



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

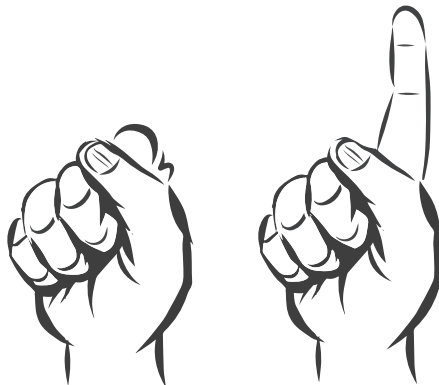


Abb. 1.1 Ein Finger zeigt 0 oder 1

(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