unsere Möglichkeiten zur Bedienung komplexer Systeme. Damit ist aber noch nicht gesagt, dass sie sich auch auf die Möglichkeiten zur Beherrschung der Bedienung auswirkt. Tatsächlich gibt es Diskrepanzen zwischen Bedienung und Beherrschung, wie sich am Beispiel der Optimierung aufzeigen lässt.

Optimierung ist ein genereller rationaler Entscheidungsvorgang, der aus einer Menge von Alternativen die beste auswählt. Für die Technik hat Optimierung eine wesentliche Bedeutung, weil sie die Anstrengung, Anstrengung zu sparen, in formalen Konstrukten abbildet, die als Vorgehensweisen selbst den Charakter technischer Artefakte haben. Optimierung erfordert aber stets das Vorhandensein einer Grundlage, auf der ihre Schlüsse wirksam werden, und damit betrifft sie die Bedienung von Technik. In der Schulmathematik werden Beispiele demonstriert, wie man selbst aus einer unendlichen Zahl von Alternativen die beste auswählen kann, sofern man über eine polynomi-

al darstellbare Gütefunktion verfügt. In diesem Fall ist Optimierung Teil der Kurvendiskussion, bei der Minima und Maxima der Funktion ermittelt werden. Die Informationstechnologie kann dem Menschen dies weitgehend abnehmen<sup>25</sup> und den Rechengang beschleunigen. Solche Optimierungsrechnungen sind analytische Lösungsverfahren. Sie können auch auf mehrere unterschiedliche Gütefunktionen ausgedehnt werden, solange man eine hinreichend einfache Gestalt der Funktionen voraussetzt. Der entsprechende Rechengang heißt dann lineare Programmierung oder quadratische Programmierung. Der Einsatz von Informationstechnologie hilft in diesem Fall, Komplexität zugänglich zu machen, die ohne technische Unterstützung nicht mehr zu bewältigen wäre. Eine andere Möglichkeit der Verwendung von Informationstechnologie zur Optimierung stellen heuristische Lösungsverfahren dar. Sie untersuchen nicht alle möglichen Alternativen, sondern decken den gesamten Lösungsraum durch stochastische Stichproben möglichst repräsentativ ab. Der Vorteil heuristische Lösungsverfahren besteht darin, dass sie keine spezifischen Eigenschaften der Gütefunktion voraussetzen. Dafür ist der Näherungsgrad, mit dem heuristische Lösungsverfahren das absolute Optimum erreichen, schwerer abzuschätzen. Bei angemessener Darstellung der Situation erreichen sie jedoch auch eine angemessene Genauigkeit der Optimalität.

Die Diskrepanz zwischen Bedienung und Beherrschung tritt bei der Optimierung in dem Augenblick zutage, in dem wir die Möglichkeit genereller rationaler Entscheidungsvorgänge hinterfragen. Wie sich herausstellt, werden dabei vier Voraussetzungen angenommen:

- Eine kardinale Nutzenfunktion
- Eine endliche Menge von alternativen Strategien

---

25 Im Normalfall allerdings nur näherungsweise, weil Computer nur eine abzählbare, in endlicher Zeit endliche Anzahl von Zahlen darstellen können. Es besteht also immer Unbestimmtheit, die im Sinne angemessener Genauigkeit der Zahl ausgelagert werden muss. Ähnlich arbeiten alle numerischen Verfahren zur Vereinfachung komplexer Gleichungen.

- Eine mit jeder Strategie verbundene Wahrscheinlichkeitsverteilung für die zukünftigen Szenarien
- Eine Politik der Nutzenmaximierung<sup>26</sup>

Herbert Simon, Vater der psychologischen Ökonomie und Protagonist der frühen Forschung zur Künstlichen Intelligenz, weist darauf hin, dass diese Voraussetzungen wirklichkeitsfremd sind: »Unsere Theorie vernachlässigt vollkommen den Ursprung der Werte, die in die Nutzenfunktion eingehen; sie sind einfach da, schon wohlgeordnet, um konsistente Präferenzen für die verschiedenen Zukunftsmöglichkeiten auszudrücken, die zur Wahl stehen könnten. Genauso wenig werden die Prozesse, mit deren Hilfe die Tatsachen der gegenwärtigen und zukünftigen Zustände der Welt festgestellt werden, erfasst. Im besten Falle zeigt uns dieses Modell, wie man über Tatsachen und Wertprämissen vernünftig nachdenkt.«<sup>27</sup> Optimierung erfasst nur einen Teil der Komplexität von Lebenswirklichkeit. Der Rest bleibt wiederum dem Menschen überlassen. Die Vorstellung, dass mit Optimierung das Bedienen selbst erleichtert wird, ist eine Illusion: »Wenn diese Annahmen explizit gemacht werden, wird offensichtlich, dass die Theorie des subjektiven erwarteten Nutzens niemals in der realen Welt angewendet wurde oder angewendet werden wird – mit oder ohne Computer, gleich welcher Größe. Und doch begegnet man vielen angeblichen Anwendungen [...] Beim näheren Hinsehen weisen diese Anwendungen zwar die formale Struktur der Theorie auf, sie setzen aber für das unwahrscheinliche Entscheidungsproblem, das in dieser Theorie postuliert wird, etwas anderes ein: entweder ein hoch abstrahiertes Problem aus einer auf eine Menge Gleichungen und Variablen reduzierten Welt, wobei die Nutzenfunktion und die gemeinsame Wahrscheinlichkeitsverteilung der möglichen Ergebnisse vorausgesetzt werden, oder ein Mikroproblem, bezogen auf eine enge, wohl definierte und begrenzte Situation, die aus der größeren Realität der tatsächlichen Welt herausgenommen wird.«<sup>28</sup>

26 Vgl. Simon, H.A.: Homo rationalis - die Vernunft im menschlichen Leben. Frankfurt a.M. 1993.

27 Ebd. S. 23.

28 Ebd. S. 23f.

## Ermöglichung von Optimierung durch Begrenzte Rationalität

Man könnte vermutlich darüber streiten, ob alle Technisierungen von Bedienung Optimierungen sind. Auf jeden Fall aber sind in vielen Implementationen solcher Vorgänge Algorithmen enthalten, die explizit eine Optimierung durchführen, angefangen bei der Erzeugung von Telefonverbindungen bis zur Einspritzung von Benzin in die Brennkammer eines Motors. Ein sehr anschauliches Beispiel für komplexe Optimierung bietet die Produktionsplanung in einer Fabrik. Der technische Vollzug, der hier überformt wird, ist die Herstellung des Produkts. Der Vollzug, der dabei stattfindet, lässt sich mit dem folgenden Auftrag beschreiben: Nimm die vorhandenen Produktionsaufträge und ordne ihnen Termine für alle Fertigungspunkte in der Fabrik so zu, dass die Produktion minimalen Aufwand verursacht. Die Produktionsplanung ist ein klassisches Problem der Informationstechnologie und hat maßgeblich zur Herausbildung des »Operations Research« als eigener Fachdisziplin innerhalb von Informatik und Ökonomie geführt. Es gibt verschiedene Modellierungen der Planungsprozesse in Abhängigkeit von der Fabrikstruktur, beispielsweise das so genannte Job Shop Problem, das beliebige Fertigungslinien erlaubt oder das Flow Shop Problem, das eine einzelne Fertigungsstraße voraussetzt. Komplexität und Lösungswege für diese Modellierungen wurden ausführlich erforscht. Es gibt heute verschiedene leistungsfähige analytische oder heuristische Optimierungsverfahren, die zur Produktionsplanung eingesetzt werden. Was beim Vollzug der Planung in der Praxis geschieht, entspricht dabei jedoch sehr genau der Analyse Herbert Simons: Angesichts der Komplexität von Abläufen in einer modernen Fabrik fehlt die notwendige Transparenz, um den Aufwand so aufzubereiten, dass er vom Optimierungssystem verarbeitet werden kann. Obwohl jeder Ablauf in der Fabrik genau formalisiert, mit dem Betriebsrat abgesprochen und über DIN-Normen zertifiziert ist, bleibt die formale Darstellung des Gesamtaufwands, die für den Vollzug der Optimierung notwendig ist, unbestimmt.

Simon hat beschrieben, wie der Mensch mit Optimierungsansätzen umgeht. Er hat dazu den Begriff der Bounded Rationality eingeführt, der als Begrenzte Rationalität ins Deutsche übersetzt wird, was den Kern des Begriffs aber nicht ganz trifft.

Bounded Rationality behilft sich bei der Erzeugung einer Repräsentation dadurch,

- dass sie nur auf diejenigen Informationen zugreift, die dem Menschen tatsächlich praktisch zugänglich sind. Die Problemsituation wird nicht vollständig beschrieben. Insbesondere wird keine Kenntnis von Wahrscheinlichkeitsverteilungen für den Nutzen jeder Alternative erwartet.
- dass Situationen nur in der Komplexität erfasst werden können, die der menschliche Geist verarbeiten kann. Die algebraische Struktur des Problems wird nicht von der Berechenbarkeit eines Gleichungssystems, sondern von der intuitiven Durchschaubarkeit für den Handelnden bestimmt.
- dass komplexe Systeme mit mannigfaltigen Zielen sich für den Handelnden in Wirklichkeit als Menge von Teilproblemen darstellen, die miteinander verknüpft sind, aber separat bearbeitet werden.
- dass Entscheidungen nicht nach dem Prinzip der Gewinnmaximierung getroffen werden, sondern im Hinblick auf eine aus Sicht des Benutzers hinreichend gute Qualität (Satisficing) bezüglich der einzelnen Ziele, durch die ein Ausgleich zwischen den Teilproblemen ermöglicht wird.<sup>29</sup>

Durch Bounded Rationality erzeugt der Benutzer Transparenz. Er zwingt die Problemsituation in eine rationale Form, aus der die Messung des Aufwands abgeleitet werden kann. Die Optimierung, die darauf durchgeführt wird, stellt nur noch einen Teilumfang des im System vorhandenen Optimierungspotentials dar. Manche Freiheitsgrade bei der Berechnung können durch die Vereinfachungen, die der Benutzer vorgenommen hat, nicht mehr genutzt werden. In gewisser Weise kommt es also zu einer Inversion des Prinzips der Angemessenheit, das im vorherigen Kapitel diskutiert wurde. Die Optimierungsstruktur übernimmt die Rolle der Wirklichkeit, die Beherrschbarkeit durch den Menschen wird die deterministische Einschränkung, die Unschärfen notwendig macht. Die Lücke zwischen Beschreibbarkeit und Beherrschbarkeit spiegelt die Lücke zwischen Wirklichkeit und Begriffswelt, wobei die technischen

---

<sup>29</sup> Nach Simon H.A.: A Behavioural Model of Rational Choice, in: *Quarterly Journal of Economics* 69. New York 1955. S. 99-118.

Artefakte nun auf der anderen Seite der Lücke stehen. Im technischen Vollzug wird die Unbestimmtheit nicht auf den Zugriff auf die Wirklichkeit ausgelagert, sondern auf die Kontrolle durch den Benutzer.

### 2.2.3 Delegation an das Nichts

#### Automatische Konfigurationen

Sobald Regelungsvorgänge formalisiert sind, besteht natürlich auch die Möglichkeit, den Benutzer vom Zwang einer Eingabe der notwendigen Information zu befreien, indem die Regelungsimpulse bereits mit bestimmten Werten vorbelegt sind. Bei Zusatzgeräten für Computer hat sich dafür die Phrase »Plug and Play« durchgesetzt. Sie weist darauf hin, dass die Geräte durch einen Startimpuls betrieben werden können, sobald sie mit dem Computer verkabelt sind. Alle weiteren Konfigurationen des Systems, die für das Zusammenspiel der verschiedenen Komponenten von Hardware und Software notwendig sind, erfolgen automatisch im Hintergrund. Damit dieses Vorgehen funktionieren kann, muss erstens jede Verbindung zwischen den Komponenten normiert und zweitens das Verhalten des neuen Geräts innerhalb des Gesamtsystems fest bestimmt sein. Letzteres wird dadurch gewährleistet, dass eine bestimmte Funktionsweise des Geräts in Abhängigkeit von dem angetroffenen Gesamtsystem bereits als fixe Konfiguration vorbelegt ist, die zum Zeitpunkt der Inbetriebnahme geladen wird. Eine solche Konfiguration setzt sich aus verschiedenen Datensammlungen zusammen, die fest in den Geräten oder als Dateien auf den Speichermedien des Systems zu finden sind. Diejenigen Informationen, die sich durch Eingriffe eines normalen Systembenutzers ändern könnten, sind in Dateien mit der Endung »ini« hinterlegt. Der Computer, auf dem diese Arbeit geschrieben wird, ist ein handelsüblicher Laptop ohne besondere Zusatzinstallationen. Auf dem Computer sind insgesamt 1201 solcher »ini«-Dateien vorhanden, die gemeinsam einen Speicherplatz von 347 MB belegen, was knapp etwa 1800 mal so viel ist wie der Speicher, den der rohe Text dieser Arbeit einnimmt. Wer diese Arbeit also in einem Tag lesen könnte, bräuchte mindestens 5 Jahre, um alle diese Informationen im selben Tempo durchzuarbeiten. Selbst unter der Vorausset-

zung, dass 99 Prozent der »ini«-Dateien überflüssig sind, kann man daraus schließen, dass jeder Benutzer dazu verdammt ist, fast alle Konfigurationsmöglichkeiten, die das System für den Benutzer bereithält, unangetastet zu lassen. Während der Privatmann diese Tatsache noch mit einem Schulterzucken hinnehmen kann, stellt die Überflutung an Konfigurationsmöglichkeiten für die industrielle Nutzung von Computern ein lautes Risiko dar: da es sich hier um Konfigurationen handelt, die der Benutzer frei einstellen kann, wird kaum ein Hersteller bereit sein, für Funktionsstörungen geradestehen, die durch die unangemessene Belegung dieser Konfiguration verursacht werden, denn der Benutzer kann sie ja entsprechend ändern. Während dies im Einzelnen noch durchführbar erscheinen könnte, ist es in Summe sicher nicht mehr möglich. Der Benutzer ist also Konfigurationsvorgaben ausgeliefert, von denen er nicht weiß, woher sie kommen und auf welchen Annahmen über die Benutzung des Systems sie beruhen. Die Bedienungskomplexität wird wiederum durch Vereinfachung und Entstellung aufgelöst. Dafür ist nun aber nicht mehr die Bounded Rationality der Situationswahrnehmung des Benutzers verantwortlich, sondern die Ablage der Konfiguration als ein Wissen, das ob seiner Menge nicht gewusst werden kann. Trotz aller Determiniertheit der technischen Vollzüge bleibt unbestimmt, was genau dabei eigentlich geschieht, weil die Parameter, unter denen die Vollzüge stattfinden, intransparent sind.

Man sollte nun annehmen, dass technische Vollzüge in einem derartigen Szenario problematisch werden, ähnlich wie es Luhmann in seinen Überlegungen zum Risiko dargestellt hat.<sup>30</sup> Auch dort ist die Rede von der Steigerung des Nichtwissens durch immer mehr Wissen, wenn die Auslagerung der Komplexität aus der Technik in ihre Bedienung nicht mehr stattfindet. Kaminski beschreibt dies mit den folgenden Worten: »Die Technik bestimmende Form von simplifiziertem Innen und komplexem Außen findet sich in einer Art re-entry in der Technik selbst wieder und dies ist eine Transkription der Figur: Steigerung des Nichtwissens durch Steigerung des Wissens.«<sup>31</sup>

30 Luhmann, N.: Soziologie des Risikos, Berlin 1991.

31 Kaminski, A.: Nichtwissen im Überfluss? Einige Präzisierungsvorschläge im Hinblick auf Nichtwissen und Technik, in: Gamm,

Tatsächlich lassen sich aber kaum negative Auswirkungen auf den Alltag technischer Vollzüge durch Nichtwissen feststellen. Die genauen Bedingungen des Einsatzes von Technik scheinen uns zum überwiegenden Teil egal zu sein, solange die Technik nur ungefähr das tut, was wir von ihr erwarten. Mit anderen Worten: es verändert sich nur die Art, wie wir die Ungewissheit im Umgang mit der Technik aufarbeiten, nicht der Grad an Ungewissheit selbst. Wir steigern die Genauigkeit des Technischen und verlieren dabei an Sicherheit oder umgekehrt. Den Fall, in dem wir verzweifelt nach der richtigen Einstellung des Textverarbeitungssystems suchen, um eine spezielle Sonderfunktion wunschgemäß anzuwenden, akzeptieren wir, weil im hundert Fälle gegenüberstehen, in denen uns die genaue Formatierung, die das System durchführt, leidlich egal ist. Bei unserem liebsten Spielzeug, dem Auto, gilt ähnliches. Zwar ist das Murren über hohe Betriebskosten und Störungen im Verkehr groß, aber dadurch steigert sich nicht die Reflexionstiefe, in der wir darüber nachdenken, wie wir Autofahren, Gas geben, Spurens wechseln, Reifen aufpumpen und die Maschine einstellen, obwohl dort – so lautet der immer wiederkehrende Hinweis der Automobilclubs – viele Verbesserungsmöglichkeiten vorhanden sind. Die Vorstellung vom Autofahren bleibt diffus. Sie genauer und komplexer zu machen, scheint keine Option zu sein.

### Verdeckte Voreinstellungen

Es hat den Anschein, dass sich der Umgang, den Menschen mit der Technik pflegen, weniger an der Ausprägung von Gewissheit orientiert, nach der technische Vollzüge determiniert sind, sondern eher, wie Kaminski es ausdrückt, einem »pragmatischen Gleiten durch die Welt« entspricht.<sup>32</sup> Dabei scheint es die Ungewissheit selbst zu sein, die das reibungslose Weitermachen ermöglicht. Kaminski knüpft an die Überlegungen Wittgensteins über exakte Aussagen an. Wittgenstein weist auf die Allgegenwart unexakter Aussagen hin, die aber kein Problem darstellen muss, weil unexakt eben nicht dasselbe bedeutet

---

G., Hetzel, A. (Hrsg.): Unbestimmtheitssignaturen der Technik. Bielefeld 2005, S. 183-201. S. 191.

32 Ebd. S. 194.

wie unbrauchbar.<sup>33</sup> Wie wir vorher schon gesehen haben, ist eine angemessene Ungewissheit der Weltbezüge oft Voraussetzung für die Ermöglichung erfolgreichen Handelns. Hier tritt nun der umgekehrte Effekt ein: Auch exakt formulierte Aussagen werden so interpretiert als wären sie ungewiss. Es kann stets alles etwas anders sein, als wir es uns vorstellen. Als Gegenbewegung zum Wissen um die Unvermeidlichkeit des Irrtums steigt die Toleranz gegenüber Abweichungen: Wir nehmen in Kauf, dass auch die exakte Technik nie ganz das tut, was wir von ihr wollen, obwohl Technik ja mit hohem Aufwand so konstruiert ist, dass Bestimmtheit entsteht. Unsere Erwartung, dass wir auf die exakte Funktion der Technik vertrauen können, macht uns toleranter gegenüber Fehlfunktionen der Technik. Solange die Technik funktioniert und ein Ergebnis liefert, das im Großen und Ganzen mit unseren Erwartungen übereinstimmt, sind wir bereit, über kleine Abweichungen hinwegzusehen und sie ohne weitere Reflexion hinzunehmen. Die Auflösung der Differenz zwischen Vorstellung und Wirklichkeit findet hier dadurch statt, dass auf den Anspruch auf Exaktheit der Vorstellung verzichtet wird.

Diese Haltung hat eine weitere Konsequenz. Wenn Technik akzeptabel ist, auch wenn sie nicht genau so funktioniert, wie wir wollen (oder allerwenigstens erklärbar nicht funktioniert, so dass wir ihre Funktionierbarkeit nicht in Frage stellen), dann wächst der Druck, Zugeständnisse an das Ergebnis unseres Tuns zu machen, nur damit es nicht unterbunden wird. Das einzige, was nicht passieren darf, ist, dass Technik gar nicht funktioniert und wir nicht wissen warum. Lieber nehmen wir in Kauf, dass wir von Zeit zu Zeit mit Ergebnissen unseres Tuns leben müssen, mit denen wir nichts anzufangen wissen. Es ist in Ordnung, dass wir uns mit dem Hammer manchmal auf die Finger klopfen und Flugzeuge abstürzen. Fehlschläge gehören nicht nur zur Technik dazu, sie werden bewusst einkalkuliert.

Sehr schön nachzuvollziehen ist dieses Phänomen bei Computerprogrammen, insbesondere im Internet. Normalerweise erfordern die Programme eine Reihe von Eingabedaten, nach deren Setzung ein Startknopf betätigt wird, der die Berechnung

---

33 Wittgenstein, L.: Philosophische Untersuchungen. A.a.O. § 68.

anstößt. Sind die Programme sauber konzipiert, so wird vor dem Start der Berechnung abgeprüft, ob alle Eingabefelder gesetzt sind. Wenn nicht, dann wird die Berechnung abgebrochen und eine Fehlermeldung erscheint. Gibt es viele Eingabefelder, die vielleicht noch untereinander abhängig sind und auf mehreren Masken hintereinander angezeigt werden, steigt der Aufwand für die Eingabeprüfung schnell an. Oftmals lässt sich durch geschicktes Hin- und Herspringen zwischen den Masken eine Situation erzeugen, in der die Eingabeprüfung nicht vollständig ausgeführt wird und leere Felder an das Programm übergeben werden. Man sollte annehmen, dass die Berechnung dann abstürzt. Tatsächlich laufen viele Programme aber trotzdem zu Ende und produzieren eine Ausgabe, die völlig normal aussieht, inhaltlich aber widersinnig ist. In diesem Fall verhindert die Programmierung die Katastrophe des Absturzes, indem alle Felder grundsätzlich mit Werten vorbelegt sind, die ein Weiterrechnen ermöglichen. Man spricht dabei von Default-Werten.

In der beschriebenen Situation scheint das Heranziehen der Default-Werte zur Berechnung eine geringfügige Anomalie des Programms zu sein. Anders sieht es aus, wenn man sich die internen Strukturen komplexer Programme vor Augen hält. Solche Programme bestehen schnell aus mehreren hunderttausend Zeile Code, die in einzelne Dateien, Objekte und Prozeduren gepackt sind. Die Anzahl der Variablen, die im Programm verwendet werden, ist dabei meist exponentiell höher als die Anzahl der Variablen, die vom Benutzer abgefragt werden. Jede dieser Variablen kann zum Abbruch des Programms führen, wenn sie nicht richtig initialisiert ist. Da der Programmierer oft schwer vorhersehen kann, wann welche Variable von einem anderen Teil des Programms aufgerufen wird, liegt es für ihn sehr nahe, die Variablen mit einem sinnvollen Wert vorzubelegen. Die Setzung des Werts anhand der Benutzereingaben ist eine andere Aufgabe, die an einer anderen Stelle des Codes und möglicherweise auch von einem anderen Programmierer bearbeitet wird, der die Default-Setzungen der Variablen nicht kennt. In komplexen Programmen wimmelt es an Variablen, die zu irgendeinem Zeitpunkt der Programmausführung irgendeinen Wert haben, den sich irgendeiner der Programmierer einmal ausgedacht hat. Der Umgang mit numerischen Vari-

ablen ist meist noch recht überschaubar, weil in den meisten Fällen 0 oder 1 als Default herangezogen werden. Berührt sind Datumsvariablen, für die unterschiedlichste Default-Werte vorliegen. So wird unter anderem mit dem ersten Januar der Jahre 0, 1900, 1971, 2031 aber auch oft mit dem Geburtsdatum des Programmierers oder seinem voraussichtlichen Eintrittsdatum in den Ruhestand gerechnet. Wie unangenehm es ist, wenn man nicht weiß, wie Datumsvariablen gefüllt sind, lässt sich an der Verwirrung um das Jahr 2000 nachvollziehen, als niemand genau sagen konnte, wo in den Programmen mit wie viel Stellen gerechnet wurde, und ob die Computersysteme nach dem Jahreswechsel mit 2000 oder mit 00 weiterarbeiten würden. Besonders häufig führen Variablenbelegungen bei wissenschaftlichen Programmen zu Problemen, bei denen explorative Datenanalyse betrieben wird. Default-Werte von Variablen können dort Muster in der Auswertung hinterlassen, wie es beispielsweise auch ein Netzbrummen oder Dreck auf dem Objektträger des Mikroskops machen, und somit systematische Fehler im Vollzug erzeugen, wie man sie aus wissenschaftlichen Messungen kennt.

## 2.3 Auslagerung durch Eintauchen

### 2.3.1 Die technische Modellierung der Welt

#### Determiniertheit als einziger Seinszustand

Man kann die Aussage des Parmenides, dass »nur seiendes ist, nichts dagegen nicht«<sup>34</sup> als Stellungnahme aus der Perspektive des Handelnden zu den eben aufgeführten Phänomenen der Unbestimmtheit im Umfeld der Technik verstehen: es macht keinen Sinn, über Dinge zu sprechen, die nicht determiniert werden können. Nur dem, auf das man Zugriff hat, wird auch der Zustand des Seins zugebilligt. Im hier verwendeten Verständnis von Technik ist dies natürlich nichts anderes als dasjenige, was technisch modelliert worden ist. Eine solche Positionierung erlaubt es dem Menschen noch lange nicht, die die

---

34 Parmenides: Fragmente, 6,1, in: Ders: Vom Wesen des Seinenden. A.a.O.

Technik umgebende Unbestimmtheit auszublenden, sondern verschiebt zuerst einmal nur die Sichtweise, ähnlich wie bei Platon, der im Wesentlichen dem Weg des Parmenides folgt und der sinnlich erfahrbaren Wirklichkeit nur noch die Rolle von Erscheinungen zubilligt. Man kann sich dann jedoch auf den Standpunkt stellen, dass die Determinierung ein Raster gibt, das man über die ganze Welt legen und damit alles deterministisch abbilden kann. Das Uhrengleichnis von Leibniz träge dann zu. Die Welt wäre vollständig als Maschine darstellbar, die nach den Regeln der Vernunft funktioniert. Gerade dies ist das stillschweigende Versprechen, das das Technische seit Parmenides an die Menschen gegeben hat: dass sie über die Determiniertheit aus den Schatten herausfinden, dass sie erleuchtet werden, befreit von Zweifel und Unsicherheit, selbstständig im Sinne einer Fähigkeit, die Welt aus der exzentrischen Positionalität des vernünftig Handelnden begreifen zu können.

Mit anderen Worten: Technik wäre nicht nur eine Erschließung der Welt nach dem Kausalitätsprinzip, sondern die Offenbarung der Welt als solcher. Trotz aller Einwände, die beispielsweise wie bei Kant die Reichweite der Vernunft einschränken oder wie bei Heidegger ihr Alleinstellungsmerkmal für den Zugriff auf das Sein in Frage stellen, bleibt das pragmatische Argument, dass dieses Versprechen am Leben erhält, weiterhin unangefochten: Technik funktioniert. Mehr noch: Technik ist genau das, was funktionieren kann als dasjenige, was deterministisch operiert. Es gibt nichts anderes, an das man sich als Betrachter halten kann. Letztendlich, so Hubig, scheinen alle unsere Konzepte der Welt immer schon technomorph verfasst zu sein.<sup>35</sup> Es gibt keine Möglichkeit, bestimmte Aussagen über die Welt zu treffen, ohne dabei Strukturen aufzubauen, die selbst wieder als technisch aufgefasst werden können. Warum also nicht in einen technomorphen Positivismus verfallen, in dem tatsächlich nur noch das gilt, das determiniert ist? Anders als bei Parmenides geht es dann nicht mehr darum, zur Welt Stellung zu nehmen, sondern sie tatsächlich technisch nachzubauen und die eigene Existenz auf dieses Konstrukt einer virtuellen Ersatzwelt zu beschränken. Angesichts

---

35 Hubig, C.: Die Kunst des Möglichen I. Technikphilosophie als Reflexion der Medialität. Bielefeld 2006, S. 77ff.

einer fortschreitenden Durchdringung des Alltags mit Technik scheint die Virtualisierung und Informatisierung der Welt in elektronischen Signalen ohnehin unaufhaltbar. Nichts scheint näher zu liegen, als sich im Zuge dieses Prozesses aus den Armen von Mutter Erde zu lösen und bei Vater Computer Zuflucht zu suchen, der nun seinerseits in den Tiefen des Datenspeichers Sicherheit vor dem Unbestimmten verspricht. Schlussendlich geschieht dabei nichts anderes, als dass eine Metapher durch eine andere ersetzt wird, die vermutlich mehr Ehrlichkeit und Objektivität erlaubt als vorher.

Eine Entwicklung in dieser Richtung erscheint zuerst einmal gar nichts Neues zu bringen. Technik als »materialisierte Handlungstheorie«<sup>36</sup> diene immer schon der Erschließung von möglichen Abläufen mit dem Ziel, sie steuerbar zu machen und damit die Anstrengungen des Lebens zu erleichtern. Ist Technik, so wiederum Hubig an anderer Stelle, dann »nicht auch höherstufig zu begreifen als Ersparnis der Anstrengung eines immer neu zu erbringenden Aufwandes an kognitiven Leistungen und normativer Orientierung?«<sup>37</sup> Dass die damit einhergehende Ermöglichung auch eine Verunmöglichung mit sich bringt, bleibt unwidersprochen. Aber vielleicht ist die Erleichterung durch Beschränkung auf eine informatisierte, technisch bestimmte Welt es ja wert, die Spuren aufzugeben, anhand derer wir Sein und Sollen hinter der Technik auflösen und unser Bewusstsein für das Handlungsmodell der Technik schärfen. Denn das ist es, was nun nicht mehr geht: Technik ist, wenn sie verabsolutierte Umgebung ist, nicht mehr Mittel im Sinne der Handlungstheorie, sondern ein Medium, das anstrebt, aus der Wahrnehmung zu verschwinden.<sup>38</sup> Technik wird dann nicht mehr aus einer exzentrischen Perspektive betrachtet, sondern ist stets schon vorher da.

36 Hetzel, A.: Technik als Vermittlung und Dispositiv. A.a.O. S. 277.

37 Hubig, C.: »Wirkliche Virtualität« Medialitätsveränderung und der Verlust der Spuren. A.a.O. S. 41.

38 Vgl. Krämer, S.: Das Medium als Spur und als Apparat, in: Krämer, S. (Hrsg.): Medien - Computer - Realität. Frankfurt a.M. 1998, S. 73-93. S. 74.

## Bestimmte Modellierungen der Welt und die Mengenlehre

Die Entwicklung der Mengenlehre in den vergangenen hundertzwanzig Jahren ist unter diesem Gesichtspunkt recht aufschlussreich: Im zweiten Teil des neunzehnten Jahrhunderts betrieb Georg Cantor mit der Entwicklung der Mengenlehre den Versuch einer Verbindung von Anschauung und mathematischer Formalisierung. Trotz aller Fortschritte in der Entwicklung ihres Apparates war es der Mathematik noch nicht gelungen, eine Brücke zwischen den Objekten unserer Anschauung und den abstrakten Operationen des Mathematischen Universums zu schlagen. Mathematik schwebte als Kosmos der Determiniertheit über einer Realität, gleichsam wie die Technik als bestimmte Operation in der Realität schwimmt, beim Übergang aber stets auf die schon beschriebenen Phänomene von Unbestimmtheit trifft. Mit der Mengenlehre sollte nun eben das geschehen, was die Informatisierung der Welt heute auch zu ermöglichen verspricht: die Welt sollte in Gänze auf den Kosmos der Mathematik abbildbar gemacht werden. Den Ausgangspunkt dafür bildete die Vorstellung Cantors, die Frege später in das so genannte Komprehensionsaxiom übernommen hat, dass Mengen beliebige Zusammenfassungen von Objekten unserer Anschauung oder unseres Denkens zu einem gemeinsamen Ganzen sind.<sup>39</sup> Durch den Vergleich von Mengen gelangt man daraus zu einer Aussage hinsichtlich ihrer extensionalen Größe, die mit der Einführung weiterer Relationen zwischen Mengen schließlich auf formalem Weg natürliche Zahlen, abzählbare Mengen, Rechenoperationen und den ganzen Kanon mathematischer Objekte konstruieren kann. Umgekehrt wird es dadurch möglich, mit allen Sammlungen anschaulicher und vorstellbarer Objekte mathematisch umzugehen. Freges große Leistung bestand darin, diese Herleitung vollständig in den Grundgesetzen der Arithmetik auszuformulieren. Damit lag ein Bestimmtheitsraster vor, das über die gesamte Welt gelegt werden konnte, und ähnlich wie die Konstruktion reeller Zahlen durch Intervallschachtelung beliebig genau auf die Objekte der Realität ausgedehnt werden konnte. Ein Korollar dieser Struktur wäre die deterministische Erfassung der Welt im Sinne des Techni-

---

39 Vgl. Purkert, W., Ilgus, H.J.: Georg Cantor. Birkhäuser 1987.

schen gewesen. In Anlehnung an das aus der Antike bekannte Paradoxon des Lügners formulierte Russel jedoch 1901 eine Antinomie, die beweist, dass eine Konstruktion des mathematischen Universums auf Basis des Komprehensionsaxioms stets widerspruchsvoll sein muss, wodurch nicht nur die Kernaussage von Freges Werk demontiert, sondern auch die gesamte Mathematik in ihre so genannte Grundlagenkrise gestürzt wurde.

Viele Mathematiker haben darauf hingewiesen, dass die Grundlagenkrise keineswegs eine Krise der Mathematik insgesamt war. Es wurde weiterhin gerechnet und niemand stellte das Rechnen an sich in Frage. Ähnlich wie die Technik fuhr die Mathematik – die als Intellektualtechnik Teilaspekt der Technik ist – fort, erfolgreich zu funktionieren. Nicht die Mathematik selbst wurde beschädigt, sondern das Vertrauen in die Natürlichkeit ihrer Einbettung in die Welt. Der Ausweg der Mengenlehre aus dieser Lage bestand in der Entwicklung eines Axiomensystems, das ohne das Komprehensionsaxiom auskommt. Dieses Axiomensystem, das in der Formulierung von Zermelo und Fraenckel am bekanntesten ist, kann ebenso als Grundlage für die Herleitung sämtlicher mathematischer Objekte dienen, setzt aber gezwungenermaßen und allem Anschein nach auch unvermeidlicherweise an einem Mengenkonzept an, das konstruktiv und stufenweise aus dem Grundaxiom entwickelt wird, dass eine Menge existiert. Der Anspruch, Mengen bildeten Objekte der Anschauung oder des Denkens ab, wird gar nicht mehr erhoben, die Frage der Anwendbarkeit der Mathematik auf die Realität wird komplett aus der Mathematik verbannt. Damit einher geht der Verlust des Anspruchs an Vollständigkeit der Mathematik. Das Axiomensystem der Mathematik kann beliebig erweitert werden, um neue Objekte und Aussagen zu erschließen. Derartige Erweiterungen werden auch regelmäßig vorgeschlagen. Die gesamte Mathematik ist damit, wie Latakos es nennt, »quasi-empirisch«.<sup>40</sup> Sie hat zwar in sich analytische Gestalt und kann so durch Beweise und Berechnungen bestimmte Aussagen treffen. Ihr Fundament ist jedoch immer eine mehr oder weniger zufällige Setzung, die auf

---

40 Latakos, I.: Renaissance des Empirismus in der neueren Philosophie der Mathematik? In: Büttemeyer, W. (Hrsg.): Philosophie der Mathematik. Freiburg 2003, S. 183-202. S. 187.

der Erfahrung des Menschen beruht, was logisch funktioniert und was nicht.

Entsprechend dieser Beschränkungen gibt es in der Mengenlehre heute verschiedene Schulen, die sich im Hinblick auf die Frage nach der Realität stark unterscheiden und dabei erkenntnistheoretische Standpunkte einnehmen, die auf den vorherigen Seiten dieser Arbeit bereits angeschnitten wurden:<sup>41</sup>

- Der »Platonist« geht davon aus, dass es tatsächlich keine andere formale Darstellung der Welt gibt als diejenige, die von der Mathematik entwickelt wurde. Sofern die Welt überhaupt determiniert werden kann, wird sie dies auf jeden Fall in der Weise, wie sie von der Mathematik vorgegeben wird. Insofern ist für den Platonisten die Mathematik die determinierte Welt.
- Der »Formalist« betrachtet das Universum der Mathematik als eine mehr oder minder beliebige Kulturleistung und wehrt sich gegen alle Ansprüche der Mathematik gegenüber der Realität. Als kognitives Konstrukt muss die Mathematik für den Formalisten stets vom Menschen überprüfbar bleiben. Er lehnt deshalb alle Existenzforderungen, die über die Grundaussage, dass irgendeine Menge existiert, ab. Dazu gehört insbesondere, unendlich große Objekte axiomatisch zu entwickeln.
- Der »Konstruktivist« und der »Intuitionist« dehnen die Ansichten des Formalisten dahingehend noch weiter aus, dass sie von allen Aussagen der Mathematik fordern, sie müssten vom Menschen Schritt für Schritt konstruierbar, beziehungsweise intuitiv nachvollziehbar sein. Sie lehnen damit auf jeden Fall sämtliche Beweise ab, die mittels vollständiger Induktion gewonnen werden.
- Der »Konzeptualist« vertritt einen eher pragmatischen Standpunkt, der jede Erweiterung des mathematischen Universums durch Hinzunahme weiterer Axiome akzeptiert, solange diese Axiome zu einer Ausdehnung der Aussagefähigkeit der Mathematik dienen. Alles ist erlaubt, so-

---

41 Sehr anschaulich in: Ebbinghaus, H.-D.: *Kreise, Zahlen, Mengen – eine Diskussion über die Gegenstände der Mathematik*, in: Ebbinghaus, H.-D., Vollmer, G. (Hrsg.): *Denken unterwegs. Fünfzehn metawissenschaftliche Exkursionen*. Stuttgart 1992, S. 9-21.

lange es seinen Zweck hat und widerspruchsfrei ist oder, anders formuliert: funktioniert. Mathematik ist also beliebiges Konstrukt, aber weiterhin eines, an das man sich halten sollte, weil es schlichtweg nichts anderes gibt, das Vergleichbares leisten könnte.

Werden diese Standpunkte auf die Technik im Allgemeinen übertragen, so ergeben sich daraus Perspektiven, in denen Technik als Instrument, als Medium, oder gar als ausschließlicher Reflexionsbegriff für die Welt betrachtet wird. Was sich aus der Geschichte der Mengenlehre ablesen lässt ist die Notwendigkeit, sich danach zu fragen, welche Reichweite die Technik hat. Als Intellektualtechnik hat die Mathematik ja schon nachgewiesen, dass die Bestimmtheit der Technik niemals ein vollständiges Weltkonstrukt etablieren kann. Es muss nun geklärt werden ob sie ausreicht, den Menschen von der Notwendigkeit einer Konfrontation mit Unbestimmtheit im Alltag zu befreien.

### 2.3.2 Der Horizont des Tertium Non Datur

#### Berechenbarkeit und Entscheidbarkeit

Russels Einwand gegen die Allgemeingültigkeit des Komprehensionsaxioms von Frege folgte einem beliebten logischen Argumentationsmuster: Aus der Existenzforderung des Axioms wird die Existenz eines selbstbezüglichen Objekts abgeleitet, dessen Selbstbezüglichkeit einen unvermeidlichen Widerspruch erzeugt. Infolgedessen muss auch das zugrunde liegende Axiom widerspruchsvoll sein. Dieses Argumentationsmuster wird nicht nur in der Diskussion über die Objekte, sondern auch über die Methoden der Mathematik verwendet. Da diese Methoden analytisch sind, lassen sie sich selbst wieder formal darstellen. Eine besondere Rolle kommt dabei dem Konstrukt der Turing-Maschine zu, die als formale Repräsentation jedes Beweis- und Berechnungsvorgangs dient. Die Bezeichnung »Maschine« deutet darauf hin, dass dies als Äquivalent zu jeder determinierten Operation, die sich im Rahmen der Technik abspielt, verstanden wird. Die bekannteste Aussage über Beweisbarkeit, die in diesem Umfeld gemacht wurde, stammt von Kurt Gödel. Sie wurde ursprünglich nicht mit Bezug auf das

Konstrukt der Turing-Maschine formuliert, wird aber heute oftmals so dargestellt.<sup>42</sup> Gödel zeigt nach dem oben beschriebenen Muster auf, dass es beliebig viele mathematische Sätze gibt, die wahr, aber nicht beweisbar sind. Mit anderen Worten: es gibt Aussagen, die zutreffen, aber niemals durch das analytische System der Mathematik – wie auch immer es noch verändert würde – beweisbar sein werden. Tatsächlich gibt es Mathematiker, die potentielle Beispiele für solche Sätze konkret diskutieren. Ebbinghaus führt dazu die Goldbachsche Vermutung an, die besagt, dass sich jede gerade Zahl als Summe zweier Primzahlen schreiben lässt. Diese Vermutung »ist bis heute weder bewiesen noch widerlegt. Trotzdem sind so gut wie alle Mathematiker davon überzeugt, dass alle geraden Zahlen größer als 3 Goldbachsch sind oder dass es eine gerade Zahl größer als 3 gibt, die nicht Goldbachsch ist.«<sup>43</sup> Sie gehen aber nicht davon aus, dass sich ein Beweis für die Goldbachsche Vermutung oder ihre Verneinung tatsächlich finden lässt. Das Tertium non datur, so Ebbinghaus, ist als Grundbestandteil der mathematischen Vorgehensweise für sich allein tragfähig, auch wenn es nicht mit der analytischen Determination der beiden Alternativen zusammenfällt.

Eng verwandt mit dem Thema der Unvollständigkeit beweisbarer Sätze ist die etwas technischer anmutende Frage, ob ein beliebiges Computerprogramm auf jeder möglichen Eingabe in endlicher Zeit ein Ergebnis berechnet. Diese Frage wird als Halteproblem bezeichnet. Auch hier lautet die Antwort, dass das Halteproblem im allgemeinen Fall nicht entscheidbar ist. Im Alltag der Informationstechnologie gibt es demzufolge keine Möglichkeit, die signifikant schneller wäre als das Durchprobieren, um einen gegebenen Programmcode auf Fehlerfreiheit zu prüfen. Durch geschickte Wahl der Testfälle ist es zwar oft möglich, einige auszulassen. Wollte man aber wirklich alle Möglichkeiten auf jeder beliebigen Installation abtesten, so wäre man unendlich lange beschäftigt. Es wird deshalb niemand daran zweifeln, dass für alle Programme eindeutig fest-

---

42 Vgl. z.B. Schöning, U.: Theoretische Informatik – kurzgefasst. Heidelberg u.a. 1995. S. 132ff.

43 Ebbinghaus, H.-D.: Kreise, Zahlen, Mengen – eine Diskussion über die Gegenstände der Mathematik. A.a.O. S. 13.

liegt, ob sie immer zu einem Ende kommen, oder ob sie sich im Einzelfall »aufhängen« und ewig weiterlaufen. Die Determiniertheit des Programms wird nicht in Frage gestellt, obwohl das Wissen darum, wie das Programm determiniert ist – ob es funktioniert oder nicht – grundsätzlich nicht verfügbar ist. Extrapoliert man diese Aussage auf die Technik insgesamt, so ergibt sich folgende Erkenntnis: Aus der Determiniertheit technischer Operationen folgt nicht ihre Kontrollierbarkeit. Es reicht nicht aus, Unbestimmtheit hinsichtlich der Einbettung der Technik in die Umwelt und ihrer Bedienung durch den Nutzer auszublenden; es wird nie vorhersagbar sein, wie Technik sich verhält. Diese Negation ist etwas qualitativ anderes als Intransparenz der Technik. Sie adressiert eine grundsätzliche logische Unmöglichkeit der Entscheidung, die in der deterministischen Struktur selbst verankert ist.

### Praktische Redundanzen und das Unerhörte

Karl Popper beschreibt die berufliche Kompetenz von Wissenschaftlern, Technologen und Technikern als die Fähigkeit, bewusst aus Fehlern zu lernen.<sup>44</sup> Nicht die Abbildung natürlicher Zusammenhänge in abstrakten Modellen oder die Konstruktion deterministischer Operationen zur Beschreibung und Durchführung von Handlungsvollzügen macht die Kompetenz des technisch tätigen Menschen aus, sondern die Fähigkeit, derartige Abbildungen und Konstrukte nach dem Prinzip der Falsifizierung, das Popper in der »Logik der Forschung« herausgearbeitet hat, weiterzuentwickeln. Insofern, als diese Systeme formal korrekt sind, stellt sich die Frage nach richtig oder falsch nicht darin, ob die Abbildungen und Konstrukte funktionieren, sondern wie sie funktionieren. Dass sie – irgendwie – funktionieren, ist über den Determinismus des Operierens ja abgesichert. Die berufliche Kompetenz, die Popper hier nennt, ist dann nichts anderes als die Fähigkeit, sich immer wieder neu in ihrem Themengebiet zurechtzufinden, wenn neue Ergebnisse dem widersprechen, was sie bisher dachten, wie Hegel das schon mit der List der Vernunft beschrieben hat. Für Arbeitsfelder wie die Medizin- oder Biotechnologie, die noch recht

44 Popper, K.: Alles Leben ist Problemlösen, in: Popper, K.: Alles Leben ist Problemlösen. München 1994, S. 255-264. S. 257.

jung sind und die Tendenz haben, selektiv in Einzelprozesse eines Gesamtsystems einzugreifen, dessen deterministische Modellierung bisher oft ziemlich fragwürdig erscheint, kann man dies als Problem der Auslagerung von Unbestimmtheit aus der Technik verstehen. In der Informationstechnologie und sogar der Mathematik wird jedoch auch getestet und probiert, obwohl man sich dort keine Gedanken mehr um die Einbettung der Technik in eine Umwelt machen muss. Zum einen dient dies der Vermeidung schlichter Konstruktionsfehler, die von der begrenzten Reichweite der menschlichen Auffassungsgabe verursacht werden und die wegfallen würden, wenn der Mensch nur hinreichend gescheit wäre. Zum anderen gibt es aber auch noch einen Rest an Fehlerpotential, den der Mensch nie ausräumen könnte, möge er so gescheit sein wie er will. Tests und Prüfungen sind auch deshalb notwendig, weil Informationstechnologie wie Mathematik in den oben beschriebenen Worten von Latakos eben quasi-empirisch sind. Eine letzte Sicherheit gibt es nur, wenn eine determinierte Operation nicht nur konstruiert, sondern für eine Eingabe konkret durchlaufen wird. Auch ein Computer, der einen Computer testet, kann grundsätzlich nicht mehr tun als dieses.

Wie sich zeigt, ist der Fall, dass ein System der Technik insgesamt beim Test tatsächlich »abstürzt«, eher selten. Einer dieser Fälle ist zweifellos der Beweis der Widersprüchlichkeit des Komprehensionsaxioms gewesen. Ebenso könnte man den Beweis des Hippasos für die Irrationalität von Diagonalen in einem Vieleck als Absturz der pythagoreischen Mathematik verstehen. Ein Beispiel für einen Absturz in der Informationstechnologie bietet das Jahr 2000 - Problem. Auch hier handelte es sich nicht um stümperhafte Programmierung, denn die betroffenen Systeme haben ja einwandfrei gearbeitet. Man hatte schlicht und einfach nur vergessen, sich über das Szenario der Jahrtausendwende Gedanken zu machen, als die Systeme programmiert wurden. Es scheint nur schwer vorstellbar, dass die gesamte Branche in der Neujahrsnacht von einem Desaster hätte überrascht werden können. In der millionenfachen Wiederholung, in der das Problem in den Systemen zum Tragen kam, musste es früher oder später wahrgenommen werden und in dem Augenblick auch schon in seiner ganzen Bandbreite ersichtlich sein, eben weil alle Systeme sich in der Art der Pro-

grammierung so stark ähneln. Entsprechend hatte das Problem keinen unwesentlichen Anteil an den Milliardensummen, die in den neunziger Jahren in die Informationstechnologie geflossen sind und die »New Economy« haben boomen lassen. Beim Jahreswechsel von 1999 auf 2000 kam es keineswegs zur großen Katastrophe, sondern die Zusammenbrüche wurden weitestgehend abgefangen. Meistens wurde rechtzeitig eine neue Software installiert oder die alte Software korrigiert. Im Einzelfall reichte es aus, das System über den Jahreswechsel herunterzufahren und danach neu zu starten, um den kritischen Punkt einfach zu umgehen. Als weiteres Beispiel für den Zusammenbruch einer Gesamtheit von Technik könnten die neueren Versionen des Betriebssystems Windows von Microsoft gelten. In den alten Versionen galt Windows (zu Unrecht) als stümperhaft entwickelt, weil es oft wegen Fehler zusammenbrach. In den neuen Versionen ist dies seltener geworden. Trotzdem gibt es immer wieder neue Lücken im System, nach denen Hacker mit Begeisterung suchen. Infolgedessen muss Microsoft regelmäßig Reparaturpakete verteilen, die die Software gegen neu entdeckte Lücken absichern. Dabei kommt es immer wieder zu absurden Wettläufen zwischen der Verbreitung der Reparaturpakete und der Verbreitung der Computerviren, die überall auf der Welt, meist nur aus einer unverantwortlichen Kinderei heraus, programmiert werden und inzwischen mehr Kosten verursacht haben als das Jahr 2000 – Problem. Windows, so muss man sagen, funktioniert in vollem Umfang nicht als fixe Installation, sondern nur über die regelmäßige Aktualisierung seiner Komponenten.

Aus dem Studium dieser Ereignisse lassen sich einige interessante Folgerungen ableiten.

- Auch in technischen Umgebungen, die vollständig auf determinierte Operationen eingeschränkt sind, entstehen immer wieder Probleme, an denen deutlich wird, dass das Wie des Vollzugs der Operationen nicht vollständig bekannt ist.
- Wenn man auf solche Fälle stößt, erscheinen sie meist ganz trivial und man fragt sich, wie sie übersehen werden konnten.
- Es kommt bei solchen Fällen selten zu ganz großen Katastrophen. Entweder kann das Problem schnell behoben wer-

den, oder die kritischen Fälle werden aus den Vollzügen der Technik ausgeklammert.

Die allgemeine Robustheit der Technik gegen solche Abstürze erklärt sich ähnlich wie die Robustheit der Wissenschaften.<sup>45</sup> Es gibt einfach nur sehr wenige qualitative Neuerungen. In den meisten Fällen kopiert neue Technik nur deterministische Operationen, die in derselben Logik bereits in anderen Vollzügen erprobt sind. Neu ist nur ihre Abbildung, die gegen Stümperhaftigkeit abgesichert werden muss. Für die Frage nach dem Wie des Vollzugs stehen millionenfache Erfahrungen zur Verfügung. Auch die Mathematik funktioniert letztendlich auf dieser Basis: wenn es einen konzeptuellen Widerspruch in der Addition und Multiplikation gäbe, dann wäre er irgendwann in den vergangenen Jahrtausenden sicher schon aufgetaucht. Kritisch sind eigentlich nur die Fälle, in denen die Vollzüge determinierter Operationen komplett neu sind. Die Schwierigkeit besteht darin, dass diese Fälle nicht vorhersagbar sind, denn neu heißt ja gerade, dass der Ablauf dieses Vollzugs noch nie in irgendeiner Weise stattgefunden hat. Wie Kaminski mit Bezug auf Wittgenstein schreibt, erwarten wir gerade von der Technik solch »Unerhörtes«.<sup>46</sup> Es ist latent in jedem technischen Vorgang vorhanden. Und genau deshalb bricht es nicht einfach als etwas fremdes über uns hinein, sondern erscheint, wenn es sichtbar wird, im millionenfachen Umgang gleich wieder als etwas ganz alltägliches. Sofern aber der Ablauf deterministischer Operationen nicht vollzogen wurde, bleibt ihr Wie unbestimmt.

### 2.3.3 Der Horizont der Repräsentation

#### Die Ansätze der Künstlichen Intelligenz

Auch wenn wir annehmen, der Mensch könne sich durch Informatisierung der Welt auf eine ausschließlich determinierte Umgebung zurückziehen, bleibt er selbst weiterhin ein undeterminierter Einflussfaktor, der verhindert, dass das Potential

---

45 Vgl. z.B. Kuhn, T.S.: The essential tension. Studies in scientific tradition and change. Chicago 1977.

46 Kaminski, A.: Nichtwissen im Überfluss? A.a.O. S. 192.

der Determiniertheit voll ausgenutzt werden kann. Es liegt deshalb nahe, auch über die Informatisierung des Menschen nachzudenken, also über die Abbildung seiner Rolle in der Welt in Form determinierter Operationen, die alle Funktionen des menschlichen Geistes darstellen können. Mit anderen Worten: es geht um die weiter vorne schon kurz angesprochene Künstliche Intelligenz.

Die Idee einer technischen Abbildung des »Geistes« hat die Menschen schon lange vor dem digitalen Zeitalter bewegt. Die großen Schöpfungsmythen berichten von der handwerklichen Gestaltung des menschlichen Körpers, der dann durch göttlichen Einfluss beseelt wird. Ähnlich wird auch in der Sage von Pygmalion oder der Golemsage eine Statue als Körper erschaffen, dem dann Leben eingehaucht wird. In der griechischen Mythologie ist mit den Automaten, die Hephaistos in seiner Schmiede helfen, bereits eine genauere Vorstellung der Abbildung körperlicher Funktionen des Menschen zu finden. Bei Descartes werden schließlich auch Tätigkeiten des Geistes als maschinelle Operationen dargestellt. Allerdings unterscheidet Descartes die Selbsttätigkeit des Menschen von der Arbeit der Maschine, die stets eines Steuerungsimpulses bedarf. Hobbes verwirft diese Vorstellung, indem er erklärt, das Denken könne nicht von einer denkenden Materie getrennt werden. Diderot und Voltaire äußern sich ähnlich. Gleichzeitig arbeitet man in dieser Epoche am mechanischen Nachbau des Menschen. Automaten werden konstruiert, die vorgaukeln, Menschen zu sein, indem sie wie Menschen geformt sind und spezifische menschliche Funktionen, wie etwa Klavierspielen oder Schachspielen, in Grundzügen ausführen können. Die Geburtsstunde der Künstlichen Intelligenz im engeren Sinne wird meist mit der Schrift »Über Maschinen- und Fabrikenwesen« des Mathematikers Charles Babbage von 1832 verknüpft, in der Babbage die materialistischen Vorstellungen von Hobbes für die Industrialisierung erschließt. Ziel ist die Zerlegung von Handlungen aller Art in determinierte Operationen, die fabriktauglich aufgeteilt und maschinell effektiviert werden können. Babbage ist überzeugt, »dass die Arbeitsteilung mit gleichem Erfolg auf geistige wie mechanische Verrichtungen angewandt werden kann und

dass sie bei beiden die gleiche Zeitersparnis garantiert.«<sup>47</sup> Die technischen und formalen Voraussetzungen für die Realisierung der Gedanken von Babbage liegen jedoch erst Mitte des zwanzigsten Jahrhunderts vor, nachdem die Elektrotechnik Transistoren zur Herstellung von Schaltkreisen verfügbar gemacht und Turing das Konzept der universellen Maschine zur Ausführung beliebiger Rechenalgorithmen eingeführt hat. Die Erschaffung Künstlicher Intelligenz ist von Anfang an ein Ziel der neu entstehenden Disziplin der Informatik. Alle wichtigen Forschungsrichtungen werden bereits 1956 bei einer Konferenz am Dartmouth College programmatisch festgelegt. Die gemeinsame Grundlage ist stets die Annahme, dass jede Eigenschaft der Intelligenz mit einer Maschine simuliert werden kann.<sup>48</sup>

In der folgenden Forschungsarbeit zur Künstlichen Intelligenz kristallisieren sich bald zwei verschiedene Vorgehensweisen heraus, von denen die eine »bottom-up« an der Umsetzung einfacher selbstständiger Regelungs- und Schlussmechanismen arbeitet, während die andere »top-down« versucht, bestimmte Ausschnitte des menschlichen Denkens in einem formalen Regelwerk abzubilden. Während bottom-up mehr oder weniger unbemerkt von der Außenwelt gearbeitet wird, tragen enthusiastische Forscher ihre Vorstellungen darüber, wie einfach die menschliche Intelligenz top-down in Maschinen umgesetzt werden kann, in die Öffentlichkeit und stoßen damit in den verschiedensten Disziplinen eine breit angelegte Diskussion an.<sup>49</sup>

Die Künstliche Intelligenz hat einen Formalisierungsschub verursacht, durch den viele gängige Konzepte in den Humanwissenschaften überarbeitet werden mussten, insbesondere in der psychologischen Kognitionsforschung und der Linguistik. Von den Versprechungen, die Forscher wie Minsky oder Moravec zu den kurzfristigen Möglichkeiten der Künstlichen Intelligenz gemacht haben, konnte jedoch keine einzige eingehalten werden. Insbesondere das menschliche Sprachvermögen erwies sich als weitaus komplizierter als angenommen. Infolgedessen

47 Zitiert nach Görz, G., Nebel, B.: Künstliche Intelligenz. Frankfurt 2003. S. 16.

48 Vgl. ebd. S. 23f.

49 Vgl. Weizenbaum, J.: Das Menschenbild der Künstlichen Intelligenz. A.a.O.

hat sich eine neue Generation von Wissenschaftlern unter Führung von Rodney Brooks ab den neunziger Jahren explizit von den top-down Ansätzen distanziert.<sup>50</sup> Stattdessen widmen sie nun der bottom-up Perspektive größere Aufmerksamkeit, die inzwischen im Bereich der Mustererkennung, Simulation komplexer Systeme, der Optimierung und des Lernens als Selbstadaptation anwendungstaugliche Resultate vorweisen kann.<sup>51</sup>

Brooks geht sogar noch weiter, indem er grundsätzlich die Möglichkeit einer formalen Repräsentation der Schlussweisen menschlichen Denkens anzweifelt. Ähnlich wie Weizenbaum zuvor<sup>52</sup> weist Brooks darauf hin, dass die expliziten Gedankengänge des menschlichen Bewusstseins niemals ohne Referenz zum Gesamtsystem des Denkens existieren können. Eine formale Repräsentation kann niemals Konzeption, sondern nur beschreibendes Schlaglicht oder ausschnittsweise Erklärung des Denkens sein. Trotzdem, so Brooks, bleibt es möglich, das menschliche Denken informationstechnisch abzubilden, nämlich mit den bottom-up Ansätzen, die nur die Prozedur der Berechnungen formal abbilden, nicht aber deren regelhafte Organisation. Die Technik orientiert sich auch hier wieder einmal am Vorbild der Natur, indem sie dem Ablauf der Phylogenese folgt, in dessen Rahmen formale Repräsentationen erst ganz am Ende, möglicherweise nur zum Zwecke der Kommunikation zwischen Individuen, entstehen. In der Anwendung bedeutet dies, dass moderne K.I.-Systeme trotz der Durchführung determinierter Operationen als »Back Box« arbeiten. Dabei entstehen Ergebnisse, die zwar richtig sind, aber nicht mehr prozedural begründbar. Determiniertes Operieren bedeutet nicht mehr vernunftmäßige Nachvollziehbarkeit. Eine Lücke tut sich auf zwischen der Transparenz des Mechanismus und der Transparenz seiner Bedeutung.

50 Brooks, R.: Intelligence without Representation, in: Artificial Intelligence, 47, 1991, S. 139-159.

51 Clocksin, W.F.: Artificial intelligence and the future, in: Philosophical Transactions of the Royal Society A 361; London 2003, S. 1721-1748.

52 Weizenbaum, J.: Die Macht der Computer und die Ohnmacht der Vernunft. A.a.O.

## Soft Computing

Die Problematik der Lücke zwischen Transparenz des Mechanismus und Transparenz seiner Bedeutung lässt sich am Beispiel der Evolutionsbiologie illustrieren. Folgt man hier den Thesen Darwins, die von ihrer Formulierung her natürlich nichts anderes ausdrücken als eine technische Modellierung der Phylogenese, dann stellen die heute auf der Erde existierenden Lebensformen eine besonders gute Anpassung an ihre Umwelt dar. Warum diese Anpassung aber ausgerechnet zu denjenigen Lebewesen geführt hat, die wir zurzeit auf diesem Planeten antreffen, ist nicht durchschaubar. Der Algorithmus, nach dem die Evolution fortschreitet, stellt keine Information darüber zur Verfügung, warum er so verläuft wie er verläuft, und ob sein Ergebnis das einzig mögliche ist, oder ob es noch beliebig viele andere, gleich gute Lösungen gibt. Wie unbefriedigend diese Situation für die menschliche Vernunft ist, lässt sich auch aus der gegenwärtig immer stärker aufflammenden Kreationismus-Debatte ablesen, zu deren Hauptargumenten gerade die Aussage gehört, dass die Unbestimmtheit des Evolutionsvorgangs als Grundlage der Welt einfach nicht tragbar ist, mit dem Hinweis auf Einsteins geflügeltes Wort, dass Gott nicht würfle. Eine vernunftgemäße Repräsentation der phylogenetischen Entwicklung braucht – so folgern Vertreter des Kreationismus – einen Plan. Gott als Baumeister kann demzufolge nur nachvollziehbare determinierte Operationen durchführen und damit Technik im klassischen Sinne abbilden, ohne Lücke zwischen Mechanismus und Bedeutung.

Die Abbildung der Evolutionstheorie gehört zu den klassischen bottom-up Verfahren der Künstlichen Intelligenz. Hauptanwendungsgebiet ist die Optimierung, von der schon vorher die Rede war. Der entscheidende Unterschied zwischen evolutionären Lösungsstrategien und klassischen, analytischen Methoden der Optimierung besteht darin, dass die evolutionären Strategien die Identifikation von Lösungen und deren Bewertung voneinander trennen. Die Lösungen werden mit Hilfe des Zufalls ausgewählt und daraufhin immer wieder leicht verändert, wie es auch bei der geschlechtlichen Vermehrung mit den Nachkommen geschieht. Gute bewertete Lösungen werden beibehalten, schlecht bewertete Lösungen verworfen. Wie die

Bewertung entsteht, ist dabei vollkommen egal. Im Sinne von Brooks verzichtet der Suchalgorithmus auf die Repräsentation der Bewertung. Sie kann auf beliebige Weise von außen vorgegeben werden. Das theoretische Problem, das solche Verfahren wie auch andere bottom-up Ansätze der Künstlichen Intelligenz verursachen, besteht darin, dass man den Grad der Zielerreichung des Algorithmus nicht genau angeben kann. Es ist bewiesen, dass für jeden konkreten Algorithmus, der einer evolutionären Strategie folgt, eine Gütefunktion konstruierbar ist, zu der er nur sehr schlecht optimiert.<sup>53</sup> In der Praxis haben sich evolutionäre Strategien aber vielerorts gegen alle anderen Optimierungsmethoden durchgesetzt, weil sie bessere Ergebnisse liefern. Dabei bleibt jedoch immer unklar, wie nahe die Lösung nach einer festen Anzahl an Iterationen an das absolute Optimum herankommt.

Dies und die Tatsache, dass bottom-up Ansätze der Künstlichen Intelligenz ähnlich wie bei der Güteinformation immer wieder auf Daten aus einer Quelle zugreifen, an deren Struktur keine weiteren Ansprüche gestellt werden, hat ihnen den Namen »Soft Computing« eingebracht.<sup>54</sup> Dazu gehören beispielsweise auch künstliche neuronale Netze, denen immer wieder neue Datensätze geliefert werden und die sich immer besser an die häufig vorkommenden Eigenschaften dieser Datensätze anpassen. Auch die so genannte »Fuzzy Logic« wird oft zum Soft Computing gezählt, weil sie logische Aussagen nicht auf zwei disjunkte Werte »ja« und »nein« beschränkt, sondern auch dazwischen liegende Wert wie »wahrscheinlich«, »unentschieden« oder »unwahrscheinlich« zulässt. Soft Computing ist heute in allen möglichen technischen Geräten – von der Waschmaschine über den Routenplaner im Auto und die Digitalkamera bis hin zur Fabriksteuerung – zu finden. Die Datensätze, auf denen die Algorithmen des Soft Computing tätig werden, sind meistens so zahlreich oder kompliziert, dass sie ohne Soft Computing nicht mehr verarbeitet werden könnten. So ermöglicht das Soft Computing die Optimierung auf Lösungsräumen,

---

53 Vgl. Wolpert, D.H., Macready, W.G.: No Free Lunch Theorems for Optimization, IEEE Transactions on Evolutionary Computation 1 1 1997, S. 67-82.

54 Clocksin, W.F.: Artificial intelligence and the future. A.a.O.

deren Größe die angenommene Anzahl der im Weltall vorhandenen Atome weit überschreitet. Für die Lösung solcher Probleme wird man vermutlich immer auf Methoden des Soft Computing angewiesen sein. Man erkaufte sich in einem solchen Fall die Lösbarkeit eines Problems durch die oben genannten Einschränkungen des Soft Computing. Das Rechenergebnis des Soft Computing ist das Beste, was zur Verfügung steht. Was genau das bedeutet, bleibt jedoch unbestimmt, und zwar nicht wegen der eingeschränkten Fähigkeiten des menschlichen Geistes, sondern aus dem Wesen der Vorgehensweise selbst heraus. Der Handlungsbegriff wird damit nicht von außen vereinfacht, sondern von innen aufgefrischt, indem die Grundlagen der Definition von Sinn und Zweck verloren gehen.

## 2.4 Auslagerung durch Pluralisierung

### 2.4.1 Die technische Modellierung der Gesellschaft

#### Das Ende der großen Entwürfe

Marx begründet seine Vorhersage des Zusammenbruchs des Kapitalismus wesentlich auf dem Faktor Technik, der die »Springquellen allen Reichtums«, die Erde als Lieferant materieller Ressourcen und Arbeiter in seiner Rolle im Produktionsprozess untergräbt.<sup>55</sup> Rohstoffverbrauch und Rationalisierung führen das kapitalistische System ad absurdum, so dass es sich schließlich von selbst auflösen muss. Die Menschen legen ihre ökonomischen Masken ab, der Staat beschränkt sich auf Verwaltungsaufgaben, die Gesellschaft geht über in ein kommunistisches System, in dem schlussendlich für alle ein gutes Leben möglich ist. Tatsächlich, so erklärt Schelsky schon 1961<sup>56</sup>, hat sich die Entwicklung im zwanzigsten Jahrhundert zu großen Teilen auch nach dieser Vorhersage abgespielt. Technik hat die kapitalistischen Rollen zunehmend untergraben; der Staat beschränkt sich heute mehr und mehr auf Verwaltungsaufgaben.

---

55 Marx, K.: Das Kapital. Zur Kritik der politischen Ökonomie. Bd. I, in: Ders. & Engels, F.: Werke. Bd. 23. Berlin 1983. S. 529ff.

56 Vgl. Schelsky, H.: Der Mensch in der wissenschaftlichen Zivilisation. Köln, Opladen 1961.

Die erwartete Konsequenz ist jedoch ausgeblieben. Vom Übergang in ein kommunistisches System und einem guten Leben aller kann kaum die Rede sein. Schelsky begründet diese Entwicklung mit der Veränderung des Entwicklungsstands der Technik. Während Marx die Technik nach ihrem Mittelcharakter als Werkzeug und Maschine interpretiert, diagnostiziert Schelsky die Totalität der modernen Technik, die alle Bereiche der Gegebenheit der Welt erfasst hat.<sup>57</sup> Technik als Realtechnik, Sozialtechnik und Intellektualtechnik konstruiert den Menschen umfassend in technischen Bezügen.<sup>58</sup> Die Technik unterwirft sich nicht mehr dem Tun und Denken des Menschen, sondern umgekehrt. Wie Gehlen erkennt auch Schelsky, dass das technisch Mögliche der menschlichen Existenz voranschreitet. Die Organisation der Welt nach den Strukturen der Technik wird totalitär und demontiert damit die großen gesellschaftlichen Entwürfe. Der Gedankengang mündet in die Enttäuschung der Postmoderne: Die Zweckrationalität des einzelnen Handelns wird in der Technik zum einzigen Maßstab der Interpretation. Nur das ist denkbar, was diesem Maßstab entspricht.<sup>59</sup>

In gewisser Hinsicht stellt dieser Wandel eine Umkehrung des Gedankens der Unvollständigkeit dar, der im vorangegangenen Kapitel dargestellt wurde. Wiederum haben wir es mit einem Verzicht zu tun. Der Verzicht besteht jedoch nicht in der Aufgabe des Blicks auf das Gesamte. Aufgegeben wird vielmehr der Anspruch, aus diesem Blick einen Entwurf für das Gesamte abzuleiten. Systeme werden nicht mehr in Richtung auf ein globales Ziel entwickelt. Die Vorgabe einer Gütefunktion, die die Summe aller Effekte im System von außen bewertet, findet nicht mehr statt. Ein System wird allein aus dem Zusammenwirken der Operationen beschrieben, die in ihm stattfinden. Wir können es nur noch als Gegenüber beobachten und uns zu ihm verhalten.

Ein solcher Umgang mit Systemen ist heute vielerorts zum Alltag geworden. Allem Anschein nach macht es dabei keinen

---

57 Vgl. Fischer, P.: Philosophie der Technik, A.a.O. Kap. 4.2.

58 Schelsky, H.: Der Mensch in der wissenschaftlichen Zivilisation. A.a.O. S. 12.

59 Vgl. Welsch, W.: Topoi der Postmoderne. A.a.O.

Unterschied, ob die einzelnen Operationen, aus denen das Systemverhalten sich zusammensetzt, bestimmt sind oder nicht. Gerade aus der Ökonomie lassen sich dafür Beispiele angeben. So hat die Industrie in den vergangenen fünfzehn Jahren erhebliche Anstrengungen unternommen, die wirtschaftlichen Transaktionen, die innerhalb ihrer Wertschöpfungsprozesse anfallen, mit Hilfe der Informationstechnologie zu erfassen. Entstanden sind daraus umfangreiche Data-Warehouse-Architekturen, die heute bald jeden einzelnen Vorgang im Rahmen der Wertschöpfung dokumentieren. Man sollte nun erwarten, dass solcherart determinierte ökonomische Systeme zu einer Verfeinerung der Steuerung geführt haben. Tatsächlich ist das aber nicht der Fall. Vielmehr ist eher eine Tendenz zu beobachten, Steuerung und Regelung zu reduzieren.<sup>60</sup> Die fortschreitende Verbreitung determinierter technischer Abläufe, so müsste man dazu wohl sagen, führt auch hier keineswegs zur Beseitigung des Schattens von Unbestimmtheit im Umgang des Menschen mit der Technik. Vielmehr drängt sich der Eindruck auf, dass vorhandene Bestimmtheit gar nicht vorteilig sein muss.

### Asymmetrische Spielsituationen

Der Gedanke, dass es manchmal besser sein kann, auf Bestimmtheit zu verzichten oder zusätzliche Ungewissheit zu erzeugen, ist insbesondere durch die Spieltheorie populär geworden. Auch hier bewegen wir uns ähnlich wie zuvor in einem Szenario, das vom Zusammenwirken unterschiedlicher Instanzen geprägt ist. Die Anfänge der Spieltheorie entwickelten sich aus einem Briefwechsel zwischen Pascal und Fermat, die über die Möglichkeiten einer mathematischen Abbildung von Glücksspielen diskutierten. Heute befasst sich die Spieltheorie nicht mehr nur mit Glücksspielen, sondern mit allen Entscheidungssituationen, an denen mehrere Handlungsträger beteiligt sind, deren mögliche Entscheidungen als determinierte Operationen vorgegeben sind. Außerdem wird für diese Entscheidungssituation eine messbare Profitfunktion angenommen, über die der Wert jeder Entscheidung insgesamt und für jeden

---

60 Vgl. etwa: Gerberich, C.W.: Managen der Komplexität und Dynamik, in: Maier, F. (Hrsg.): Komplexität und Dynamik als Herausforderung für das Management. Wiesbaden 2004, S. 235-259.

Handlungsträger ermittelt werden kann. Die Spieltheorie hat damit den Platz einer formal darstellbaren Ethik eingenommen. Insoweit wie das Spiel als Metapher für das Sprechen<sup>61</sup> oder das Leben überhaupt<sup>62</sup> angenommen wird, hat die Spieltheorie als Erklärungsmuster auch noch eine größere Reichweite.

Die Spieltheorie ist in diesem Kapitel von besonderem Interesse, weil sie Situationen aufgedeckt hat, in denen die bestmögliche Entscheidung des einzelnen Spielers sich der Nachvollziehbarkeit durch die individuelle Vernunft zu entziehen scheint. In einem Buch des Spieltheoretikers Merö ist deshalb von der Logik der Unvernunft die Rede.<sup>63</sup> Wo man mit diesem Problem konfrontiert wird, kann es nötig sein, sich entgegen jeder individuellen Vorstellung davon, was das Beste sein könnte, oder gar vollkommen zufällig zu entscheiden. Solche Situationen werden meist auf der Grundlage einer asymmetrischen Variante des Gefangenendilemmas konstruiert, das als Geschlechterkampf bekannt geworden ist. Eine Vereinfachung des Geschlechterkampfes stellt das Fallbeispiel von El Farol dar. El Farol ist der Name einer Bar an der Grenze zwischen den USA und Mexiko, die bei Wirtschaftswissenschaftlern offenbar sehr beliebt ist. Das Problem besteht darin, dass die Bar ein wunderbarer Ort ist, um abends auszugehen, solange sie nicht überfüllt ist. Mit zu vielen Gästen wird der Service schlecht, die Bestellungen dauern zu lange, es ist zu laut und das Personal ist zu gestresst. Der Besuch dieser Bar ist also nur dann interessant, wenn ein bestimmter Prozentsatz aller anderen, die gern die Bar besuchen, wegbleibt. Während beim Gefangenendilemma die beste Entscheidung darin besteht, dass sich beide Gefangenen dafür entscheiden, zu schweigen, besteht die beste Lösung für die Bar El Farol darin, dass sich ein bestimmter Prozentsatz für, der Rest aber gegen den Besuch entschließt. Das Problem besteht darin, dass es für den einzelnen kein Kriterium gibt, anhand dessen er diese Entscheidung festmachen könnte.<sup>64</sup>

61 Wittgenstein, L.: Philosophische Untersuchungen, A.a.O. z.B. § 2.

62 Eigen, M., Winkler, R.: Das Spiel. Naturgesetze steuern den Zufall. München, Zürich 1975.

63 Merö, L.: Die Logik der Unvernunft. Reinbek bei Hamburg 2003<sup>3</sup>, insbes. Kap 12: Intelligente Irrationalität.

64 In der Spielsituation des Geschlechterkampfes geht es darum, dass Männer am Abend lieber in eine Bar gehen, Frauen aber lieber

Die spieltheoretische Analyse solcher Situationen legt nahe, dass die beste Entscheidung des Einzelnen – sei es hinsichtlich des Gemeinwohls und meistens auch aus der hinsichtlich des persönlichen Profits – darin besteht, sich mit einer gewissen Wahrscheinlichkeit gegen die eigenen Interessen zu entscheiden, und dass man diese Entscheidung am besten per Zufall trifft.<sup>65</sup> Die Philosophie kennt das Problem zufälliger Entscheidungen schon aus dem einfach gestalteten Szenario von Buridans Esel, der nicht weiß, für welche zweier gleich attraktiver Futterraufen er sich entscheiden soll. Auch dort scheint das rationale Vorgehen paradoxerweise darin zu bestehen, die Entscheidung mit Hilfe des Zufalls herbeizuführen.

## 2.4.2 Technik jenseits des Individuums

### Der Rückzug auf die Gesamtperspektive

Die eben dargestellten Überlegungen führen zwangsläufig zu einer Verschiebung des Interesses weg von der einzelnen Operation und hin zum Zusammenwirken mehrerer gleicher, zufällig verteilter oder verschiedener Operationen. Auch dabei spielt die moderne Informationstechnologie wieder eine entscheidende Rolle, denn erst mit dem Einsatz des Computers wird es flächendeckend möglich, solches Zusammenwirken kontrolliert darzustellen. Tatsächlich kommt gerade hier das entscheidende Merkmal elektronischer Schaltkreise zum Ausdruck: sie können einfache digitale Operationen in extrem hoher Geschwindigkeit ausführen. Der Computer zeichnet sich zuerst einmal nicht dadurch aus, dass er anspruchsvolle kognitive Aufgaben besser erledigt als der Mensch. Alles, was ein Computer kann, können auch Menschen tun. Sie brauchen dazu nur wesentlich länger. Diverse Phänomene, die sich durch die Wiederholung oder Pa-

---

ins Theater. Beiden ist es jedoch auch wichtig, unabhängig vom Ort etwas gemeinsam zu unternehmen. Dies führt für ihre Entscheidung zu ähnlichen Konsequenzen wie im Fall El Farol.

- 65 Merö wirft die Orientierung am Gemeinwohl und Kants kategorischen Imperativ in denselben Topf. An dieser Stelle geht das zwar gut, ist im Allgemeinen aber falsch. Im Übrigen wäre es auch sehr interessant zu wissen, wie Kant auf den Hinweis reagiert hätte, er müsse aus Sicht des kategorischen Imperativs seine Handlungsentscheidung auswürfeln.

rallelisierung einer hohen Zahl von Operationen ergeben, sind dem Menschen deshalb erst durch die Einführung der elektronischen Datenverarbeitung zu Bewusstsein gedungen. Dies lässt sich am Beispiel der Fraktale gut nachvollziehen.

Fraktale sind geometrische Formen, die sich mit den klassischen Mitteln der Geometrie nicht darstellen lassen. Dazu gehören Bruchflächen – Frakturen – von Metallen, natürliche Wachstumserscheinungen wie die Gestalt eines Baums oder eines Farnblattes oder der Verlauf einer Küstenlinie. Eine Erfassung dieser Formen durch endliche Vielecke ist nicht möglich. Über die Jahrhunderte haben sich viele Mathematiker mit diesem Thema beschäftigt, aber erst in den siebziger Jahren des zwanzigsten Jahrhunderts erkannte eine Arbeitsgruppe um den französischen Mathematiker Mandelbrot durch den Einsatz von Computergrafik, dass sich derartige Formen durch simple mathematische Operationen beschreiben lassen, die iterativ mit einer hohen Anzahl von Schritten durchgeführt werden.<sup>66</sup> Wenn einzelne Parameter dieser Operationen als Zufallsvariablen mit einer gewissen Streuung um einen Mittelwert angesehen werden, lassen sich beliebige Oberflächen und Landschaften durch Fraktale simulieren. Dieses Verfahren wird heute in einer Reihe von Anwendungsgebieten benutzt, von der Tricktechnik in Filmen bis zur Speicherplatz sparenden Kompression von Bildinformationen.

Fraktale weisen eine Reihe seltsamer Eigenschaften auf, die sie von der klassischen Mathematik unterscheiden: sie erschließen sich durch einen Dimensionsbegriff, der gebrochene Werte einnimmt, die zwischen den natürlichen Dimensionen des euklidischen Raums liegen; betrachtet man Ausschnitte von Fraktalen, so sind diese zwar nicht mit dem Gesamtbild identisch, aber immer nach dem gleichen Muster aufgebaut, was mathematisch exakt in den Begriff der Selbstähnlichkeit übersetzt wird; außerdem verschwindet die Bedeutung der Eingabeinformation für die Bildung von Fraktalen gegenüber der Ausführung der Berechnung. Mit anderen Worten: es spielt keine Rolle, auf welchem Wert die Berechnung des Fraktals startet;

---

66 Mandelbrot, B.: Die fraktale Geometrie der Natur. Basel u.a. 1991. S. 413ff.

die Form des Fraktals ist ausschließlich von der Durchführung der Operation abhängig.

Interessanterweise motiviert Mandelbrot seine Definition von Fraktalen durch den Bewusstseinswandel während der schon erwähnten Grundlagenkrise der Mathematik, in deren Verlauf man auch begann, geometrische Objekte nicht durch ihre Lage im euklidischen Raum, sondern konstruktiv durch eine Überdeckung mit bekannten Objekten zu erfassen. Erst dadurch, so Mandelbrot, wurden Phänomene von »Irregularität und Zersplitterung«, wie sie sich eben auch in Fraktalen äußern, erfassbar.<sup>67</sup> Diese Begriffswahl illustriert die Nähe der Fraktale zur so genannten Chaos-Theorie, die ungefähr zeitgleich entstanden ist. Auch die Chaos-Theorie untersucht Phänomene, die sich durch die Vervielfältigung einzelner Operationen ergibt, die anders als bei Fraktalen aber auch nebeneinander und nicht unbedingt hintereinander ausgeführt werden können. Die Bezeichnung Chaos leitet sich davon ab, dass der Vollzug der einzelnen Operationen selbst als nicht mehr kontrollierbar angesehen wird. Wie bei den Fraktalen ergeben sich aber durch die Art des Operierens Strukturen im Gesamtsystem, die mathematisch exakt untersucht werden können.

In gewisser Weise spiegelt die Chaos-Theorie damit den Entwurf der neuen Künstlichen Intelligenz durch Rodney Brooks. Brooks verzichtet auf die Repräsentation des Gesamtsystems und bildet zuerst einmal die elementaren Operationen ab. Die Chaos-Theorie versucht die Kontrolle eines Gesamtsystems, ohne vollständig zu wissen, was im System geschieht. In beiden Fällen geht man davon aus, dass im Zusammenspiel determinierter Operationen eine immanente Unbestimmtheit hinsichtlich ihrer formalen Erfassung verankert ist. Anders als Brooks packt die Chaos-Theorie jedoch am Gesamtsystem an und lässt das einzelne Ende lose hängen. Dabei geht es keineswegs um die Aufgabe des Anspruchs von Determiniertheit an die wissenschaftliche Arbeit. Im Gegenteil: wie im Fall der Fraktale sucht die Chaos-Theorie nach derjenigen Determiniertheit, die nicht in der Eingangsinformation, sondern in der Durchführung der Operation verborgen ist. Statt von Eingaben und Resultaten einer Berechnung ist nun von Strukturen und

---

67 Ebd. S. 26f.

Zuständen eines Systems die Rede. Die Betrachtung des Vollzugs einer einzelnen Operation wird schlichtweg aufgegeben. Die Chaos-Theorie transponiert in dieser Weise die Spieltheorie auf eine höhere Ebene. Wie der einzelne Spieler sich verhält, ist zuerst einmal egal. Von Interesse ist nur, wie sich alle Spieler zusammen im Mittel verhalten. Man könnte dies auch als Übergang von einer psychologischen auf eine soziologische oder historische Perspektive bezeichnen, die Entwicklungen einer langen Dauer untersucht, die nicht mehr vom einzelnen Individuum abhängig sind. Dementsprechend halten auch in der Informationstechnologie immer mehr Verfahren der Soziologie und Geschichtsforschung Einzug, die die Determinanten des Zusammenwirkens einzelner technischer Operationen in einem Gesamtsystem untersuchen, ohne die Vollzüge einzelner Operationen selbst zu bestimmen.

### Simulation und verteilte Intelligenz

Im Bereich der Informatik hat sich unter dem Titel »Operations Research« ein Forschungsgebiet herausgebildet, das sich mit den Möglichkeiten des Einsatzes von Informationstechnologie in praktischen Handlungssituationen beschäftigt. Industrielle Anwendungen, wie zum Beispiel Planungsaufgaben oder Optimierungsprobleme, erhalten dabei besondere Aufmerksamkeit. Betrachtet man Veröffentlichungen zum Operations Research, so bestehen sie meist aus einer Darstellung der Handlungssituation, ihrer formalen Modellierung im Kontext der aktuellen Forschung, der Präsentation eines Lösungsverfahrens und der Beschreibung seiner Wirkung. Man sollte annehmen, dass die Wirkungsbeschreibung in einer exakten Disziplin wie der Informatik in Form von Angaben analytischer Eigenschaften, Konvergenzbeweisen, oder eines Vergleichs des neuen Lösungsverfahrens mit bekannten mathematischen Funktionen erfolgt. Genauso oft sind jedoch auch Papiere anzutreffen, die das Lösungsverfahren experimentell beschreiben. Das Verhalten des Algorithmus wird anhand von speziellen Datensätzen und Stichproben untersucht, anhand derer man sich repräsentative Aussagen über seine Wirkungskraft verspricht. Die analytische Erfassung des Algorithmus weicht also einer statistischen Untersuchung seines Verhaltens. Noch einen Schritt weiter gehen die gegenwärtig immer populärer werdenden Früh-

warnsysteme<sup>68</sup>, die nicht mehr dazu dienen, den Handelnden aktiv bei der Suche nach Alternativen zu unterstützen oder ihn gar zu ersetzen, sondern nur noch auf Risiken im weiteren Verhalten des Systems hinweisen. Solche Frühwarnsysteme sind Computersimulationen technischer Zusammenhänge, deren weitere Entwicklung aufgrund der vorhandenen Echtdaten oder möglichen Entwicklungsszenarien vorhergesagt wird. Es ist unmodern geworden, in diesem Zusammenhang von Chaos-Theorie zu sprechen. Tatsächlich sind Frühwarnsysteme, die sich darauf beschränken, kritische Bereiche anzugeben, meist nichts anderes als Anwendungen chaostheoretischer Ansätze.

Die zunehmende Verbreitung von statistischen Untersuchungen und Simulationsmodellen in der Informationstechnologie lässt sich damit begründen, dass die Mengen an Eingabeinformationen und Systemereignissen inzwischen oft so groß geworden sind, dass sie nicht mehr in allen Ausprägungen untersucht, sondern nur repräsentativ erfasst werden kann. Dabei spielt insbesondere die zunehmende Vernetzung der Operationsträger eine Rolle. Auch bei Vernetzung bleiben alle Operationen formal determiniert; die Freiheitsgrade für den Vollzug steigen aber exponentiell an, weil Eingaben und Ereignisse quasi zu jeder Zeit an jeder Stelle erfolgen können. Man weiß nicht mehr, in welchem Zustand das System dabei ist, und verliert die Vorstellung davon, womit man es eigentlich zu tun hat. Der Mensch benutzt das System nicht mehr, er beeinflusst es nur noch. Im Sinne eines klassischen handlungstheoretischen Modells kann ein solches Szenario allenfalls dann verstanden werden, wenn man als Handlungsträger nicht mehr den Einzelnen, sondern die Summe aller erfasst, die Eingaben in das System machen.

Ein Beispiel für einen solchen Prozess wäre die Online-Enzyklopädie Wikipedia, an deren Artikeln jeder mitschreiben kann. Eine ganz andere Art der Kooperation zeigt das SETI-Projekt. Dort wird in der Strahlung aus dem Kosmos nach regelmäßigen Strukturen gefahndet, die auf außerirdische Intelli-

---

68 Z.B. in der Betrachtung der Auftragsabwicklung. Vgl. Klaus, P.: Optimale Komplexität in Supply Chains und Supply Networks, in: Essig, H. (Hrsg.): Perspektiven des Supply Managements. Konzepte und Anwendungen. Berlin & Heidelberg 2005, S. 360-375. S 370f.

genz hindeuten könnten. Die Datenmenge, die dazu untersucht werden muss, ist zu groß um sie einem einzelnen Rechner zu überlassen. Deshalb hat man für jeden Benutzer des Internets die Möglichkeit geschaffen, die Rechenleistung seines privaten PC einzubringen, indem ihm bestimmte Datenpakete und Berechnungsroutinen übertragen werden. In gewisser Weise bekommt er dadurch die Möglichkeit, absichtsvoll das zuzulassen, was Viren heimlich auf dem eigenen Rechner tun: Informationen zu verarbeiten und Ereignisse auszulösen, die man selbst nicht überblicken kann. Man kennt den Ansatz des Gesamtprojekts, weiß auch, dass man mit der Verbindung des eigenen Rechners daran teilnimmt, aber nicht wie. Eine dritte Variante des verteilten Tuns stellen beispielsweise Lieferketten in der industriellen Großproduktion dar. Sie sind hierarchisch geordnet und jeder weiß, was an seinem Knoten geschieht. Die Steuerung von Lieferketten ist in den neunziger Jahren unter dem Stichwort Supply Chain Management zu einem viel beachteten Thema geworden. Während vor allem in der Praxis zu Anfang die Hoffnung bestand, durch Supply Chain Management eine Zentralinstanz aufzubauen, mit der die Lieferkette verbessert werden kann, stellen neuere Ansätze meist die Ermöglichung besserer Kooperation der einzelnen Beteiligten in den Vordergrund. Management wird dort abgeschwächt als Bereitstellung der Bedingungen für die Möglichkeit von Zusammenarbeit verstanden.<sup>69</sup> Die Server von Wikipedia, die vernetzten Computer von SETI und die Produktionsnetzwerke eines Unternehmens kann man als abgeschlossene technische Systeme verstehen. Sie sind in ihrer Ausdehnung begrenzt. Die Vollzüge im System sind damit determiniert und endlich. Anders als Mittel oder Werkzeuge sind sie im Gebrauch aber nicht mehr auf ein Individuum als Handlungsträger zu beschränken. Allenfalls hinsichtlich der Gemeinschaft aller Beteiligten ließen sie sich als Instrumente auffassen.

---

69 Ebd. S. 371ff.

### 2.4.3 Gemeinsamer Erfolg ohne den Einzelnen

#### Die Reichweite der Beliebigkeit

Eine andere Herangehensweise an das Zusammenwirken teilweise unbestimmter Entitäten lässt sich über das Weltmodell der Physik illustrieren, das wiederum zur selben Zeit wie die Mathematik eine grundlegende Umwälzung erfuhr. Die klassische Physik betrachtete Unbestimmtheit als kontinuierlich zu reduzierende Größe. Sie ging davon aus, dass die Detaillierung, in der experimentelle Anwendungen stattfinden, immer feiner werden könne, wodurch sich auch die physikalischen Objekte in zunehmendem Maße bestimmen lassen würden. Die Quantenmechanik setzte diesem Denken ein Ende, indem sie zeigte, dass der klassische Objektbegriff auf Ebene der Elementarteilchen schlichtweg nicht mehr anwendbar ist. Es gibt einen klaren Schnitt, der je nach Perspektive in unterschiedlicher Richtung gezogen werden kann, aber immer so erfolgt, dass, so Heisenberg, »die klassischen und die quantentheoretischen Gesetzesbereiche an der Stelle des Schnittes widerspruchsfrei aneinandergeführt werden können, so dass ein geschlossenes System von Gesetzen entsteht.«<sup>70</sup> Unbestimmtheit kann jenseits des Schnitts nicht mehr als vorläufiges Fehlen von Bestimmtheit aufgefasst werden, das sich durch eine andere Erfassung der Gegebenheiten in Zukunft noch einmal auflösen könnte. Die Unbestimmtheit in der Quantenmechanik, so betont Heisenberg, lässt sich eben nicht umgehen, weil sie wesentlicher Teil des Gesamtsystems ist. Dadurch, dass die experimentelle Forschung sich Schritt für Schritt durch zunehmende Verfeinerung der Makroperspektive weiterentwickelt, liegt es immer nahe, Unbestimmtheit als Makel aufzufassen, der das Modell stört. Mit der Quantenmechanik entsteht ein anderes Verständnis. Unbestimmtheit wird Grundlage des gesamten Systems. Sie ermöglicht erst die Erscheinungen, die auf höherer Ebene zu bestimmten Objekten zusammengefügt werden können.<sup>71</sup> Wie sich schon in den spieltheoretischen Überlegungen zur asymmetrischen Zusammenarbeit angedeutet hat, ist Unbestimmt-

---

70 Vgl. Heisenberg, W.: Wandlungen der Grundlagen der exakten Naturwissenschaften in jüngster Zeit. A.a.O. S. 489.

71 Ebd. S. 489f.

heit hier nicht mehr etwas, mit dem ein System determinierter Operationen eben irgendwie umgehen kann, sondern Voraussetzung des determinierten Operierens.

Diese Tatsache scheint der intuitiven Basis unseres Denkens zu widersprechen und ist damit nur schwer zu verkräften. Selbst Einstein tat sich mit den Konsequenzen der Forschung, die er selbst maßgeblich vorangetrieben hatte, sehr schwer und deckte mit seinen Kollegen Podolsky und Rosen einen Effekt auf, den er für ein schwerwiegendes Paradox hielt, das dem Konzept der Quantenmechanik widerspricht.<sup>72</sup> Tatsächlich konnte dieser Effekt später experimentell nachgewiesen werden. Er wirkt bizarr, widerspricht aber keineswegs der Quantenmechanik und bildet heute die Grundlage für intensive Forschungen zur Teleportation und Quantencomputern. Das Konzept der Quantencomputer beruht auf einer Idee von Richard Feynman und soll hier nicht im Detail dargestellt, sondern nur kurz skizziert werden, um die qualitative Neuerung, die er bringt, verständlich zu machen.<sup>73</sup> Der Effekt von Einstein, Podolsky und Rosen beschreibt, was passiert, wenn Elementarteilchen gespalten und örtlich voneinander entfernt werden. Solange sie dabei messtechnisch noch nicht erfasst sind, bleiben einige ihrer Eigenschaften auch nach der Trennung unbestimmt. Wenn nun ein abgespaltener Teil durch Messung in einen definiten Zustand übergeht, dann muss der andere Teil, der räumlich entfernt ist, wegen der Erhaltungsgesetze der Physik ebenfalls in den korrespondierenden definiten Zustand übergehen. Damit findet eine Informationsübertragung ohne zeitlichen Versatz statt, was der Endlichkeit der Lichtgeschwindigkeit und der Relativitätstheorie zu widersprechen scheint. Man kann diese Anordnung nun auch auf mehrere Teilchen ausdehnen, die miteinander in einer Wechselwirkung stehen, die mit einer mathematischen Funktion beschreibbar ist. Beim Übergang in einen definiten Zustand bilden die gespaltenen Teilchen nun die Nullstellen dieser Funktion ab. Die Versuchsanordnung führt also eine Rechnung aus, indem sie die

---

72 Regis, E.: Einstein, Gödel & Co. Genialität und Exzentrik – die Princeton Geschichte. Basel u.a. 1989. S. 41f.

73 Vgl. Johnson, G.: A shortcut through time: the path to the quantum computer. New York 2003 und Feynman, R.: Es ist so einfach. München 2001. S. 47f.

Funktion gewissermaßen simuliert. Durch eine geschickte Anordnung der Teilchen ist es so möglich, verschiedenste Berechnungen durchzuführen. Neben der Tatsache, dass dabei keinerlei Wärmeverluste wie im normalen Computer auftreten, besteht der entscheidende Vorteil darin, dass die Verknüpfung der Teile es ermöglicht, dass sie in ihrem unbestimmten Zustand nicht nur eine Belegung repräsentieren, wie es im Speicher eines normalen Computers wäre, sondern den Exponent ihrer Anzahl über der Basis zwei Belegungen auf einmal. Damit werden Berechnungen möglich, die heutige Computer niemals durchführen könnten. Insbesondere wäre ein Quantencomputer in der Lage, alle Sicherheitsmaßnahmen, die heute für elektronische Bankgeschäfte benutzt werden, zu umgehen und beliebig dort verschlüsselte Daten verfügbar zu machen. Diese Möglichkeit entsteht wiederum dadurch, dass eine Struktur des Gesamtsystems ausgenutzt wird, die dadurch entsteht, dass die zugrunde liegenden Operationen zufällig indefinit bleiben.

#### Der Nutzen von Kollateralschäden

Die Figur, die eben anhand der Quantentheorie entwickelt wurde, lässt sich losgelöst aus dem engeren physikalischen Kontext auch auf andere technische Systeme übertragen. So kann zum Beispiel auch Adam Smiths Buch über den Wohlstand der Nationen in dieser Weise interpretiert werden. Wenn Smith von der unsichtbaren Hand spricht, dann scheint dies zuerst einmal in Richtung der Chaos-Theorie zu weisen, da von einer Struktur des Gesamtsystems die Rede ist, die sich von selbst auszubilden scheint. Smith argumentiert aber anders, weil er ein bestimmtes Ziel, eben den Wohlstand der Nationen, im Blickfeld hat und nach Verhaltensregeln für den einzelnen sucht, die diesem Ziel angemessen sind. Smith kommt deshalb zu dem folgenden Schluss: »Auch für das Land selbst ist es keineswegs immer das schlechteste, dass der einzelne ein solches Ziel nicht bewusst anstrebt, ja, gerade dadurch, dass er das eigene Interesse verfolgt, fördert er häufig die Gesellschaft nachhaltiger, als wenn er wirklich beabsichtigt, es zu tun.«<sup>74</sup> Noch schärfer formuliert: »Tatsächlich fördert er in der Regel nicht

---

74 Smith, A.: Der Wohlstand der Nationen. Eine Untersuchung seiner Natur und einer Ursachen München 1993. S. 70.

bewusst das Allgemeinwohl, noch weiß er, wie hoch der eigene Beitrag ist.«<sup>75</sup> Das Gemeinwohl kann nicht über die einzelne Operation erschlossen werden, sondern bildet sich erst im Zusammenwirken aller heraus. Es sollte dabei aber nicht übersehen werden, dass Smith gleichzeitig in seiner Theorie der moralischen Gefühle wie Hobbes von Sympathie als Grundlage des sittlichen Handelns spricht, also einen weiteren Regulationsmechanismus neben den merkantilen Beziehungen zwischen den einzelnen annimmt, durch den Fehlentwicklungen vermieden werden. Wie die Regulation abläuft bleibt jedoch genauso verborgen wie der Effekt des einzelnen Handelns hinsichtlich des Gemeinwohls. Der Einzelne, für den Smith durchaus voraussetzt, dass er am Gemeinwohl interessiert ist und durch seine Handlungen dazu beitragen will, sieht seine Handlungen diesbezüglich unbestimmt.

Eine formale Darstellung eines solchen Modells liefert die Theorie des probabilistischen Lernens in der theoretischen Informatik. Lernen heißt in diesem Zusammenhang, dass eine Maschine anhand von Beispielen in der Lage ist, auf die Grammatik – also die Struktur oder den Herstellungsalgorithmus – einer formalen Sprache zu schließen. Pitt hat gezeigt, dass es unter gewissen Voraussetzungen Sprachen gibt, die eine Maschine nie lernen kann, die aber von einem Team von Maschinen gelernt werden können, wenn man zulässt, dass einige der Maschinen im Team scheitern. Dieses Team kann wieder zu einer Maschine zusammengefasst werden, von der man dann sagt, dass sie die Sprache mit einer gewissen Wahrscheinlichkeit lernt, deren Höhe sich aus dem Anteil der Maschinen im Team ergibt, die erfolgreich sind.<sup>76</sup> Die entscheidende Grundidee besteht darin, die Maschinen unter verschiedenen Annahmen über die gesuchte Grammatik arbeiten zu lassen. Einige der Maschinen werden mit falschen Annahmen arbeiten. Davon werden wiederum einige komplett scheitern und ihre Arbeit abrechnen und einige dauerhaft falsche Ergebnisse liefern. Eine gewisse Anzahl von Maschinen wird aber eine richtige Annahme über die Grammatik gemacht haben und damit er-

75 Ebd.

76 Pitt, L.: Probabilistic Inductive Inference, in: Journal of the Association for Machinery. Vol 36. No. 2 April 1989, S. 383- 433.

folgreich sein. Obwohl die Formulierung der formalen Sprachen und Lernvorgänge sehr abstrakt ist, stehen hinter diesen Ansätzen praktische Erwägungen, die stets auf die Frage nach den Möglichkeiten pluralistischer Gemeinschaftsmodelle hinauslaufen.<sup>77</sup> Zur Illustration wird dafür gern das Beispiel einer Gruppe von Robotern angeführt, die auf einem fremden Planeten ausgesetzt werden. Dabei übernimmt die Umwelt des fremden Planeten die Rolle der formalen Sprache, von der nicht klar ist, nach welchen Strukturen sie aufgebaut ist und wo die Gefahren lauern. Die Roboter gehen von verschiedenen Annahmen aus, wie sie sich in dieser Umwelt verhalten sollen, um nicht beschädigt zu werden. Eine terrestrische Anwendung, von der nicht genau klar ist, ob sie nur als Gedankenexperiment existiert oder tatsächlich schon umgesetzt wurde, besteht in der Versendung von Newslettern oder Spam im Netz nach denselben Prinzipien. Es ist unklar, welche Frequenz und welche Formulierungen optimal sind, um das Interesse der Adressaten anzuziehen. Also macht es Sinn, mehrere Quellen parallel zueinander in unterschiedlicher Weise senden zu lassen. Eine von ihnen wird die bestmögliche Ansprache für die Adressaten realisieren. Beliebige verwandte Szenarien lassen sich leicht ableiten.

Das technische System wird hier dadurch funktionsfähig gemacht, dass fehlerhaftes Operieren für einzelne Vollzüge bewusst eingeplant wird. Im Unterschied zum Konzept eines simplen Darwinismus bleibt es jedoch unbestimmt, wo der Fehler ist. Fehlerhafte Vollzüge führen nicht unbedingt zum Scheitern und der Auslese ihrer Träger; sie können auch beliebig lange weiterlaufen, ohne dass sich erkennen lässt, dass sie falsch sind. Wie bei Adam Smith weiß man nicht, welchen Beitrag die einzelnen Operationen zum Gesamterfolg des Systems leisten. Wichtig ist nur – und das wäre die Analogie zur Quantenmechanik – dass alle Zustände gleichzeitig realisiert werden; der richtige wird seine Wirkung dann schon entfalten.

---

77 Vgl. ebd. S. 413 und Smith, C.: The power of pluralism for automatic program synthesis, in: Journal of the Association for Machinery. Vol 29. No. 4 October 1982, S. 1144- 1165.