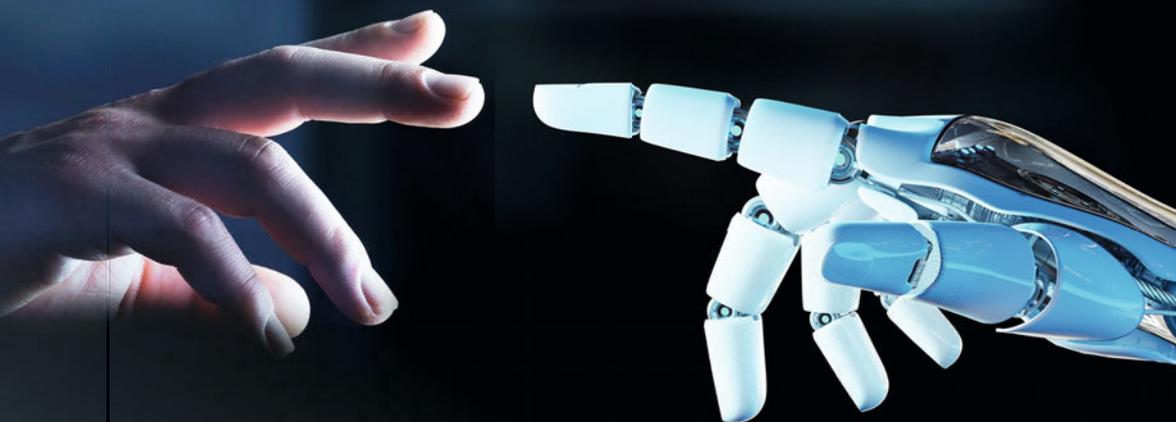
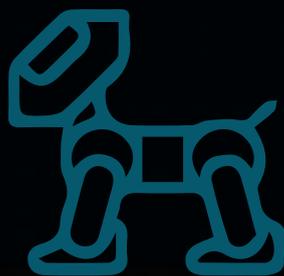


Jürgen Beetz



Digital

Wie Computer denken



EBOOK INSIDE



Springer

Digital

Jürgen Beetz

Digital

Wie Computer denken

 Springer

Jürgen Beetz
Berlin, Deutschland

ISBN 978-3-662-58630-3 ISBN 978-3-662-58631-0 (eBook)
<https://doi.org/10.1007/978-3-662-58631-0>

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.d-nb.de> abrufbar.

© Springer-Verlag GmbH Deutschland, ein Teil von Springer Nature 2019

Das Werk einschließlich aller seiner Teile ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung, die nicht ausdrücklich vom Urheberrechtsgesetz zugelassen ist, bedarf der vorherigen Zustimmung des Verlags. Das gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Bearbeitungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen und die Einspeicherung und Verarbeitung in elektronischen Systemen.

Die Wiedergabe von allgemein beschreibenden Bezeichnungen, Marken, Unternehmensnamen etc. in diesem Werk bedeutet nicht, dass diese frei durch jedermann benutzt werden dürfen. Die Berechtigung zur Benutzung unterliegt, auch ohne gesonderten Hinweis hierzu, den Regeln des Markenrechts. Die Rechte des jeweiligen Zeicheninhabers sind zu beachten.

Der Verlag, die Autoren und die Herausgeber gehen davon aus, dass die Angaben und Informationen in diesem Werk zum Zeitpunkt der Veröffentlichung vollständig und korrekt sind. Weder der Verlag, noch die Autoren oder die Herausgeber übernehmen, ausdrücklich oder implizit, Gewähr für den Inhalt des Werkes, etwaige Fehler oder Äußerungen. Der Verlag bleibt im Hinblick auf geografische Zuordnungen und Gebietsbezeichnungen in veröffentlichten Karten und Institutionsadressen neutral.

Planung: Andreas Rüdinger

Fachlich-didaktische Beratung: Thomas Ningelgen (ningelgen.eu)

Illustrationen (Skizzen): Joanna Hegemann (joannaillustration.com)

Recherche: Marita Heitfeld

Einbandentwurf: deblik Berlin

Springer ist ein Imprint der eingetragenen Gesellschaft Springer-Verlag GmbH, DE und ist ein Teil von Springer Nature

Die Anschrift der Gesellschaft ist: Heidelberger Platz 3, 14197 Berlin, Germany

Mehr ist anders.

Philip W. Anderson, Physiker und Nobelpreisträger

*Die größte Schwäche der Menschheit ist ihre Unfähigkeit, die
Exponentialfunktion zu verstehen.*

Der Physiker Albert „Al“ Bartlett in „The Essential Exponential!“

*Jede hinreichend fortschrittliche Technologie ist von Magie nicht zu
unterscheiden.*

Arthur C. Clarke, Physiker und Science-Fiction-Autor

*Wir erleben die neue Ära des Informationskapitalismus. Er hat damit begonnen,
die Welt in einen Geisteszustand zu verwandeln. [...] Die Maschine des
Informationskapitalismus ist der Computer, aber das Gerät selbst ist unschuldig.*

Frank Schirrmacher in „EGO – Das Spiel des Lebens“

Geleitwort

„Computer sind die Elektrizität des 21. Jahrhunderts“, sagen manche. Viele Staaten – insbesondere die USA und China – gehen davon aus, dass die Digitalisierung und besonders die so genannte „künstliche Intelligenz“ (KI) ihre Wirtschaft in naher Zukunft ankurbeln wird. In der Tat, dieses Werkzeug (vielleicht auch „Denkzeug“) hat bereits ungeheure Umwälzungen hervorgebracht und wird weitere nach sich ziehen. Zu oft wird es von den Technokraten im *Silicon Valley* als wertneutrale Technik eingestuft. Seine Auswirkungen auf Gesellschaft und Ethik werden dabei gern übersehen.

Informatik, als Wissenschaft von der systematischen Verarbeitung von Informationen, besonders der automatischen Verarbeitung mit Hilfe von Digitalrechnern, schaute lange nicht auf den Menschen. Informatik sorgt letztlich für eine systematische Verarbeitung von Informationen – bisher unter der Kontrolle durch Menschen, die die Algorithmen entwickelten und (hoffentlich) auch verstanden. Inzwischen schreiben Computer heute schon selbstständig Algorithmen, und KI beruht auf lernenden Systemen, deren dabei abgeleitete Regeln für den Menschen oft nicht mehr nachvollziehbar sind.

Der norwegische Informatiker und Pionier auf dem Gebiet der Programmiersprachen Kristen Nygaard sagte: „*To program is to understand!*“ (Programmieren heißt verstehen). Aus ethischer Sicht werden wir uns weltweit fragen müssen, welche ethischen Standards lassen sich in Algorithmen erfassen und einbauen? Welche Handlungs- und Entscheidungskontrollen müssen wir Menschen behalten, um in einer Güterabwägung zu ethisch verantworteten Entwicklungen der KI beizutragen?

VIII Geleitwort

Noch eine Aufgabe haben wir. Es wird sehr darauf ankommen, digital fit zu sein. Wir werden dafür Sorge tragen müssen, die Menschen in die Lage zu versetzen, mit Computern umzugehen. Es geht um die Urteilsfähigkeit. Wir werden damit aufhören müssen, Ahnungen und Befürchtungen zu erzeugen und zu schüren. Es geht darum, Wissen und Können im Umgang mit Computern so zu vermitteln, dass der Benutzer urteilsfähig bleibt. In diesem Sinn wurde dieses Buch geschrieben.

Ulf D. Posé

Vorsitzender des Ethikbeirats der Unternehmen im Senat der Wirtschaft
Präsident der Akademie des Senats der Wirtschaft
Partner des Weltethos-Instituts der Universität Tübingen
Beiratsmitglied des LEIZ (Leadership Excellence Institut
der Zeppelin Universität Friedrichshafen)

Einführung

„Wie Computer denken“ – das ist doppeldeutig. Es kann bedeuten, dass hier erläutert wird, wie Computer „denken“, d. h., wie sie funktionieren. Dass Computer denken, ist natürlich nur eine Metapher, ein Gleichnis. Denn wie wir Menschen „denken“, das können sie nicht. Denken können nur wir Menschen und einige andere Lebewesen (und niemand weiß, wie wir uns „Gedanken machen“, sie herstellen). Oder? Wir werden sehen.

Es kann aber auch bedeuten, dass die Leserin oder der Leser¹ lernen soll, wie ein Computer zu denken, also ähnlich systematisch, schematisch, exakt und rational vorzugehen und oft gemachte menschliche Denk-Fehler zu vermeiden. Egal, wie Sie es interpretieren, Sie werden nach der Lektüre dieses Buches verstehen, wie Algorithmen mit Daten umgehen. Denn der Computer „denkt“ mit Algorithmen. Wobei natürlich erklärt wird, was es mit dem Zungenbrecher „Algorithmus“ auf sich hat. Wenn Sie dieser Fachbegriff erschreckt, was wollen Sie dann sagen, wenn ich Ihnen verrate, dass er von einem arabischen Rechenmeister und Astronomen namens *Muhammad Ibn-Mūsā al-Hwārizmī* abgeleitet wurde, eine Verballhornung seines Namens. Er war sozusagen der Adam Riese des Orients. Nehmen wir den Ausdruck hier erst einmal als Fachbegriff für beliebige Rechenverfahren.

„Wie Computer denken“ ist also ein falscher Untertitel. Sie tun es nicht. Sie verarbeiten nur Zahlen und Texte und gegebenenfalls technische Signale, z. B. aus einem Mikrofon oder von den Sensoren einer Heizung – letztlich

¹Ab hier werde ich das „generische Maskulinum“ verwenden und immer alle nur denkbaren Geschlechter damit meinen.

nur Bits und Bytes. Sie denken nicht, sie sind so dumm wie der Schalter einer Nachttischlampe: AN und AUS. Wirklich? Wieso reden die Fachleute aber dann von künstlicher Intelligenz? Wieso schlägt „*Watson*“² menschliche Gegenspieler bei *Jeopardy!*, wieso gewinnen Computer Go und Schach? Dazu gibt es einen simplen, aber tiefsinnigen Spruch: „Mehr ist anders“. Ein Neuron, sozusagen das Bit in unserem Kopf, kann auch nicht denken. Aber die 86 Mrd. (in Zahlen: 86.000.000.000) in Ihrem Kopf, die können es. Hoffe ich. Schon der Fadenwurm *Caenorhabditis elegans* mit etwa 300 Neuronen kann es.³ „Aber er hat kein Bewusstsein“, sagen viele. Wenn wir uns darauf einigen, was das ist, dann können wir es vielleicht beurteilen. Und spekulieren, ob der Computer eins hat oder irgendwann haben wird. Auch das wird unser Thema sein.

Ebenso offen ist ja noch die Frage, was „Denken“ *ist*. Das ist schwer zu definieren, wie so viele sehr abstrakte Begriffe. Aber jeder verbindet eine klare Vorstellung damit (was auch schon ein Denkvorgang ist). Das undefinierbare des Offensichtlichen. Den französischen Philosophen René Descartes kennen viele wegen seines berühmten Satzes: „*cogito ergo sum*“ (lateinisch für „Ich denke, also bin ich“). Denken scheint eine Grundvoraussetzung unserer geistigen Existenz zu sein.

„Noch ein Buch über Bits und Bytes?!“, werden Sie fragen. „*Muss* das sein?“ Ja. Das Wissen über „das Digitale“ ist immer noch nicht überall vorhanden. Es ist aber inzwischen Mode zu verlangen, Kinder sollten Programmiersprachen lernen, um den Computer und das Internet zu verstehen. Das ist richtig und falsch zugleich. Richtig ist es, weil man so erkennt, dass ein Computer kein magisches geheimnisvolles Wesen ist, sondern eine einfache Maschine. Falsch ist es, weil man nicht wissen muss, wie ein Dieselmotor funktioniert, um seine Umweltbelastung zu beurteilen und über den Sinn des motorisierten Individualverkehrs nachzudenken, der fossile Brennstoffe verbraucht. Dieses Buch versucht, eine Balance zwischen diesen beiden Meinungen zu finden. Sie werden zwar nicht programmieren lernen, aber einfache Programme

²*Watson* ist ein Computerprogramm aus dem Bereich der künstlichen Intelligenz. Es wurde von IBM entwickelt, um Antworten auf Fragen zu geben, die in digitaler Form in natürlicher Sprache eingegeben werden. Es ist nach Thomas J. Watson, einem der ersten Präsidenten von IBM, benannt. Quelle: [https://de.wikipedia.org/wiki/Watson_\(Künstliche_Intelligenz\)](https://de.wikipedia.org/wiki/Watson_(Künstliche_Intelligenz)). Wir werden es in Abschn. 3.3 wiedertreffen.

³*Caenorhabditis elegans* ist uns in intellektueller Hinsicht prozentual quantitativ überlegen, denn ein ganzes Drittel seiner Körperzellen besteht aus Neuronen ähnlich denen in unserem Gehirn. *Der Spiegel* 38/2016 S. 124 und https://de.wikipedia.org/wiki/Caenorhabditis_elegans. Er hat sogar einen eigenen Domain Name: www.celegans.de (Info auf <http://www.celegans.de/de/research%20interests>). Das Forschungsprojekt „OpenWorm“ versucht, sein Nervensystem nachzubilden (siehe <http://openworm.org/>).

kennenlernen und ein Gefühl dafür bekommen, wie Programme prinzipiell funktionieren. Damit werden Sie den Computer so weit verstehen, dass Sie seine Möglichkeiten und Grenzen beurteilen können. Und erkennen können, wie wir ihn steuern können und wie er uns steuert.

Ich möchte nicht nur komplizierte Sachverhalte in verständlicher Weise beschreiben, sondern sie zusätzlich in einfache Gedanken, in kleine verständliche Häppchen zerlegen (ich bin jedoch kein Freund von „Leichter Sprache“).⁴ Allerdings gibt es schon Nebensätze, Einschübe, Fußnoten und gängige Fremdwörter. Das Buch behandelt weder Spezialthemen noch elektronische Einzelheiten, sondern gibt einen realitätsbezogenen Überblick über die wichtigsten Gebiete, in denen die Phänomene der Digitalisierung erscheinen. Es nennt und erklärt die wichtigsten Fachbegriffe und macht sie durch Wiederholungen geläufig. Der Schwerpunkt wird nicht auf das technische Funktionieren gelegt, sondern auf die Verbindung des Digitalen mit dem „normalen Leben“.

Karl Marx benannte 1867 in „Das Kapital“ als die drei wichtigsten Unternehmensressourcen Material, Kapital und Arbeit. Dass Information die vierte Ressource der Wirtschaft sein würde, sah damals noch niemand. Im Zeitalter des Informationskapitalismus haben Material und Arbeit in vielen Bereichen ihre Bedeutung verloren. Und dass man Informationen einmal automatisch verarbeiten würde wie Stahl oder Damenstrümpfe, das ahnte damals erst recht kein Mensch.

Inzwischen sind wir durch drei „industrielle Revolutionen“ gegangen. Die drei Revolutionen werden von verschiedenen Autoren unterschiedlich benannt. Die Mechanisierung von Handarbeit durch Maschinen und die Erfindung der Dampfmaschine durch Thomas Newcomen und ihre Weiterentwicklung durch James Watt Ende des 18. Jahrhunderts gehören sicher dazu. Viele bezeichnen die Elektrifizierung und die Erfindung des Computers als den dritten Umbruch – schließlich bescherte uns dieser unter anderem das Internet, die universelle Wissensquelle (und Unsinnquelle gleichermaßen). Das Internet löste die vierte industrielle Revolution aus („Industrie 4.0“ genannt) und trat seinen Siegeszug an in unsere Wohnzimmer, ja in die Jeanstaschen unserer Teenager.

Noch vor einem halben Jahrhundert waren Computer zimmergroß, standen in klimatisierten Räumen und kosteten ein Vermögen. Sie waren für Sonderaufgaben der Datenverarbeitung in Unternehmen gedacht. Heute sind sie tragbar, haben Räder (man nennt sie „Autos“), können fliegen und

⁴https://de.wikipedia.org/wiki/Leichte_Sprache

bestimmen unser Leben und unser Denken. Milliarden Menschen halten sie manchmal an ihr Ohr, um mit anderen zu telefonieren. Meine Espresso-Maschine ist ein Computer mit einem Algorithmus: *Wenn* Sensorsignal 17 *dann* Anzeige „Wassertank leer“. Ich könnte sogar meine bevorzugte Cappuccino-Mischung über das Internet einprogrammieren.

Die Geschichte der Computer erinnert an die ersten Probebohrungen in Texas: Ein harmloses Stückchen Land verwandelt sich plötzlich in eine sprudelnde Ölquelle. „Digitalisierung“ erzeugt in einer Suchmaschine „ungefähr 12.900.000 Ergebnisse (0,39 s)“. Also muss und werde ich mich auf das (in meinen Augen, also subjektiv gesehen) Wichtigste beschränken. Denn das Feld ist riesig und unüberschaubar (meine 600 Fußnoten mit Quellenangaben zeugen davon). Auch sind heute Mengen von Informationen im Internet verfügbar. Deswegen kann ich auf die genaue Erläuterung vieler Einzelheiten verzichten – sie sind mit einem Mausklick nachlesbar. Wo ich Einzelheiten dennoch erwähne, dienen sie dem Verständnis des Ganzen, des roten Fadens, den ich zu spinnen versucht habe.

Viele warnen vor der wachsenden wirtschaftlichen, sozialen und politischen Macht der fünf größten amerikanischen Technologieunternehmen, der „*Big Five*“: Apple, Amazon, Google, Facebook und Microsoft. Ihr Einfluss droht manchmal größer als der von politischen Institutionen zu werden. Dabei beruht diese Macht auf dem Funktionsprinzip einer geradezu lächerlich einfachen Maschine, wenn man in ihr Inneres vordringt. Genau das wollen wir hier versuchen.

Lassen Sie sich bitte nicht dadurch abschrecken, dass ich manchmal in technische Details abtauche. Damit will ich ein echtes und gründliches Verständnis erreichen, anstatt nur mit wolkigen Worten über (im wahrsten Sinn des Wortes) das Thema zu reden. Denn konkrete Beispiele, in die man sich vertiefen kann, helfen beim Verstehen des Prinzips.

Drei große Themen wollen wir behandeln. Ich will Ihnen zeigen,

- wie aus einem extrem einfachen Prinzip des Computers (der Unterscheidung von 0 und 1) ein extrem komplexes System (das Internet) hervorging,
- wie mit methodischen Arbeitstechniken riesige Softwaresysteme industriell hergestellt werden (und nicht durch einzelne freischaffende „Künstler“) und

- welche gesellschaftlichen Auswirkungen die Digitalisierung hat, welche Potenziale und welche Gefahrenstellen sie aufweist und in welchen Bereichen sich unser Leben dadurch dramatisch verändert hat und weiter verändern wird.

Fangen wir mit dem Einfachsten an: der nackten Maschine.

Dezember 2018

Jürgen Beetz
Besuchen Sie mich auf meinem Blog
<http://beetzblog.blogspot.de>



Inhaltsverzeichnis

1 Die nackte Maschine	1
1.1 Eine Analogie zu analog und digital	1
1.2 Bits und Bytes	12
1.3 Die ersten Hüllen um die nackte Maschine	20
1.4 Eine weitere Schicht der Vereinfachung	35
1.5 Computer verwursten alles: Zahlen, Signale, Texte, Tabellen	46
1.6 John von Neumann entwirft eine Maschine	79
1.7 Eine völlig andere Architektur ... und lernfähig	100
2 Das Abbild der Realität	121
2.1 Computer-Software und das wirkliche Leben	122
2.2 Software-Herstellung als industrieller Produktionsprozess	126
2.3 Mr. Spock entdeckt die Erde	132
2.4 Eigentlich fängt alles mit EVA an	148
2.5 Modelle der Wirklichkeit wandern in die Software	154
3 Die Rückwirkung auf die Realität	171
3.1 Algorithmen steuern uns unbemerkt	173
3.2 Die Spinne im Internet(z)	190

XVI Inhaltsverzeichnis

3.3	Künstliche Intelligenz – gibt es denn eine natürliche?	215
3.4	Werden Roboter Bewusstsein haben?	247
3.5	Die Revolution frisst ihre Kinder	273
3.6	Hacker und andere Macker	298
3.7	<i>Social Scoring</i> und 9683 km bis China	321

Literatur	361
------------------	-----

Personen- und Sachregister	363
-----------------------------------	-----



1

Die nackte Maschine

Worauf die Digitalisierung beruht: Der Computer ist ein Automat zur Verarbeitung von Daten

Über die Technik, die Funktionsweise und den inneren Aufbau des Computers. Über die überaus einfachen Grundelemente des Digitalen. Über Software und ihre Produktion.

Viele halten den Computer für ein magisches geheimnisvolles Wesen, weil sie seine einfachen Funktionsprinzipien nicht verstehen. Er ist jedoch nur eine extrem einfache Maschine, wie wir in diesem ersten Teil sehen werden. Doch freuen Sie sich nicht zu früh, denn aus einer riesigen Anzahl einfacher Dinge kann ein hochkomplexes System entstehen. Oder, nach einem Ausspruch des Physikers und Nobelpreisträgers Philip Warren Anderson: „Mehr ist anders“.¹

Fangen wir jedoch mit einer Klärung der zwei Kernbegriffe an.

1.1 Eine Analogie zu analog und digital

Im normalen Sprachgebrauch heißt „analog“ *entsprechend*. Eine Analogie ist eine Entsprechung, ein Vergleich, eine Ähnlichkeit, eine Gleichartigkeit, eine Parallele, Übereinstimmung oder Verwandtschaft. Die Bewegung der Zeiger einer Uhr verläuft analog zum Verstreichen der Zeit. Jede Stunde ein Zwölftel von 360° , also 30° ; jede Minute $1/60$ von $30^\circ = 0,5^\circ$, jede Sekunde $1/60$ von $0,5^\circ = 0,00833\dots^\circ$, jede Millisekunde ... und so weiter. Wie weit können wir gehen? Theoretisch unendlich weit. Aber Unendlichkeit gibt es

¹Philip Warren Anderson: „More is different“, *Science* 04 Aug. 1972, Vol. 177, Issue 4047, S. 393–396 (<http://science.sciencemag.org/content/177/4047/393>).

in der Realität nicht (von Ausnahmen abgesehen). Und hinter jeder Theorie lauert die Praxis. Hier sind es zwei Gründe, die gegen die unendliche Fortsetzung sprechen: Erstens, Zahnräder sind nicht hinreichend präzise, und $0,008^\circ$ ist schon für das menschliche Auge nicht bemerkbar. Zweitens und als Überraschung stellen wir fest: Die analoge Uhr hat einen digitalen Kern. Digital heißt nämlich „in abzählbaren Einzelschritten“, mit „diskreten“ (so das Fachwort) Werten. Diskret nicht im Sinne eines englischen Butlers, sondern (lateinisch *discernere* „trennen“, „unterscheiden“) „unterscheidbar“. Denn das Wort „digital“ kommt vom lateinischen *digitus*, dem Finger. Und so funktioniert die Uhr, zumindest die klassische mechanische Uhr: Innen drin hat sie ein hin- und herschwingendes Teil, die „Unruh“. Oder das Pendel der Pendeluhr meiner Oma. Das ist sozusagen ein Finger, der ticktack macht (Abb. 1.1). Er hat nur zwei Werte, Tick und Tack. Sozusagen eine Zahl mit nur einer Stelle, und die kann nur zwei Werte annehmen, Tick oder Tack, 0 oder 1. Wie der Schalter einer Nachttischlampe. Egal, wie oft Sie draufdrücken, er ist AN oder AUS. Er macht ticktack, ticktack, ticktack.

Und trotzdem bewegt sich der Stundenzeiger der analogen Uhr für unser Auge kontinuierlich und nicht in einzelnen Schritten, ebenso der Minutenzeiger. Nun stellen Sie sich vor, der Minutenzeiger bewege ein Zahnrad mit nur einem Zahn, das nur genau zur vollen Stunde ein Zählwerk weiter schaltet. Sie hätten ihre Uhr „digitalisiert“. Die Fachleute nennen das einen „Analog-Digital-Wandler“ (das nur nebenbei bemerkt). Dabei hätten Sie aber einen Genauigkeitsverlust in den letzten Stellen (hier den Minuten) in Kauf genommen. Denn selbst um 20:59 sagt ein Schlaumeier beim Blick auf die Digitalanzeige: „Wieso, es *ist* doch noch nicht neun Uhr!“ Ebenfalls nebenbei bemerkt: Eine Geige ist ein analoges Instrument, eine Gitarre

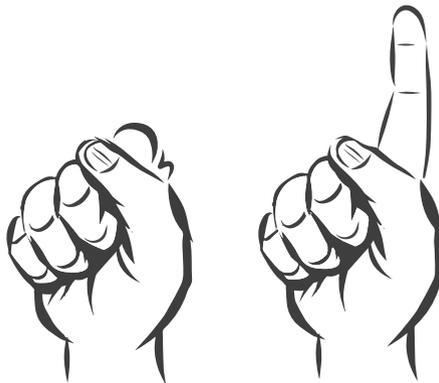


Abb. 1.1 Ein Finger zeigt 0 oder 1

(wegen der Bünde am Griffbrett) ein digitales. Eine Schlange bewegt sich analog, ein Mensch digital, nämlich schrittweise.

In Großbritannien diskutiert man inzwischen über die Abschaffung der analogen Uhren, weil Schüler das Zifferblatt einer analogen Uhr nicht mehr lesen können – selbst in weiterführenden Schulen. „Junge Leute sind viel mehr an digitale Uhren gewöhnt“, zitiert die BBC den stellvertretenden Generalsekretär des britischen Schulleiterverbands. Dort ist man der Meinung: „Für die ‚digitale Generation‘ könnte eine Analoguhr zum ‚Anachronismus‘ werden.“²

Die Uhr ist reine Hardware, ein Gerät. Sie hat zwar eine Benutzeroberfläche (engl. *user interface*), das Zifferblatt, aber keine Software, kein austauschbares Programm, das sie steuert. Anders z. B. die Webstühle des Herrn Joseph-Marie Jacquard aus dem Jahr 1805. Sie konnten unterschiedliche Stoffe weben, denn sie wurden über Lochkarten gesteuert – nach dem binären System, das wir noch kennenlernen werden. Dieser Webstuhl war also die erste „programmierbare“ Maschine und damit ein Grundstein der heutigen Automatisierung.

Das Prinzip Loch oder nicht Loch, an oder aus, ja oder nein, 0 oder 1 wurde schon sehr früh zur Steuerung von Automaten verwendet, ob sie nun weben oder rechnen sollten. Damit wären wir bei Charles Babbage, einem englischen Mathematiker und Philosophen. Er erfand zwei mechanische programmierbare Rechenmaschinen, die er allerdings nie zum Laufen brachte. Trotzdem gelten sie als Vorläufer des modernen Computers. Eine nannte er selbstbewusst *Analytical Engine*, die analytische Maschine. 19 m lang und drei Meter hoch, aus 55.000 Teilen bestehend und von einer Dampfmaschine angetrieben. Kein Wunder, dass sie nie fertig wurde. Ada Lovelace, die *Countess of Lovelace* und Tochter Lord Byrons, arbeitete mit Charles Babbage zusammen. Sie verfasste schriftliche Kommentare zur *Analytical Engine* und entwickelte eine Methode zur Programmierung von Maschinen nach dem „Babbage-System“. Sie erdachte 1843 den ersten für einen „Computer“ vorgesehenen Algorithmus zur Berechnung von Bernoullizahlen (was immer das ist) und schrieb damit das erste Computerprogramm. Deswegen wird sie als „erste Programmiererin“ bezeichnet. Die Programmiersprache *Ada* wurde nach ihr benannt.

²Sean Coughlan: „Young can ‚only read digital clocks““ in *BBC NEWS* vom 24.04.2018 (<http://www.bbc.com/news/education-43882847>).

Leibniz war kein Butterkeks

„Leibniz war kein Butterkeks“ – so betitelte ein Autor sein Buch über Philosophie.³ Recht hat er! Gottfried Wilhelm Leibniz war ein universelles Genie seiner Zeit. Er lebte von 1646 bis 1716. Er war Jurist, Philosoph, Mathematiker, Diplomat, Historiker und sogar politischer Berater.

Er hatte eine interessante Idee, sozusagen eine „neue Art zu zählen“ (obwohl schon Menschen vor ihm darauf gekommen waren, die sich aber nicht durchsetzen konnten). Zur Einstimmung wollen wir uns eine lustige Begebenheit aus der Steinzeit anhören:⁴ Eddi und Rudi, ein Paläo-Mathematiker und sein Physik-Kollege, sind die Helden dieser Geschichte. Sie hatten einen Zählwettbewerb ausgerufen.

Das Opfer einer Bärenattacke, das seitdem wenig zartfühlend „Ursi“ gerufen wurde, konnte mit seinen 8 Fingern daran leider nicht teilnehmen, da er als behindert galt (heute würde man politisch korrekt „digital herausgefordert“ sagen) – was bei dem kommenden Zählwettkampf verständlich war.

„Wir machen einen Wettbewerb“, rief Rudi, „eine Schale Met für den Gewinner. Wer kann mit seinen zehn Fingern am weitesten zählen? Wer hat die höchste Zahl?“

„Ich“, schrie der Dorftrottel, „Zehn.“ Und er schied sofort aus. Schweigen breitete sich aus. Ein etwas fremdländisch aussehender Mann hob den Arm: „Der Stamm, von dem ich herkomme ...“ Leichtes Gemurmel. Man kannte diese Einleitung und nicht jeder mochte das, was üblicherweise folgte. Andere Kulturen waren offenbar in manchen Dingen schon weiter, und nicht jeder im Stamm besaß die Toleranz, das zu akzeptieren. Doch der Redner ließ sich nicht beirren: „Wir hatten ein Achtersystem. Insofern war es unklug und vorschnell, Ursi nicht teilnehmen zu lassen. Wir zählten mit den acht eigentlichen Fingern und reservierten die Daumen dafür, uns die Achter zu merken. So kamen wir auf zwei Daumen mal acht plus noch einmal acht Finger. Und das sind vierundzwanzig.“

Das verblüffte die anderen und es dauerte eine Weile, bis sich ein zweiter traute, ein Ziegenhirt: „Dreißig!“ „Das musst du uns beweisen“, sagte Eddi. Der Ziegenhirt sprach: „Ich zähle meine Ziegen mit der rechten Hand bis fünf. Dann merke ich mir mit einem Finger der linken, dass ich fünf erreicht habe und fange für die sechste rechts wieder mit einem Finger an. Bei der zehnten hebe ich links den zweiten Finger und mache rechts wieder

³Michael Schmidt-Salomon: „Leibniz war kein Butterkeks“, Piper München 2012.

⁴Beetz J (2013), S. 338 f.

eine Faust. Und so weiter. Fünf Finger der linken Hand sind dann fünfundzwanzig, und dann kann ich rechts noch fünf weitere zählen.“ Gemurmel im Kreis der Umstehenden.

Eddi nickte beifällig und Rudi wollte schon das Bier abfüllen, da schrie ein anderer: „*Fünfunddreißig!*“ Alle Köpfe fuhren herum. Der andere blickte den Ziegenhirten etwas verächtlich an und sagte zu ihm: „Da hättest du draufkommen müssen! Du brauchst den ersten Finger links ja erst bei der sechs zu heben und den zweiten bei der zwölf. Dann kannst du links fünf mal sechs markieren und kannst rechts noch fünf weiterzählen!“ Alle klatschten, und Rudi war so verblüfft, dass er den ersten Schluck Met selbst trinken musste. Nun war die Sache offensichtlich entschieden ...

Eine helle Kinderstimme meldete sich. Man hatte ihn unter den Erwachsenen kaum gesehen, und Rudi ahnte Fürchterliches. Er versuchte, das Unausweichliche noch abzuwenden: „Karli, was willst *du* denn hier?! Das ist eine Sache für Männer!“ Eine zweite helle Stimme ergriff das Wort: „Das glaubt ihr wohl, ihr Kerle! Jeder, der denken kann, darf sich frei äußern.“ Willa, die Frau des Stammeshäuptlings und die erste Mathematikerin der Geschichte! Das fehlte noch! „Also, Karli, was hast du zu sagen?“, lenkte Rudi ein. „Eintausenddreißig“, sagte der Kleine. Und Willa nickte.

Den folgenden Tumult wollen wir übergehen. Rudi schüttete den Gewinn in einem Zug hinunter, denn der Sieger war *dafür* ja noch nicht reif. Niemand wollte das glauben, aber Willas Autorität war auch nicht in Frage zu stellen. Sie untermauerte ihre Position mit einer Runde Met für alle (außer Karli). So fanden alle, dass es ein gelungenes Quiz war, obwohl niemand unter den Zuschauern das Ergebnis so richtig verstanden hatte.

Zählen und Zahlen im „Dualsystem“

Schauen wir uns an, wie Karli gedacht hatte. Jeder Finger hat nicht den Wert 1, sondern markiert eine Folge von Verdoppelungen. So wie bei der Dezimalschreibweise jede Position den *zehnfachen* Wert der Stelle rechts von ihr hat. Ist im Dezimalsystem die höchste Ziffer eine 9, so ist es im „Dualsystem“ (das nur zwei Werte kennt, daher der Name) die 1. Ein Beispiel verdeutlicht diese verbale Beschreibung (Tab. 1.1):

Oben in Tab. 1.1 ist die Zahl 13 dargestellt. Das wird Sie nicht überraschen, denn daran sind Sie ja gewöhnt. Unten müssen Sie erst einmal ein wenig rechnen: 1 mal 8 plus 1 mal 4 plus 0 mal 2 plus 1 mal 1 sind ... auch wieder 13. Das sehen Sie in Abb. 1.2. Wenn Sie mitrechnen, stellen Sie fest, dass 0101 im Dualsystem 5 ist ($4 + 1$), 1001 gleich 9 ($8 + 1$) und dass die

Tab. 1.1 Dezimalsystem (oben) und Dualsystem (unten) im Vergleich

Ziffer (0 bis 9)			1	3
Wert der Stelle	1000	100	10	1
Ziffer (0 bis 1)	1	1	0	1
Wert der Stelle	8	4	2	1



Abb. 1.2 Die dezimale 13 mit dualen Fingern gezeigt (aus der Sicht der Person zu lesen)

höchste vierstellige Zahl 15 ist (1111). Wie hoch ist also die höchste zehnstellige Zahl, die aus dem Zehnfinger-Zählwettbewerb? Von rechts nach links addieren wir die Werte der Stellen: $1 + 2 + 4 + 8 + 16 + 32 + 64 + 128 + 256 + 512 = 1023$. Und nicht durch Zufall ist das der Wert der 11. Stelle minus eins: $1024 - 1$.

Das Dualsystem wurde von Gottfried Wilhelm Leibniz schon 1705 in einem Artikel „Erklärung der binären Arithmetik“ veröffentlicht. Doch auch er hatte vermutlich Vordenker. Aber das faszinierte die Erbauer von Rechenmaschinen: ein extrem kompaktes System mit nur zwei Zuständen, also extrem zuverlässig. Wollte man eine elektrische Rechenmaschine bauen, gab es nur zwei Möglichkeiten: AN oder AUS. Strom fließt oder nicht. Stellen Sie sich einen Dezimalsystem-Computer vor: *zehn* verschiedene Spannungen von 0 bis 9 V – viel zu unsicher, wenn der Akku mal nur 8,5 V liefert. Ist das nun eine kleine 9 oder eine große 8?

So konnte man also Zahlenwerte abbilden. Was aber ist mit Buchstaben und Satzzeichen? Ganz einfach: Wir verschlüsseln sie einfach, ordnen ihnen eine willkürlich gewählte Folge von Nullen und Einsen zu. Das schauen wir uns gleich genauer an. Zuvor aber eine fast philosophische Frage.

Was ist eigentlich Information?

Ist sie materiell oder immateriell, gar etwas „selbstständig Seiendes“? Oder ist sie an etwas gebunden, ohne das sie nicht existiert? Schaut man sich einen Schlüssel im Unterschied zum Rohling an (Abb. 1.3), dann sieht man sofort die Information (wörtlich: Einformung) in der Abfolge von Zahn (z) und Kerbe (k). In unserem Fall ist es eine Zeichenfolge mit nur zwei Werten, nämlich „zkkzzk“. Die Computertechniker nennen das „binär“ und schreiben es als 0-1-Folge: 100110. Die einzelnen Binärziffern sind die „Bits“ – die werden wir uns im nächsten Abschn. 1.2 genauer ansehen.

Feilen oder fräsen Sie die passenden Kerben in einen Schlüsselrohling hinein, können Sie mit dieser Information („Einformung“) ein Schloss öffnen. Was unterscheidet diese Information von einer zufälligen und bedeutungslosen Einkerbung des Rohlings? Die Antwort ist in der Frage versteckt: Sie hat eine Bedeutung. Was bedeutet das nun wieder? Sie ist die Ursache einer Wirkung – in unserem Beispiel schließt sie das Schloss auf. Die Zeichenkette „Xe78aUug0K42“ ist eher zufällig und bedeutungslos. Sie kann aber auch das Passwort meines Routers sein. Dann hat sie eine Wirkung: Sie stellt die Kommunikation zu meinem PC her. Die Wirkung oder Bedeutung kann auch eine Verknüpfung zu einer anderen Information sein. „13071983“ wird dann zur Information, wenn sie mit dem Begriff „Geburtsdatum“ einer anderen Person verknüpft ist. Information ist immateriell, sie braucht aber immer einen materiellen Träger – hier den Schlüssel. Oder die Zeichnung, das Schlüsselfeilprogramm oder auch nur das präzise Gedächtnis des Schlossers. Denken Sie sich den Schlüssel weg, ist auch die Information weg. Mit der Information allein können Sie kein Schloss öffnen. Das ist im Computer nicht anders. Die Information – Daten *und* Programme – braucht einen materiellen Träger, den Hauptspeicher, die Festplatte, den USB-Stick. Wird der Träger vernichtet, ist die Information weg.

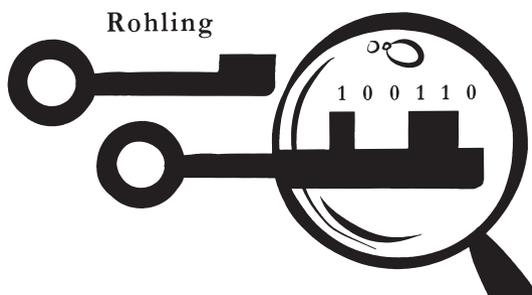


Abb. 1.3 Information ist „Einformung“

Der Satz „Hier könnte es Fisch geben“ ist nichts Materielles, er ist nicht anfassbar, er hat keine physische Ausdehnung (außer in seiner niedergeschriebenen Form). Das weiß der gesunde Hausverstand ebenso wie die Tatsache, dass er einen materiellen Träger braucht. Die Information ist an diesen Träger gebunden, an eine beliebige physikalische Größe: eine elektrische Spannung, ein magnetisches Feld, eine Drehrichtung usw. Ist sie binär codiert, brauchen wir nur zwei verschiedene Werte, mehr nicht. Der Satz ist eine Information, und der materielle (besser: physikalische) Träger ist das Papier, ein Schallimpuls oder (wenn es ein Gedanke ist) das Gehirn. Auch wenn es das einer Möwe ist, die um einen Fischtrawler kreist. Hätte sie keins, könnte sie den Satz nicht „denken“ (im übertragenen Sinne). Die Grenze nach unten ist fließend und nicht feststellbar – ähnlich der Frage, ab wie vielen Körnern ein Sandhaufen kein Haufen mehr ist, sondern nur noch ein paar Körnchen. So kann ein einzelnes Neuron nicht denken, aber viele können es. Aber ab wie vielen?

Information ist Bedeutung, Ordnung, Struktur. Das unterscheidet ein Gedicht von einem Buchstabensalat, ein Musikstück von einer zufälligen Tonfolge. So lassen sich beliebig umfangreiche Informationsmengen codieren, ob mit einem 26-Zeichen-Vorrat wie in unserer Alphabet oder einem 4-Zeichen-Vorrat in unserer DNA oder als 0-1-Sequenz im Computer. Allerdings bedeutet diese Information erst einmal ... gar nichts. Sie unterscheidet sich in ihrer Wahrscheinlichkeit nicht von „keiner“ Information, unserem Rohling (zz...zz oder 11...11). Erst wenn die Information „gelesen“ wird und etwas *bewirkt*, etwas steuert oder beeinflusst, einen Sinn und Zweck hat, eine Aktion auslöst, ist sie etwas Besonderes. Unter Millionen oder Milliarden bedeutungsloser k-z-Sequenzen („Informationsrauschen“) schließt dieser *eine* Schlüssel *ein* bestimmtes Schloss.

Es gibt keine Information ohne Informationsträger, also das physikalische Medium, in das sie „eingeformt“ ist, in dem sie gespeichert ist und transportiert wird. Kein Brief ohne Papier, kein Zuruf ohne Schallwelle, keine E-Mail ohne Übertragungsnetz, kein Handygespräch ohne Funkwellen, kein Gedanke ohne Gehirn, keine Erbinformation ohne DNA. Oft lebt die Information (auf ihrem Träger!) länger als das zugehörige Individuum – von Ramses bis Nelson Mandela. Oder das Licht eines 3 Mio. Lichtjahre entfernten Sterns, das wir hier sehen, obwohl der Stern längst verglüht ist. Denn die Information (das Licht) „reist“ als eine elektromagnetische Welle, so wie das Handygespräch.

Selbst der Rohling enthält – informationstheoretisch gesehen – eine Information, aber die bedeutet nichts. Oder doch? Es würde sicher manchen Einbrecher verblüffen, wenn überraschenderweise der Rohling die Tür

schließen würde! Gedanken sind in diesem Sinne weniger passive Informationen, sondern eher aktive Wirkungen – sie rufen etwas hervor. Physikalisch gesehen sind es elektrische oder chemische Potenziale, die andere physikalische Signale auslösen. Vielleicht setzen sie Neurotransmitter frei und rufen Gefühle hervor, ein inneres Erleben. Prosaisch, nicht wahr?

Allerdings hat das Gehirn keine lineare Struktur, sondern ist ein so genanntes „neuronales Netz“. Es hat nicht eine CPU und einen Speicher und eine sequenzielle Verarbeitung von Programmbefehlen wie ein PC, es arbeitet dezentral, vernetzt und parallel. Wir werden aber noch sehen, dass die Computerwissenschaftler versuchen werden, genau dieses neuronale Netz technisch nachzubilden.

„Digitalisierung“ bedeutet: Alles wird in Zahlen verwandelt – besser: in Code, der von Maschinen gespeichert und verarbeitet wird. In einer bestimmten Darstellung, die wir noch genauer verstehen werden, sieht er aus wie in Textkasten 1.1.

```
4D6178204D75737465726D616E6E20697374206F62646163686C6F7320756E6420
726567696572756E67736665696E646C6963682065696E67657374656C6C742E204
461206572206D697474656C6C6F732069737420756E64206175C39F657220537065
6E64656E206B65696E2045696E6B6F6D6D656E206861742C207769726420736569
6E204B7265646974616E7472616720616267656C65686E742E
```

Textkasten 1.1 Das digitalisierte Ergebnis von Max M.s Kreditanfrage

Geben Sie sich keine Mühe, das zu entschlüsseln. Es könnten aneinander gereihete Zahlen sein, die seine letzte Einkommensentwicklung widerspiegeln oder einfach nur Text.⁵ Der aufmerksame Betrachter wird vielleicht feststellen, dass darin außer Ziffern nur die Buchstaben A bis F vorkommen, aber mehr auch nicht. Daher nun zurück zum Thema.

Was ist „Digitalisierung“?

„Digitalisierung“ heißt als Schlagwort: „Alles wird zur Zahl“, aber auch: „alles liefert Daten“ und: „alles ist vernetzt“. „Digitalisierung“ sieht man in vielen *Science-Fiction*-Filmen, aber es sind nicht die humanoiden Roboter, die das ausmachen. Es ist der *Blick* dieser Roboter auf die reale Welt (die mancher

⁵Für Neugierige: Das genau ist der Fall. Der Text lautet: „Max Mustermann ist obdachlos und regierungsfeindlich eingestellt. Da er mittellos ist und außer Spenden kein Einkommen hat, wird sein Kreditantrag abgelehnt.“

Computergrafiker auch schon im *Heute-Journal* nachahmt). Jede Person, jede Verbindung zweier Personen und/oder Dinge, jedes Ereignis – jedes dieser Dinge ist mit seinen Daten über eine Nummer erfasst. Personalnummer, Autonummer, Auftragsnummer, Flugnummer, Kontonummer, Warennummer, Abteilungsnummer, Transaktionsnummer. Jedes dieser Dinge ist verbunden mit einem Anhängsel aus Daten – jedes Ding, ob lebend oder unbelebt, materiell oder immateriell, real oder fiktiv kennt die Maschine.⁶ Wir beschreiben die menschliche Gesellschaft nur noch durch statistische Zahlen – so, als ob wir eine Beethoven-Symphonie durch die Noten beschreiben würden anstatt sie zu hören. Die Welt wird zum Computer.⁷

Ein fiktives, aber realistisches Beispiel aus dem echten Leben in einer Digitalgesellschaft könnte so aussehen:

Der leitende Botschaftsangehörige Yve Gotcha verlässt die Boutique *Chic&Anmut* mit einem neuen Anzug unter dem Arm. Die Kreditkartenzahlung war von seiner Bank im Heimatland natürlich anstandslos freigegeben worden. Die von *eTailor*, dem elektronischen Schneidergesellen, abgenommenen Maße waren sofort in ein Land mit Niedriglöhnen übertragen worden. Von dort war der Anzug per Flugzeug innerhalb zweier Tage angekommen. Das war immer noch billiger, als ihn im Land durch Automaten produzieren zu lassen.

Im Büro hatte man ihn auf *Tracking* geschaltet, obwohl er nichts Verbotenes tat. Das Mini-KI-System auf dem Intranet der Botschaft hatte die von der Sekretärin gesprochene Frage „Darf ein Mitarbeiter während seiner Dienstzeit einen Anzug kaufen?“ mühelos erkannt und mit „Ja“ beantwortet. Doch aus Sicherheitsgründen – so die interne Regel – musste jeder Mitarbeiter im öffentlichen Raum durch Kameras mit Gesichtserkennung lokalisierbar sein. Und sein Bewegungsprofil wurde routinemäßig abgespeichert.

„Mittagszeit!“, sagt sein Armband, „Dein Blutzuckerspiegel ist niedrig. Da drüben ist das *Dim Sung*, dem du das letzte Mal fünf Punkte für sein Sushi gegeben hast. Zwei Tische sind dort noch frei. Soll ich einen reservieren?“ Doch er entscheidet sich erst einmal für einen Kaffee. Im gemütlichen *WalkInWalkOut* gefällt ihm der neue Cappuccino (der natürlich über seine App abgebuht wird) so sehr, dass er gleich seine Kaffeemaschine im Büro damit programmiert. Bei dieser Gelegenheit teilt ihm die Maschine mit, dass sie keine Reinigungskapseln mehr hat.

⁶Im Abschn. 2.3 werden diese Dinge „Entitäten“ genannt.

⁷Überschrift in Hofstetter Y (2018) S. 37.

Als er bei einem Herrenausstatter vorbeigeht, meldet dieser ihm zu seiner Überraschung per SMS, dass er den Anzug dort 5 % preiswerter bekommen hätte. Und er fragt ihn, ob er diesen Stoff zu seinen bevorzugten Mustern hinzufügen möchte. Dank eines kleinen Tricks der Fachleute in seiner Botschaft sieht er auf seinem Smartphone, dass seine Frau sich gerade ein sündhaft teures Kleid gekauft hat. Beruhigend, dass er auch weiß, wo sein kleiner Sohn ist – dank eines kombinierten GPS-Chips in seinen Schuhen. Das ist in den USA Mode, damit die Kids nicht verloren gehen. Als er an einer Reklame-Videowand vorbeikommt, schaltet die Wand kurz auf Werbung für ein Damenparfüm um (weil das von Herren gekauft wird, und umgekehrt).

Sein privates Auto⁸ stand in der Parkgarage, über die Nummernschild-Erkennung wurde die Autonummer gelesen und die Parkgebühr automatisch von seinem Smartphone abgebucht. Auch der Stromverbrauch an der Ladesäule wurde direkt abgebucht. Auf dem Weg dorthin hatte er noch einen Supermarkt betreten. Der Einkaufswagen hatte seine RFID⁹-Kundenkarte drahtlos und unbemerkt gelesen und ihn persönlich begrüßt: „Schön, Sie wieder bei uns begrüßen zu dürfen! Sie waren ja längere Zeit nicht bei uns, aber ich erinnere mich an die leckere scharfe Toskana-Salami, die Sie das letzte Mal gekauft haben. Die ist jetzt im Angebot. Ihre bevorzugte Schokolade mit dem hohen Kakaoanteil hat übrigens einen neuen Platz bekommen, sie befindet sich jetzt direkt vor den Kassen. Darf ich Ihnen den Weg zeigen?“

Nach einiger Zeit hatte er sich verlaufen, und sein Termin in der Botschaft wurde von seinem Telefon angemahnt. Ein automatisches Taxi brachte ihn zum Parkhaus zurück, nicht ohne an einem Elektronik-Shop vorbeizufahren, da er in letzter Zeit öfter im Netz nach großen Fernsehern gesucht hatte.

Ein gläserner Bürger, so sagt man oft. Aber wäre er aus Glas, wäre er unsichtbar, denn man könnte durch ihn hindurchsehen. Er ist aber das Gegenteil, von innen und außen und immer sichtbar, Was er tut, wo er ist, was ihn interessiert – der allwissende Gott des Informationskapitalismus hat ihn im Auge. Sein Datenschatten ist größer als er selbst.

Ist diese Geschichte eine plausible Zukunftsvision, vielleicht heute schon in Teilen realisiert? Das werden Sie im Kap. 3 sehen. Doch zuerst zurück zu den technischen Grundlagen.

⁸Er hatte eine Ausnahmegenehmigung, denn in der Innenstadt waren nur selbstfahrende öffentliche Autos zugelassen, die fast nie parken mussten.

⁹RFID (*radio-frequency identification*, Identifizierung über Funk) bezeichnet eine Technologie für Sender-Empfänger-Systeme zum automatischen und berührungslosen Identifizieren und Lokalisieren von Objekten und Lebewesen mit Radiowellen (<https://de.wikipedia.org/wiki/RFID>).

1.2 Bits und Bytes

Wenn wir nun alles *binär* verschlüsseln, also in Nullen und Einsen, dann brauchen wir natürlich eine Einheit, die genau einem Zeichen entspricht. Einer Ziffer, einem Buchstaben, einem anderen Zeichen – vom Fragezeichen bis hin zu ... ja, *keinem* Zeichen: einer Leerstelle bzw. einem Zwischenraum. Die kleinste Maßeinheit, die neue „Ziffer“ im Binärsystem ist das „Bit“. Ein Kunstwort aus dem Englischen *binary digit* (binäre Ziffer). Wie viele Bits brauchen wir für die Codierung von Zeichen? Rechnen wir mal grob: 10 Ziffern, 26 Großbuchstaben, 26 Kleinbuchstaben, zwei Hände voller Satzzeichen – sagen wir mal: 100 Zeichen in einer Einheit. Da würden 7 Bits reichen, denn damit kann man 128 verschiedene Zeichen verschlüsseln.

Die Verschlüsselung ist seit 1963 unter dem Namen ASCII (*American Standard Code for Information Interchange*, deutsch „Amerikanischer Standard-Code für den Informationsaustausch“) bekannt geworden. Um noch für die vielen nationalen Zeichen (z. B. è, é oder ê) Reserve zu haben, hat man 8 Bit gewählt, also 256 verschiedene Zeichen. „A“ ist 0100 0001, „B“ 0100 0010, „1“ 0011 0001, „2“ 0011 0010 und so weiter. Natürlich bekommt das Leerzeichen (engl. *blank*) auch eine Verschlüsselung: 0010 0000. Diese Achtergruppe bekam den Kunstnamen „Byte“ (das Bit konnte man noch als das englische Wort für „ein bisschen“ interpretieren, das Byte als verballhorntes *bite* = „Bissen“).

„A“ ist 0100 0001, „B“ ist 0100 0010 usw. Sich das zu merken ist ... anstrengend, um es milde zu sagen. Selbst wenn man es wie oben in Vierergruppen abteilt. Sehr schnell kam man darauf, einfach das bekannte Dualsystem zu nutzen: 0001 ist 1, 0010 ist 2, 0011 ist 3. Bis zu 1001 gleich 9. Wie aber die restlichen Kombinationen der insgesamt 16 Möglichkeiten mit nur einer „Ziffer“ abkürzen? „Nehmen wir doch das Alphabet!“, dachte jemand und schrieb 1010 als „A“, 1011 als „B“ und schließlich 1111 als „F“. Die „hexadezimale“ (auf 16er-Gruppen beruhende) Schreibweise war geboren. Einen Teil der Verschlüsselungen sehen Sie in Tab. 1.2: links das Zeichen, rechts daneben die binäre und die hexadezimale Darstellung, bei der man die Systematik leichter erkennt. Denn Sie vermuten sofort: C ist 43_{hex} und 4 ist 34_{hex} .

Hier lernen Sie zum ersten Mal und quasi nebenbei, wie Computer (zu) denken. Es ist Ihre erste Begegnung mit einem Algorithmus, also einer Rechen- oder (für uns Menschen) Handlungsvorschrift. Wir handeln ja oft nach Algorithmen, ohne es zu merken. Denn Algorithmen sind Prozesse zur Entscheidungsfindung – nicht nur in Maschinen. In Abschn. 1.3 und 3.1

Tab. 1.2 Ausschnitt aus der ASCII-Tabelle

Zch	Binär (Byte)	hex	Zch	Binär (Byte)	hex	Zch	Binär (Byte)	hex
A	0100 0001	41	0	0011 0000	30	.	0010 1110	2E
a	0110 0001	61	1	0011 0001	31	,	0010 1100	2C
B	0100 0010	42	2	0011 0010	32	/	0010 1111	2F
b	0110 0010	62	3	0011 0011	33	@	0100 0000	40

werden wir uns das genauer ansehen. Zuerst noch eine kleine Bemerkung zu elektrischen bzw. elektronischen Schaltern. Aber ...

wenn Sie technische Einzelheiten nicht interessieren,
dann gehen Sie gleich nach HIER.¹⁰

„Wann kommt er denn nun, der Algorithmus?“, fragen Sie. Das war er schon: *Wenn* (irgendeine Bedingung), *dann gehe zu* (irgendeine Stelle). Das war zwar eher ein kleiner Baustein eines Algorithmus, aber immerhin. Die „Wenn-dann“-Konstruktion wird uns noch näher beschäftigen. Und der „Sprungbefehl“ (*gehe zu*) erst recht, denn er hat es in sich. Zurück zur Technik.

Flipflop statt Ticktack

Jetzt hatten die Techniker wieder eine Aufgabe, die es zu lösen galt. Wie bringt man Dynamik in den Rechner, eine Bewegung wie die Unruh in der Uhr? Und wie halbiert man den Takt, denn man muss ja irgendwie die binäre Addition realisieren? Alles Rechnen beruht ja auf Additionen, denn Subtraktionen sind ja nur „Addition rückwärts“, Multiplikation ist mehrfache Addition und Division ist „Multiplikation rückwärts“. Grob gesagt. Mathelehrer mögen mir verzeihen. Da – binär gerechnet – $0 + 1 = 1$ und $1 + 1 = 10$ ist, darf der Übertrag auf die höhere Stelle ja nur bei jedem zweiten Takt erfolgen.

Also mussten die Techniker den Nachttischlampenschalter (der bei jedem zweiten Drücken AN ist) realisieren. Ohne einen Menschen, der mit dem Finger auf den Knopf drückt. Sondern mit einem elektrischen Impuls, einem „elektrischen Finger“. Digital eben.

Konrad Zuse, der deutsche Computerpionier, kannte die Lösung: ein Relais, wie sie bei Telefonzentralen damals üblich waren. Historiker kennen ein Relais als Station zum Auswechseln von Reit- oder Kutschpferden.

¹⁰Wenn Sie jetzt nach „HIER“ im Buch suchen, dann sind Sie schon nahe am Problem!

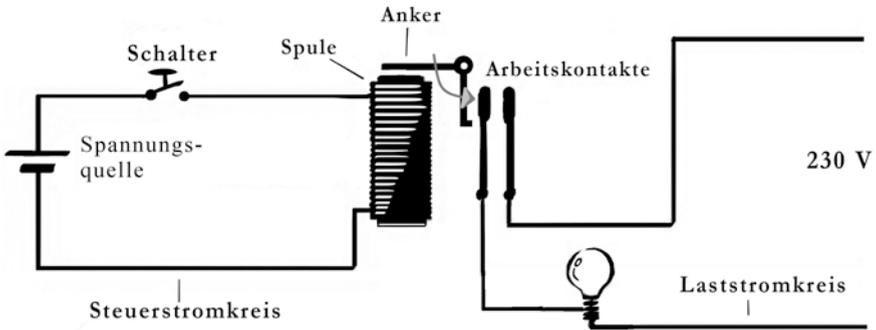


Abb. 1.4 Ein „Relais“ ist ein elektrisch betätigter Schalter

In der Elektrotechnik ist es ein elektrisch betriebener und meist elektromagnetisch wirkender Schalter. Der „elektrische Finger“ ist ein Stromkreis (Abb. 1.4 links), der einen Elektromagneten einschaltet, der wiederum einen zweiten Stromkreis schließt (Abb. 1.4 rechts). Fließt Strom durch die Spule mit Kupferdraht, dann wird ihr Eisenkern magnetisch. Das ist Physik. Dann schließt die Mechanik des Relais den rechten Stromkreis und die „1“ ist realisiert. Denn „kein Strom“ war die „0“. Nun schaltete er zwei solcher Relais auf trickreiche Art so zusammen, dass sie sich gegenseitig so steuerten, dass immer eins auf „1“ (AN) und das andere auf „0“ (AUS) stand – eine Art Nachttischlampenschalter. Bei jedem Impuls am Eingang dieser Schaltung fällt das Flipflop in die jeweils andere Position.¹¹

Damit war das Flipflop, eine Art Unruh für den Rechner, geboren. Etwas hochtrabender nennt man es auch „bistabile Kippstufe“. Also zwei Stufen, zwischen denen das Ding stabil hin- und herkippt – bei jedem „elektrischen Fingerdruck“ in die andere Richtung. Das macht das Flipflop auf Anstoß beim Addieren und realisiert so die Binärarithmetik, denn bei 2 Anstößen ist er einmal AN, bei 4 zweimal, bei 8 viermal usw. Und es macht dies „von selbst“ als Taktgeber in Form einer „selbsterregten Schwingung“ – wie die Unruh der Uhr. Ein einfaches und doch ausgeklügeltes Bauelement. Denn was bei der Mechanik eines Kugelschreibers simpel ist, erfordert elektrisch etwas Erfindergeist.¹²

¹¹Vielleicht kannte er ja das Patent vom 21. Juni 1918, das William Henry Eccles und Frank W. Jordan für ein Flipflop (schon mit Röhren!) bekommen hatten. Achtung: Der Flipflop ist maskulin – der nur aus Sohle und Zehenriemen bestehende, flache, bunte Sommerschuh aus Kunststoff (<https://www.duden.de/suchen/dudenonline/flipflop>).

¹²Nach ihren Erfindern im Jahr 1918 auch „Eccles-Jordan-Schaltung“ genannt. Technikfans finden viele Schaltungen von Relais incl. Flipflops auf http://www.homofaciens.de/technics-base-circuits-relay_ge.htm.

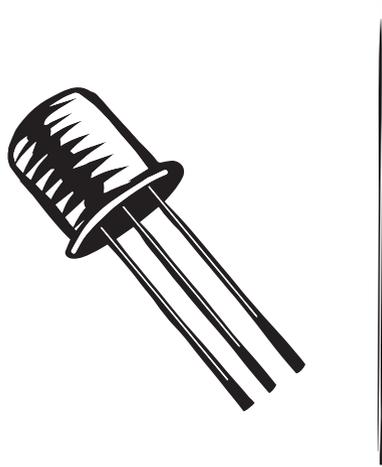


Abb. 1.5 Links einer der ersten Transistoren, rechts ein heutiges Modell

Das funktionierte ... meist. Es sei denn, eine Motte oder eine Wanze saß zwischen den beiden Arbeitskontakten. Dann versagte der Schalter, und der Käfer wurde durch den Strom gebraten. So geschehen im Jahre 1947 durch eine Motte in einem Relais des Computers *Mark II Aiken Relay Calculator*. Seitdem heißt jeder Computerfehler, auch und gerade in der Software und nicht in der elektronischen Hardware, umgangssprachlich „Bug“ (engl. *bug* = Wanze).¹³ Damals nannte man den Computer allerdings noch nicht „Computer“, sondern „elektronischer Rechenautomat“. Auch „Informatik“ oder gar „IT“ (*Information Technology*) waren unbekannte Vokabeln; man sprach von „digitaler Rechentechnik“. Dass der Computer viel mehr kann, als nur mit Zahlen rechnen, ahnte damals noch niemand.

Nicht nur wegen der Motten oder anderer Schaltfehler hielt sich diese Technik nicht lange. Die Relais wurden durch Radioröhren ersetzt, später durch Transistoren wie in Abb. 1.5. „Radioröhren“ sind elektronische Schalter in der Form von mit Vakuum „gefüllten“ Glasröhren von der Größe einer Zahnpastatube. Sie wurden damals auch (das werden Sie vermutet haben) in Radios verwendet.¹⁴ Transistoren sind ebenfalls elektronische Schalter, aber ohne Vakuum, sondern auf der Basis von so genannten Halbleitern wie Silizium. Damals hatten sie etwa die halbe Größe der Kappe

¹³Allerdings soll schon 1878 Thomas Edison den Begriff in diesem Sinne verwendet haben.

¹⁴Falls Sie noch genauer wissen wollen, was das ist, googeln Sie es – es würde hier zu weit führen.

einer Zahnpastatube. Heute sind sie etwa 60 nm groß (60 Millionstel mm). Also nicht „groß“, sondern klein. Winzig.

Wenn Sie rechts in Abb. 1.5 nichts sehen, dann sehen Sie richtig: Transistoren sind inzwischen so klein, dass 180.000.000 (180 Mio.!) auf einen Fingernagel passen. Oder auf einen *Chip*, ein Halbleiterplättchen mit den darauf aufgebracht winzigen elektronischen Bauteilen. Nebenbei: Für ein Flipflop brauchen Sie zwei dieser Schalter (Relais, Röhren oder Transistoren). Das Prinzip ist immer dasselbe: Ein „elektrischer Finger“ ohne Mechanik – wie das im Einzelnen funktioniert, kann man mit einem Haufen Physik erklären. Muss man aber nicht wissen.

Diese ständige Verkleinerung wurde als das „Moore’sche Gesetz“ bekannt. Gordon Earle Moore war einer der Mitbegründer des heute weltweit größten Halbleiterherstellers *Intel*. Schon 1965 vermutete er, dass die Dichte der Transistoren auf einem Chip exponentiell wächst und damit die Rechenleistung eines Computers. Alle 18 bis 24 Monate, so stellte Moore in dem nach ihm benannten „Gesetz“ fest, verdoppele sich die Rechenleistung.¹⁵

„Menschen [...] sind sensationell schlecht darin, exponentielle Entwicklungen kognitiv zu erfassen. Wir können das einfach nicht.“¹⁶ Wir können auch Keime für Revolutionen, die sich exponentiell entwickeln werden, nicht erkennen. Aber Vorsicht mit weiteren Extrapolationen: Nicht nur jedes Wachstum hat ein Ende (obwohl Wirtschaftsbosse und Politiker das gleichermaßen ignorieren), sondern auch jedes Schrumpfen. Irgendwann ist aber auch das Ende dieses Gesetzes gekommen, da dann die molekularen oder atomaren Untergrenzen erreicht sind.

Die Reaktion auf technische Neuerungen folgt in Medien und im Privatleben ähnlich vorgezeichneten Bahnen. Das erste, noch ganz reflexhafte Zusammenzucken ist das „*What the hell is it good for?*“ (Wozu zum Teufel ist das gut?), mit dem der IBM-Ingenieur Robert Lloyd 1968 den Mikroprozessor willkommen hieß. Schon Praktiken und Techniken, die nur eine Variante des Bekannten darstellen – wie die elektrische Schreibmaschine als Nachfolgerin der mechanischen –, stoßen in der Kulturkritikbranche auf Widerwillen. Noch schwerer haben es Neuerungen, die wie das Telefon oder das Internet ein weitgehend neues Feld eröffnen.¹⁷

¹⁵Moores Original-Artikel: <ftp://download.intel.com/research/silicon/moorespaper.pdf>.

¹⁶Al Bartlett in Christian Stöcker: „Das Experiment sind wir“ in *Spiegel online* vom 25.03.2018 (<http://www.spiegel.de/wissenschaft/mensch/menschheitsgeschichte-das-experiment-sind-wir-a-1199596.html>).

¹⁷Zitat aus Kathrin Passig: „Standardsituationen der Technologiekritik“ in Merkur, Heft 727, Dez. 2009 (http://kathrin.passig.de/texte/standardsituationen_der_technologiekritik.html).