

Übersetzung der
2., überarbeiteten Auflage

CHARLES PETZOLD

C



O



D



E



Wie Computer funktionieren

Die Sprache von Hardware und
Software verstehen



Inhaltsverzeichnis

	Einleitung	7
1	Beste Freunde	11
2	Codes und Kombinationen	17
3	Braille-Schrift und binäre Codes	23
4	Aufbau einer Taschenlampe	31
5	Um die Ecke kommunizieren	41
6	Logik mit Schaltern	51
7	Telegrafen und Relais	67
8	Relais und Gatter	75
9	Unsere zehn Ziffern	101
10	10 einmal anders	109
11	Bit für Bit für Bit	127
12	Bytes und hexadezimal	147
13	Von ASCII zu Unicode	157
14	Addieren mit Logikgattern	177
15	Funktioniert das wirklich so?	191
16	Und wie sieht es mit der Subtraktion aus?	207
17	Rückkopplung und Flipflops	223
18	Wir bauen eine Uhr!	253
19	Speicher und Erinnerungen	277
20	Automatische Berechnungen	297
21	Die arithmetisch-logische Einheit	321

22	Register und Busse	339
23	CPU-Steuersignale	357
24	Schleifen, Sprünge und Aufrufe	379
25	Peripheriegeräte	405
26	Das Betriebssystem	415
27	Programmieren	427
28	Das Weltenhirn	449
	Stichwortverzeichnis	461

Einleitung

Die erste Auflage dieses Buchs wurde im September 1999 veröffentlicht. Damals war ich überzeugt davon, ein Buch geschrieben zu haben, das nie mehr überarbeitet werden müsste. Darin unterschied es sich deutlich von meinem Erstlingswerk, das Programmieranwendungen für Microsoft Windows zum Thema hatte und in nur zehn Jahren fünf Auflagen durchlief. Mein zweites Buch zum OS/2 Presentation Manager war noch schneller überholt. Doch bei *Code*, da war ich mir sicher, sah es anders aus.

Die ursprüngliche Idee dahinter war, mit sehr einfachen Konzepten zu beginnen und diese langsam zu einem tiefen Verständnis der Funktionsweise digitaler Computer auszubauen. Auf dem Weg des Wissenserwerbs wollte ich möglichst wenig Metaphern, Analogien oder humoristische Abbildungen einsetzen, sondern ganz auf die Sprache und Symbole setzen, die auch von denjenigen genutzt werden, die Computer entwickeln und bauen. Dazu hatte ich mir einen weiteren Kniff ausgedacht: Ich würde universelle Prinzipien anhand alter Technologien demonstrieren und dabei davon ausgehen, dass diese alten Technologien einen Fixpunkt darstellten. Das ist in etwa so, als würde man ein Buch über Verbrennungsmotoren schreiben und dafür das Model T von Ford heranziehen.

Ich halte diesen Ansatz nach wie vor für gelungen. Lediglich bei einigen Details habe ich mich getäuscht. Mit den Jahren sah man dem Inhalt das Alter des Buchs an. Einige meiner kulturellen Verweise passten einfach nicht mehr. Statt Tastaturen und Mäusen nutzen wir heute verstärkt Smartphones und Finger. Das Internet im Jahr 1999 unterschied sich grundlegend von seiner modernen Variante. Unicode, die Textcodierung zur einheitlichen Darstellung aller Sprachen der Welt sowie aller Emojis, war mir in der ersten Auflage keine ganze Seite wert. JavaScript, also die Programmiersprache, die heute das gesamte Internet durchdringt, wurde darin gar nicht erwähnt.

Diese Unzulänglichkeiten hätte ich mit geringem Aufwand beheben können. Aber es gab noch eine andere Sache an der ersten Auflage, die mich störte. Ich wollte die Funktionsweise einer echten CPU zeigen. Diese zentrale Recheneinheit bildet schließlich Hirn, Herz und Seele eines Computers. Doch das war mir in der ersten Auflage nicht richtig gelungen. Es fehlte nicht viel, aber den entscheidenden Durchbruch hatte ich nicht geschafft. Von der Leserschaft gab es zwar keine Beschwerden, aber mir saß dieser Umstand wie ein Stachel im Fleisch.

Umso mehr freue ich mich, mit dieser Auflage Abhilfe zu schaffen. Das ist übrigens auch der Grund für die 70 zusätzlichen Seiten. Ja, es ist mehr zu lesen und zu bewältigen. Aber wenn Sie mich auf dieser längeren Reise begleiten, lernen Sie die Interna der CPU noch viel besser kennen. Ob es Ihnen mehr Spaß machen wird? Ich hoffe es. Sollten Sie dennoch einmal überwältigt sein, machen Sie eine Pause. Schnappen Sie ein wenig Luft. Kapitel 24 stellt eine Art Gipfelkreuz auf dieser Wissensreise dar. Wenn Sie es erreicht haben, können Sie stolz auf sich sein. Genießen Sie danach die restlichen Kapitel.

Die Website zum Buch

Auf der englischen Website zum Buch finden Sie die hier abgedruckten Schaltpläne, bei denen der Stromfluss zusätzlich rot gekennzeichnet ist. Außerdem können Sie die Funktionsweise auch interaktiv nachvollziehen:



CodeHiddenLanguage.com

Hin und wieder verweise ich im Text auf diese Website, an anderen Stellen weist ein Symbol wie das in der Randspalte darauf hin. Meist wird es neben Schaltplänen auftauchen. Wenn Sie möchten, können Sie auf der Website mehr über den jeweiligen Schaltkreis erfahren. (Die Webgrafiken wurden in JavaScript mit dem canvas-Element aus HTML5 realisiert.)

Sie können die Website *CodeHiddenLanguage.com* kostenfrei nutzen. Es gibt keine Paywall und keine Werbung – außer für dieses Buch. In einigen Beispielen werden Cookies gesetzt – sofern Sie zustimmen. Die Website nutzt keine Tracking-Technologien und tut nichts Böses.

Bei Bedarf veröffentliche ich dort Erläuterungen oder Korrekturen zum Buchinhalt.

Die Menschen hinter dem Buch

Obwohl nur mein Name auf dem Cover steht, gibt es noch viele weitere Personen, deren Beiträge dazu unverzichtbar waren.

Ich möchte besonders meiner Executive Editor Haze Humbert danken, die mich genau zum richtigen Zeitpunkt gefragt hat, ob ich bereit wäre, eine zweite Auflage zu schreiben. Ich begann im Januar 2021 damit. Geschickt hat sie mich durch die rauen Gewässer bis zur (verspäteten) Veröffentlichung und um die Klippen meiner Zweifel auf dem Weg dorthin gelotst.

Als Project Editor für die erste Auflage war Kathleen Atkins zuständig, die genau begriff, was ich erreichen wollte. Die Zusammenarbeit mit ihr war wundervoll. Meine Agentin damals war Claudette Moore, die den Nutzen eines solchen Buchs erkannte – und Microsoft Press davon überzeugte, es zu veröffentlichen.

Als technischer Redakteur der ersten Auflage war Jim Fuchs am Start. Ich erinnere mich genau, wie viele peinliche Fehler er erkannt und ausgemerzt hat. Für die zweite Auflage haben Mark Seemann und Larry O'Brien das Fachkorrekturat übernehmen und einige Patzer ausgebügelt. Die beiden haben diesen Seiten den letzten Schliff verpasst.

Dass ich noch immer nicht zwischen der Bedeutung von »compose« und »comprise« zu unterscheiden vermag, hat mir Scout Festa als Lektor gezeigt. Danke für die Korrektur solcher Fehler! Lektorinnen und Lektoren sind die unsichtbaren Geister, ohne die viele Bücher eine Anhäufung von Ungenauigkeiten und Sprachverirrungen wären.

Sollten Sie trotzdem einen Fehler entdecken: Ich wars!

Mein Dank geht auch an die Testleser der ersten Auflage: Sheryl Canter, Jan Eastlund, den verstorbenen Peter Goldeman, Lynn Magalska und Deirdre Sinnott (die einwilligte, meine Frau zu werden).

Die vielen Abbildungen in der ersten Auflage hat der verstorbene Joel Panchot erstellt. Er war verdientermaßen stolz auf seine Arbeit. Viele dieser Abbildungen werden auch in dieser Auflage verwendet. Alle Schaltpläne wurden allerdings neu erstellt, damit neue und alte Abbildungen zueinander passen. (Für die Nerds: Für die Abbildungen habe ich ein Programm in C# geschrieben, das auf Basis der SkiaSharp-Grafikbibliothek SVG-Dateien (Scalable Vector Graphics) erzeugt hat. Tracey Croom hat als Senior Content Producer dafür gesorgt, dass die SVG-Dateien ins EPS-Format (Encapsulated PostScript) umgewandelt wurden und somit in Adobe InDesign genutzt werden konnten.)

Widmung

Ich möchte dieses Buch den zwei wichtigsten Frauen in meinem Leben widmen:

Meiner Mutter, die alle Widrigkeiten überwunden hat, an denen andere zerbrochen wären. Sie hat meinem Leben eine Richtung gegeben, ohne mir dabei Zügel anzulegen. Während der Arbeit an diesem Buch haben wir gemeinsam ihren 95. (und zugleich auch ihren letzten) Geburtstag gefeiert.

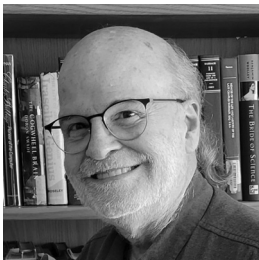
Meiner Frau, Deirdre Sinnott. Ich bin stolz auf das, was sie erreicht hat, und danke ihr für ihre unermüdliche Unterstützung und Liebe.

Ich danke den Lesern der ersten Auflage, deren Feedback mir ein großer Ansporn war und noch immer ist.

Charles Petzold

9. Mai 2022

Über den Autor



Von Charles Petzold stammt auch das Werk *The Annotated Turing: A Guided Tour through Alan Turing's Historic Paper on Computability and the Turing Machine* (Wiley, 2008). Er hat außerdem einige andere Bücher geschrieben, in denen es größtenteils um das Programmieren für Microsoft Windows geht. Sie alle sind längst überholt. Er lebt mit seiner Frau Deirdre Sinnott – einer Geschichtswissenschaftlerin und Romanautorin – und den beiden Katzen Honey und Heidi in New York City. Seine Website ist hier zu finden: www.charlespetzold.com.

Beste Freunde

Sie sind 10 Jahre alt. Auf der anderen Straßenseite wohnt Ihre beste Freundin. Ihre beiden Zimmer liegen einander gegenüber. Jeden Abend, nachdem die Eltern Sie wieder einmal viel zu früh ins Bett geschickt haben, gibt es noch so viele Ideen, Beobachtungen, Geheimnisse, Witze, Träume und Gerüchte, die Sie einander anvertrauen möchten. Wie das so ist unter guten Freunden. Es gehört zu den menschlichen Grundbedürfnissen, miteinander zu kommunizieren.

Was also tun? Sie schalten das Licht an und können einander mit Gesten und Körpersprache einfache Gedanken vermitteln. Doch was, wenn Gestikulieren nicht ausreicht? Was, wenn die Eltern mit einem endgültigen »Licht aus!« dafür sorgen, dass sie einander nicht mehr sehen können?

Gibt es eine Lösung? Glücklicherweise sind die Zehnjährigen, die über ein eigenes Smartphone verfügen und einander anrufen oder Nachrichten schicken können. Doch was, wenn die Eltern das Telefon am Abend einkassieren oder das WLAN über Nacht abschalten? Ohne elektronische Kommunikation wird das Schlafzimmer schnell zur einsamen Insel.

Wie gut, dass Sie und Ihre Freundin Taschenlampen besitzen! Wie jeder weiß, wurden Taschenlampen erfunden, damit Kinder heimlich unter der Bettdecke lesen können. Außerdem eignen sie sich perfekt, um in der Dunkelheit zu kommunizieren. Sie machen keine verdächtigen Geräusche, ihr Licht strahlt primär in eine Richtung, und es ist von misstrauischen Müttern und Vätern nicht zu sehen, wenn diese an der Tür vorbeigehen.

Aber wie bringt man das Licht zum Sprechen? Versuchen wir es! In der ersten Klasse haben Sie gelernt, Buchstaben zu schreiben und damit Wörter zu bilden. Lässt sich auch mit einer Taschenlampe schreiben? Auf ans Fenster! Schreiben Sie die Buchstaben mit dem Lichtkegel. Einschalten, einen Kreis in die Luft malen, ausschalten. Fertig ist das O. Ein I? Kein Problem, einfach einen senkrechten Strich zeichnen. Doch schnell kommt das Gespräch ins Stocken (wenn es überhaupt beginnt). Es ist schwierig, den Bewegungen des Lichts im Fenster gegenüber zu folgen. Außerdem müssen Sie all diese Kreise und Linien im Kopf zusammensetzen. So wird das nichts.

Da erinnern Sie sich an einen Film. In dem haben Matrosen auf hoher See Laternen benutzt und Blinksignale ausgetauscht. Und es gab noch einen Film, in dem ein Spion mit einem Spiegel Lichtreflexe in die Zelle gelenkt, in der sein Partner gefangen war. Ist das etwa die Lösung? Sie überlegen kurz und haben einen brillanten Einfall: Jeder Buchstabe wird durch eine bestimmte Anzahl an Blinksignalen dargestellt. Ein Signal für A, zwei für B, 3 für C usw. Ein Z sind 26 Signale. Für das Wort JA geben Sie also 10 Signale und dann ein Signal. Zwischen den Buchstaben legen Sie eine kurze Pause ein, damit Ihre Freundin die Lichtfolge aus 11 Blitzen nicht für ein K hält. Nach jedem Wort folgt eine längere Pause.

Das ist ein guter Anfang. Viel besser, als Kreise und Striche in die Luft zu malen. Einfach Taschenlampe an, Taschenlampe aus. Doof nur, dass schon eine kurze Frage (»Wie geht es dir«?) 132 Lichtsignale benötigt. Außerdem fehlen alle Satzzeichen. Wie viele Signale sind ein Fragezeichen?

Der Ansatz ist gut, aber es gibt Verbesserungsbedarf. Vielleicht hat ja schon jemand anders eine tolle Idee gehabt, um das Problem zu lösen? Einen Besuch in der Bücherei oder eine Internetsuche später sind Sie schlauer: Es gibt eine großartige Erfindung namens Morse-Zeichen. Genau so etwas haben Sie gesucht! Allerdings müssen Sie die Buchstaben neu lernen.

In Ihrem eigenen System wurde jeder Buchstabe durch eine bestimmte Anzahl von Blinkzeichen dargestellt. Ein Signal für A, 26 Signale für Z. Im Morse-Code gibt es zwei verschiedene Signale, nämlich ein kurzes und ein langes Leuchtzeichen. Das macht den Morse-Code einerseits komplizierter, aber auch sehr viel effizienter. Statt für »Wie geht es dir«? 132-mal zu blinken, benötigen Sie nur noch 27 (kurze und lange) Signale. Und da ist das Fragezeichen schon enthalten!

Allerdings spricht niemand beim Morse-Code von langen und kurzen Leuchtzeichen. Stattdessen werden diese Signale als Punkte und Striche bezeichnet, manchmal auch als kurz und lang. So lassen sie sich auch viel einfacher niederschreiben. Im Morse-Code entspricht jedes Zeichen des Alphabets einer Abfolge von Punkten und Strichen. Ich habe sie in der folgenden Tabelle zusammengefasst.¹

A	•—	J	•— — —	S	• • •
B	— • • •	K	— • —	T	—
C	— • — •	L	• — • •	U	• • —
D	— • •	M	— —	V	• • • —
E	•	N	— •	W	• — —
F	• • — •	O	— — —	X	— • • —
G	— — •	P	• — — •	Y	— • — —
H	• • • •	Q	— — • —	Z	— — • •
I	• •	R	• — •		

Morse-Code und Computer haben nichts miteinander zu tun. Doch wer die verborgene Sprache und den Aufbau von Computerhardware und -software wirklich verstehen will, kommt nicht umhin, sich zuerst mit Codierungen und Codes zu befassen.

¹ Anmerkung des Übersetzers: Wir beschränken uns in diesem Buch auf die im Englischen üblichen Zeichen. Natürlich gibt es auch Morse-Zeichen für Umlaute oder das ß.

In diesem Buch bezeichnet das Wort »Code« im Normalfall ein System zur Informationsübermittlung zwischen Menschen, zwischen Menschen und Computern oder innerhalb von bzw. zwischen Computern.

Codes dienen zur Kommunikation. Einige Codes sind geheim, aber die Mehrheit ist es nicht. Das liegt daran, dass Codes die Grundlage der menschlichen Kommunikation darstellen.

Die Geräusche, die wir machen, um Worte zu formen, stellen einen Code dar. Jeder, der unsere Stimme hört und die Sprache, die wir sprechen, versteht, kann auch diesen Code entschlüsseln. Man nennt diesen Code »das gesprochene Wort« oder »Sprache«.

Gehörlose verwenden Gebärdensprache, bei der bestimmte Hand- und Armbewegungen einzelne Buchstaben, Wörter oder gar Konzepte ausdrücken. In Nordamerika sind zwei dieser Gebärdensprachen stark verbreitet: Die American Sign Language (ASL, amerikanische Gebärdensprache) wurde Anfang des 19. Jahrhunderts von der *American School for the Deaf* entwickelt, die *Langue des signes Québécoise* (LSQ) ist eine Variante der französischen Gebärdensprache.

Wenn Sie Worte auf Papier oder anderen Medien niederschreiben, handelt es sich ebenfalls um einen Code: »das geschriebene Wort« oder »Text«. Texte können von Hand geschrieben oder getippt, in Zeitungen, Zeitschriften und Büchern abgedruckt oder auf den unterschiedlichsten Geräten digital wiedergegeben werden. In vielen Sprachen gibt es eine enge Verbindung zwischen dem gesprochenen und dem geschriebenen Wort. Im Englischen entsprechen die Buchstaben und Buchstabengruppen größtenteils der Aussprache.

Für Blinde und Menschen mit Sehbehinderung gibt es die Braille-Schrift, in der erhabene Punktgruppen für einzelne Buchstaben, Morpheme oder ganze Wörter stehen. (In Kapitel 3 gehe ich näher auf die Braille-Schrift ein.)

Beim schnellen Transkribieren (Aufschreiben) des gesprochenen Worts in Textform ist die Stenografie (auch Kurzschrift genannt) hilfreich. Bei Gericht oder beim Untertiteln von Live-Übertragungen im Fernsehen verwenden Stenografen und Stenografinnen eine Stenografiermaschine, deren vereinfachte Tastatur spezielle Codes aufweist.

Wir benutzen eine Vielzahl unterschiedlicher Codes für die Kommunikation miteinander. Unter bestimmten Umständen sind einige davon geeigneter oder praktischer als andere. Ein Beispiel: Das gesprochene Wort lässt sich nicht auf Papier festhalten. Dafür nutzen Sie und ich das geschriebene Wort. Wenn Sie geräuschlos Informationen in der Dunkelheit austauschen möchten, geht das weder mit der Stimme noch mit einem Stück Papier. In diesem Fall hilft der Morse-Code weiter. Ein Code ist dann nützlich, wenn er einen Zweck erfüllt, für den es keinen anderen Code gibt.

In Verbindung mit Computern kommen verschiedene Codearten zum Einsatz, um Text, Zahlen, Töne, Musik, Bilder, Filme und sogar Anweisungen für den Computer selbst zu speichern und zu übermitteln. Computer und menschliche Codes vertragen sich nur in engen Grenzen. Das liegt daran, dass Computer den Menschen und seine Mimik, seine Augen, Ohren, Finger und die Mundbewegungen nicht exakt nachahmen können. Es ist schwierig, Computern das Sprechen beizubringen. Doch sie Sprachverständnis zu lehren, ist noch viel schwieriger.

Auf diesem Gebiet wurden bereits viele Fortschritte gemacht. Computer können heute unzählige Arten von Informationen erfassen, speichern, verändern und darstellen, die in der menschlichen Kommunikation verwendet werden. Dazu gehören visuelle Informationen (Texte und Bilder), aurale Informationen (gesprochene Wörter, Klänge und Musik)

sowie eine Kombination davon (Animationen und Filme). Für jede Informationsart wird ein eigener Code benötigt.

Auch die Tabelle mit den Morse-Zeichen ist ein Code. Sie zeigt, welche Abfolge von Punkten und Strichen einen bestimmten Buchstaben darstellt. Allerdings können Sie keine Punkte und Striche senden. Diese werden vielmehr durch die Leuchtsignale der Taschenlampe dargestellt.

Dazu schalten Sie die Lampe immer wieder ein und aus. Für einen Punkt schnell, für einen Strich lassen Sie die Lampe länger leuchten. Für ein A schalten Sie die Taschenlampe kurz ein und aus, dann etwas länger ein und aus. Anschließend machen Sie eine Pause, bevor das nächste Zeichen folgt. Traditionell leuchtet der Strich etwa dreimal so lang wie der Punkt. Ihr Gegenüber erkennt ein kurzes und ein langes Signal und weiß, dass es sich um ein A handelt.

Es ist wichtig, dass Sie zwischen den Punkten und Strichen eine Pause machen. Beim A sollte die Pause zwischen dem Punkt und dem Strich ungefähr der Länge des Punkts entsprechen. Die einzelnen Buchstaben eines Worts werden durch längere Pausen – die in etwa einem Strich entsprechen – markiert. Das hier ist der Morse-Code für das englische Wort »hello«. Die freien Bereiche sind die Pausen zwischen den Buchstaben:

• • • • • • • — — — • • • — — — • • — — — — —

Wörter werden durch eine etwa zwei Striche lange Pause getrennt. Hier ist der Code für »hi there«:

• • • • • • • — — — • • • • • • • — — — • •

Die genaue Dauer der Ein- und Ausschaltzeit ist nicht festgelegt. Als Basiseinheit dient der Punkt. Nach seiner »Länge« richten sich alle anderen Signale. Die Dauer des Punkts wiederum hängt davon ab, wie schnell die Taschenlampe ein- und ausgeschaltet werden kann und wie schnell der Sender morst (wie gut er oder sie die Zeichen kennt). Wenn Sie schnell sind, ist Ihr Strich vielleicht so lang wie mein Punkt. Das kann ein Problem darstellen, aber nach den ersten ein oder zwei Buchstaben erkennt die empfangende Person, was ein Punkt und was ein Strich ist.

Auf den ersten Blick sieht die Definition (also die Zuordnung der Abfolgen zu den Buchstaben) für den Morse-Code chaotisch aus, ähnlich wie die Anordnung der Buchstaben auf einer Tastatur. Doch dem ist nicht so. Häufig genutzten Buchstaben sind kürzere, einfachere Codes zugeordnet. Sehen Sie sich einmal das E oder T an. Wenn Sie Scrabble spielen oder *Glücksrad* schauen, erkennen Sie den Zusammenhang rasch. Seltener Buchstaben wie das Q oder Z (10 Punkte in der englischen Scrabble-Variante und nur selten im *Glücksrad* zu sehen) stehen neben längeren Codes.

Die meisten Menschen kennen zumindest ein paar Morse-Zeichen. Dreimal kurz, dreimal lang, dreimal kurz steht für SOS, das internationale Notrufzeichen. SOS steht übrigens nicht für einen bestimmten Text, sondern ist einfach eine leicht zu merkende Zeichenfolge. Im

Zweiten Weltkrieg hat die British Broadcasting Corporation vor einigen Rundfunksendungen den Anfang von Beethovens Fünfter Symphonie (BAH, BAH, BAH, BAHMMMMM) ausgestrahlt. Beethoven konnte nicht wissen, dass diese Tonfolge irgendwann einmal dem Buchstaben V im Morsealphabet entsprechen würde – V wie Victory.

Ein Nachteil von Morse-Code ist, dass er nicht zwischen Groß- und Kleinbuchstaben unterscheidet. Doch wenigstens gibt es darin Zeichen für Ziffern, die aus jeweils fünf Punkten und Strichen bestehen:

1	• — — — —
2	• • — — —
3	• • • — —
4	• • • • —
5	• • • • •
6	— • • • •
7	— — • • •
8	— — — • •
9	— — — — •
0	— — — — —

Diese Zifferncodes sind deutlich logischer aufgebaut als die Buchstabencodes. Die meisten Satzzeichen nutzen fünf, sechs oder sieben Punkte und Striche:

.	• — • — • —
,	— — • • — —
?	• • — — • •
:	— — — • • •
;	— • — — • —
-	— • • • • —
/	— • • — •
"	• — • • — •
'	• — — — — •
(— • — — •
)	— • — — — —
=	— • • • • —
+	• — • — •
\$	• • • — • • —
¶	• — • — • •
—	• • — — • —

Für die Umlaute und Buchstaben mit Akzent in europäischen Sprachen gibt es weitere Codes. Außerdem werden einige »Kurzschrittsignale« für besondere Zwecke verwendet. Das SOS gehört zu diesen Kurzschrittsignalen. Es wird durchgehend gesendet, wobei zwischen den drei Buchstaben jeweils nur eine Pause von der Länge eines Punkts gemacht wird.

Einige Taschenlampen erleichtern es erheblich, Morse-Zeichen zu senden. Neben dem Schieber oder Druckknopf zum Ein- und Ausschalten verfügen sie über einen zusätzlichen Taster, mit dem der Stromkreis zum Leuchtmittel kurz unterbrochen wird. Dann ist es mit etwas Übung möglich, fünf bis zehn Wörter pro Minute zu morsen. Das ist aber immer noch deutlich langsamer als das gesprochene Wort mit seinen 100 Wörtern pro Minute.

Irgendwann haben Sie und Ihre Freundin es endlich geschafft! Sie haben sich alle Zeichen gemerkt, können sie senden und entschlüsseln. Das klappt sogar, wenn sie im Beisein anderer ein Geheimnis austauschen möchten. Sagen Sie für jeden Punkt einfach *dih* (oder für den Punkt am Ende eines Worts *dit*) und für jeden Strich *dah*, also *dih-dih-dih-dah* für das V. Jetzt haben Sie nicht nur das geschriebene Wort in Punkte und Striche verwandelt, sondern auch das gesprochene Wort in zwei Laute.

Das Schlüsselwort hierbei ist *zwei*. Zwei Lichtsignale, zwei Laute, zwei von irgendetwas. Mit nur zwei Dingen können Sie durch Kombination alle möglichen Informationen übermitteln.

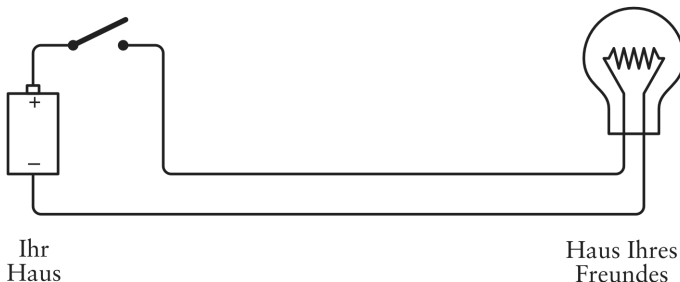
Um die Ecke kommunizieren

Sie sind 12 Jahre alt. Es ist ein schrecklicher Tag, denn die Familie Ihrer besten Freundin ist in eine andere Stadt gezogen. Natürlich schreiben Sie einander E-Mails oder SMS, aber das fühlt sich so ... gewöhnlich an. Die Aufregung und Spannung der nächtlichen Morse-Unterhaltungen mit der Taschenlampe fehlen. Zum Glück wohnt Ihr zweitbeste Freund gleich nebenan. Und es kommt, wie erwartet: Mit der Zeit wird der zweitbeste zum besten Freund. Natürlich bringen Sie ihm die Morse-Zeichen bei und möchten die nächtlichen Taschenlampenunterhaltungen wieder starten.

Es gibt allerdings ein Problem: Sein Zimmer geht zur Straße hinaus, genau wie das Ihre. Die Häuser stehen direkt nebeneinander. Für eine nächtliche Unterhaltung müssten Sie Spiegel vor den Häusern montieren – aber das würden die Eltern sofort merken.

Gibt es eine andere Möglichkeit?

Vielleicht haben Sie in der Schule schon das ein oder andere über Elektrizität gelernt und wissen, wie man eine Taschenlampe aus Batterien, Glühbirne, Schalter und Drähten bauen kann. Ihnen kommt eine geniale Idee: Batterien und Schalter bleiben in Ihrem Zimmer, aber die beiden Drähte führen Sie durchs Fenster nach draußen, über den Zaun und direkt in das Zimmer Ihres Freundes. Dort sind die Drähte mit der Glühbirne verbunden:



Ich vereinfache die Abbildungen der Schaltkreise hier und verwende elektronische Symbole. Obwohl nur eine Batterie zu sehen ist, können Sie natürlich auch zwei benutzen. Das folgende Symbol wird für einen ausgeschalteten (geöffneten) Schalter verwendet:



Und dieses Symbol steht für den eingeschalteten (geschlossenen) Schalter:

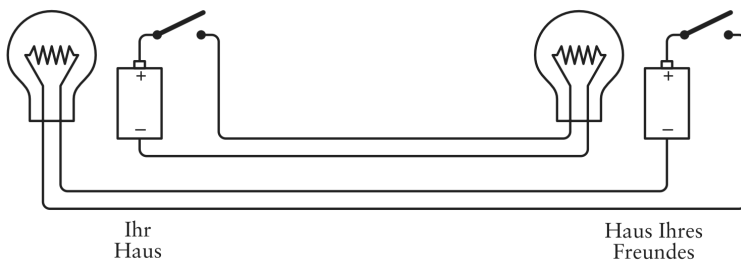


Diese Taschenlampe funktioniert genau wie die aus dem vorherigen Kapitel. Lediglich die Drähte sind länger. Wenn Sie jetzt den Schalter in Ihrem Zimmer schließen, leuchtet die Glühbirne im Haus Ihres Freunds auf:



Jetzt können Sie Nachrichten per Morse-Code übermitteln.

Was in die eine Richtung klappt, funktioniert auch in die andere: Sie bauen gemeinsam eine zweite Taschenlampe, damit Ihr Freund ebenfalls Nachrichten senden kann:



Glückwunsch! Sie haben soeben ein bidirektionales Telegrafensystem aufgebaut. Die beiden Schaltkreise sind identisch und voneinander völlig unabhängig. Theoretisch können Sie und Ihr Freund gleichzeitig eine Nachricht senden. Allerdings ist es nicht ganz einfach, gleichzeitig den Schalter zu betätigen und die Glühbirne im Auge zu behalten.

Mit ein wenig Nachdenken fällt Ihnen auf, dass Sie mit einem Draht weniger arbeiten können. Dazu müssen Sie die Schaltung nur etwas anders aufbauen:

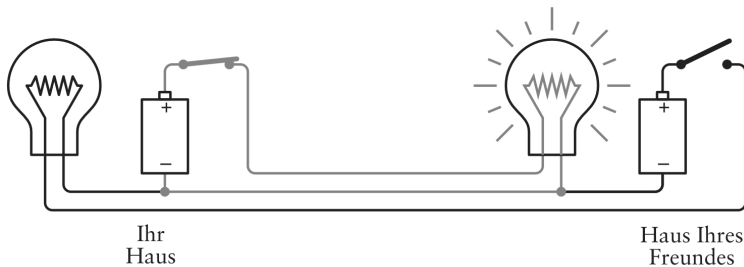


Miteinander verbundene Drähte werden ab jetzt durch einen kleinen Punkt an der Verbindungsstelle gekennzeichnet. In dieser Abbildung gibt es zwei von diesen Verbindungen, nämlich einmal unterhalb der Batterie in Ihrem Haus und einmal unterhalb der Glühlampe im Haus Ihres Freundes.

Damit sind die Minuspole der beiden Batterien miteinander verbunden. Die beiden Schalt- oder Stromkreise (Batterie zu Schalter zu Glühlampe zu Batterie) sind zwar verbunden, funktionieren aber nach wie vor unabhängig voneinander.

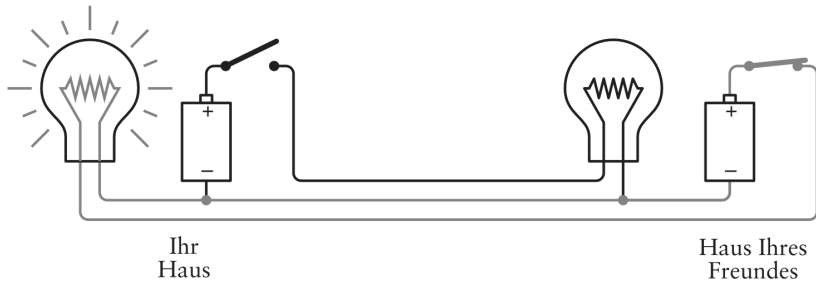
Eine solche Verbindung zwischen zwei Stromkreisen wird als *Basisschaltung* bezeichnet. In diesem Stromkreis erstreckt sich die gemeinsame Basis zwischen den beiden Verbindungspunkten der Drähte (Verbindung zwischen der linken Glühlampe und Batterie bis zur Verbindung der rechten Glühlampe und Batterie).

Kann das funktionieren? Am besten sehen Sie sich die Sache im Detail an: Wenn Sie den Schalter in Ihrem Zimmer schließen, leuchtet die Glühlampe im Haus Ihres Freundes. Der Strom fließt durch die grau dargestellten Drähte.

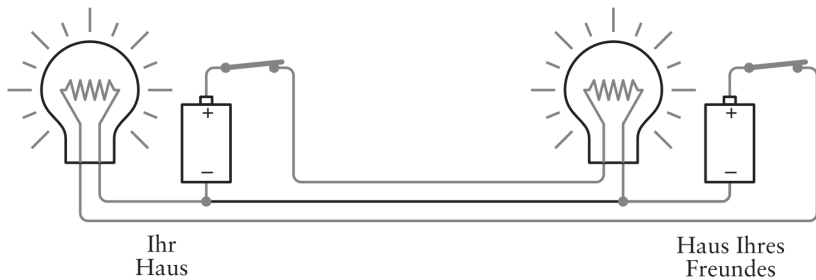


In den anderen Teilen des Stromkreises fließt kein Strom, da die Elektronen keinen vollen Kreis durchströmen können.

Wenn Sie gerade nicht senden, kann Ihr Freund über den Schalter in seinem Haus die Glühlampe in Ihrem Zimmer kontrollieren. Auch hier fließt der Strom durch die grau dargestellten Drähte:



Wenn Sie und Ihr Freund gleichzeitig eine Nachricht übermitteln, gibt es drei Möglichkeiten oder Zustände: Beide Schalter sind geöffnet, beide Schalter sind geschlossen oder ein Schalter ist geöffnet und der andere geschlossen. Sind beide Schalter geschlossen, fließt der Strom folgendermaßen durch den Stromkreis:



Wenn beide Glühlampen leuchten, fließt kein Strom durch den gemeinsamen Teil des Stromkreises.

Mit dieser Basisschaltung haben Sie also den Verdrahtungsaufwand zwischen den beiden Häusern von vier auf drei Drähte reduziert und so 25 % der Kosten für die Drähte gespart.

Je größer die Distanz zwischen Sender und Empfänger, desto mehr Geld lässt sich sparen. Könnte man vielleicht sogar auf einen weiteren Draht verzichten? Im Prinzip schon, aber nicht mit den 1,5-Volt-Batterien vom Typ D und den kleinen Glühlampen, die Sie bisher verwendet haben. Größere Glühlampen und Batterien mit 100 Volt machen es jedoch möglich.

Und das funktioniert so: Die gemeinsame Basis in Ihrem Stromkreis muss kein Draht sein. Sie können stattdessen eine andere Sache verwenden, z.B. eine riesige Kugel mit einem Durchmesser von ca. 12.742 km, die aus Metall, Gestein, Wasser und (größtenteils totem) organischem Material besteht. Diese riesige Kugel ist die Erde.

Ich höre schon Ihren Einwand: Silber, Kupfer und Gold standen in meiner Aufzählung guter Leiter, aber weder Kies noch Boden. Tatsächlich ist die Erde kein guter Leiter, obschon einige Bodenarten (z.B. feuchter Mutterboden) besser sind als andere (z.B. trockener Sand). Hier kommt die andere Eigenschaft von Leitern ins Spiel: je größer, desto besser. Ein Draht mit großem Durchmesser leitet besser als einer mit geringem Durchmesser. Und groß ist die Erde. Sehr, sehr groß.

Wenn Sie die Erde als Leiter nutzen möchten, reicht es allerdings nicht aus, einen kurzen Draht neben dem Tomatenbeet in den Boden zu stecken. Sie benötigen einen Gegenstand, der eine große Kontaktfläche bietet. Das kann z.B. ein Kupferstab von mindestens 2,5 m Länge und etwa 1,5 cm Durchmesser sein. Das entspricht einer Kontaktfläche von etwa 1.000 cm². Sie rammen diesen Stab mit einem Vorschlaghammer in den Boden und schließen dann einen Draht daran an. Falls die Frischwasserleitungen in Ihrem Haus aus Kupfer bestehen und durch den Erdboden außerhalb des Gebäudes führen, können Sie auch einen Draht an eine Leitung anschließen.

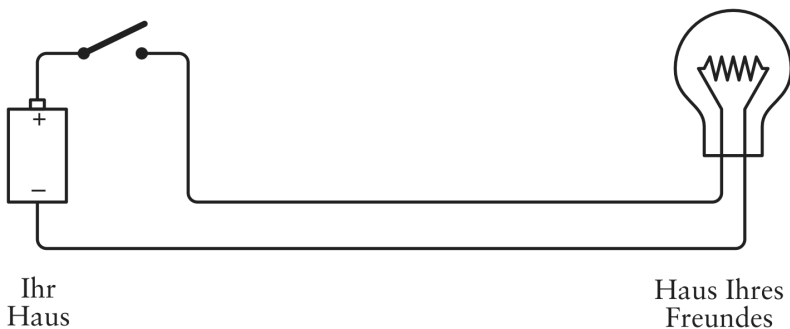
Ein elektrischer Kontakt mit der Erde wird als *Erdungsanschluss* (kurz: Erde oder Erdung) oder *Masseanschluss* (kurz: Masse) bezeichnet. In englischen Texten wird das Wort *ground* (Masse, Erde) häufig auch für die *Basisschaltung* verwendet: *common ground*. Für Leser und Leserinnen der deutschen Übersetzung dieses Buchs besteht hier zum Glück keine Verwechselungsgefahr.

In Stromkreisen gibt es ein eigenes Symbol für die Erdung:



Elektriker nutzen es, um nicht jedes Mal einen 2,5 m langen Kupferstab zeichnen zu müssen. Ein Stromkreis mit einer solchen Verbindung wird als »geerdet« bezeichnet.

Wie funktioniert das Ganze? Sehen Sie sich noch einmal die Abbildung vom Anfang des Kapitels an:



Wenn Sie die Erde als Leiter verwenden, benötigen Sie mit den passenden Batterien und Glühlampen nur noch einen Draht zwischen den beiden Häusern:



Wenn Sie jetzt den Schalter schließen, fließt der Strom:



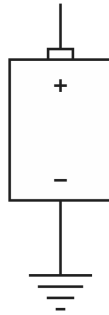
Die Elektronen fließen aus der Erde im Haus Ihres Freundes durch die Glühlampe und den Draht, durch den Schalter in Ihrem Haus und dann in den Pluspol der Batterie. Die Elektronen vom Minuspol fließen zurück in die Erde.

Sehen Sie, wie die kleinen Dinger von dem 2,5 m langen Kupferstab in Ihrem Garten durch die Erde zum Kupferstab im Garten Ihres Freundes huschen? Moment mal! Der Planet Erde dient doch für Tausende von Stromkreisen als Erdungsanschluss. Woher wissen denn die Elektronen, wohin sie fließen müssen? Die Antwort lautet: Sie wissen es nicht.

Statt sich die Erde als gewaltigen Leiter vorzustellen, wäre es besser, sie als großes Reservoir zu betrachten, das Elektronen abgibt und aufnimmt. *Die Erde ist für Elektronen das, was der Ozean für Wassertropfen ist.* Sie ist eine praktisch unbegrenzte Elektronenquelle und gleichzeitig ein riesiger Ozean aus Elektronen.

Allerdings weist die Erde auch einen gewissen Widerstand auf. Darum können Sie die Erde nicht als Erdung nutzen, wenn Sie mit Taschenlampenglühlampen und 1,5-Volt-Batterien arbeiten. Für diese Batterien mit niedriger Spannung ist der Widerstand der Erde zu hoch.

In den letzten beiden Abbildungen habe ich eine Batterie gezeichnet, deren Minuspol mit der Erdung verbunden ist.



Ab jetzt verzichte ich darauf. Stattdessen verwende ich den Großbuchstaben V als Einheitenzeichen für die *Spannung*. Ein Draht, der am großen V (Volt) beginnt, entspricht also einem Draht, der am Pluspol einer Batterie beginnt, deren Minuspol mit der Erdung verbunden ist. Damit sieht der Telegraf mit einer Glühbirne nun so aus:

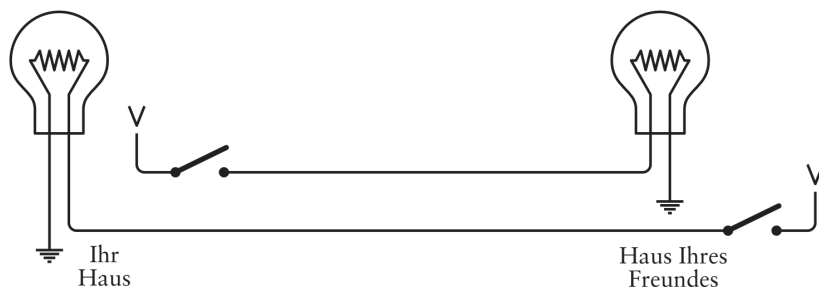


Das V steht für *Spannung*, könnte aber in gewisser Weise auch *Vakuum* bedeuten. Sie können sich das V als Elektronensauger vorstellen und die Erdung als Elektronenmeer. Mit einem Sauger lässt sich ein Vakuum erzeugen. Dieser Elektronensauger saugt die Elektronen aus der Erde durch den Stromkreis, wo sie eine Arbeit verrichten (z.B. eine Glühbirne zum Leuchten bringen).

Die Erdung wird manchmal auch als Punkt mit *Potenzial null* bezeichnet. Dies bedeutet, dass keine Spannung vorliegt. Sie haben bereits gelesen, dass die Spannung das Potenzial, Arbeit zu verrichten, angibt – ähnlich einem in der Luft schwebenden Ziegelstein, der eine potenzielle Energiequelle darstellt. Das Potenzial null (oder die Nullspannung) entspricht einem Ziegelstein, der auf dem Boden liegt: Er kann nicht hinabfallen.

In Kapitel 4 habe ich gezeigt, dass ein Stromkreis ein Kreis ist. Doch der neue Stromkreis sieht gar nicht aus wie ein Kreis! Zum Glück trügt der Schein. Sie können das V durch eine Batterie mit einem geerdeten Minuspol ersetzen und dann einen Draht zeichnen, der die einzelnen Erdungssymbole miteinander verbindet. Dann sieht die Abbildung wieder aus wie zu Beginn des Kapitels.

Mit ein paar Kupferstäben (oder Frischwasserleitungen) können Sie also ein Zweiwegesystem zur Übermittlung von Morse-Zeichen aus nur zwei Drähten bauen, die zwischen den beiden Häusern gespannt sind:



Dieser Stromkreis besitzt dieselbe Funktion wie der auf Seite 42 bis Seite 44, in dem drei Drähte verwendet wurden. Allerdings funktioniert er nur mit Hochspannungsbatterien und entsprechenden Glühlampen.

In diesem Kapitel haben Sie einen großen Schritt bei der Entwicklung der Kommunikationstechnik gemacht. Bisher konnten Sie nur auf Sicht mit Morse-Zeichen kommunizieren (und natürlich nur so weit, wie der Strahl der Taschenlampe zu erkennen war).

Mithilfe von Drähten haben Sie ein System aufgebaut, dass die Kommunikation um die Ecke herum ermöglicht – und zwar über beliebige Distanzen. Wenn die Drähte lang genug sind, können Sie über Hunderte oder gar Tausende von Kilometern kommunizieren.

Wirklich? Kupfer ist zwar ein guter Leiter, aber nicht perfekt. Je länger die Drähte, desto höher der Widerstand. Je höher der Widerstand, desto weniger Strom fließt. Je weniger Strom fließt, desto schwächer leuchten die Glühlampen.

Wie lang dürfen die Drähte also maximal sein? Das ist von mehreren Faktoren abhängig. Betrachten Sie den ursprünglichen Zwei-Wege-Aufbau mit vier Drähten ohne Erdung und Basisschaltung, bei dem Sie Taschenlampenbatterien und kleine Glühlampen genutzt haben. Damit es nicht zu teuer wird, haben Sie eine 30-m-Rolle Lautsprecherkabel gekauft, das für hochwertige Lautsprecher und Verstärker verwendet wird. Lautsprecherkabel enthalten zwei isolierte Drähte in einem Mantel. Damit eignen sie sich hervorragend für den Selbstbautelegraphen. Wenn Ihr Zimmer und das des Freundes weniger als 15 m voneinander entfernt sind, reicht diese eine Rolle aus.

Die Stärke oder Dicke eines Drahts oder Leiters wird als Querschnitt angegeben. Je größer der Querschnitt, desto dicker der Draht und desto geringer sein Widerstand. Ein Lautsprecherkabel mit einem Querschnitt von $0,75 \text{ mm}^2$ pro Leiter entspricht einem Durchmesser von ungefähr 1 mm. Bei einem Widerstand von gut 7 Ohm pro 300 m ergibt sich für die 30 m von Zimmer zu Zimmer und zurück ein Widerstand von weniger als einem Ohm.

Das klingt gut. Doch bei einer Leitungslänge von 4 km sind das bereits 100 Ohm. Die Glühlampe aus dem letzten Kapitel hatte nur 4 Ohm. Aus dem ohmschen Gesetz lässt sich berechnen, dass der Strom nicht mehr 0,75 Ampere (3 Volt dividiert durch 4 Ohm) beträgt, sondern nur noch 0,03 Ampere (3 Volt geteilt durch 100 Ohm). Dieser Strom wird mit an

Sicherheit grenzender Wahrscheinlichkeit nicht ausreichen, um die Glühbirne zum Leuchten zu bringen.

Ein Kabel mit einem höheren Querschnitt kann Abhilfe schaffen, aber das kostet sehr viel Geld. Wenn Sie z.B. ein Kabel mit 6 mm^2 Querschnitt verwenden, sinkt der Widerstand auf etwa ein Ohm pro 300 m oder 3 Ohm für 1 km.

Sie könnten auch die Spannung erhöhen und Glühbirnen mit sehr viel höherem Widerstand einsetzen, die in normalen Lampenfassungen zum Einsatz kommen. Dann wirkt sich der Leiterwiderstand deutlich weniger auf den Stromkreis aus.

Vor genau diesem Problem standen auch die Menschen, die Mitte des 19. Jahrhunderts die ersten Telegrafleitungen durch Amerika und Europa aufbauten. Ungeachtet des Drahtquerschnitts und der Spannung ist jede Telegrafleitung in der Länge begrenzt. Nach einigen Hundert Kilometern ist Schluss. Damit lassen sich so gewaltige Entfernungen wie die von New York nach Kalifornien nicht überbrücken.

Die Lösung – wenn auch nur für die klackernden Telegrafen und nicht für blinkende Taschenlampen – ist eine ganz einfache Vorrichtung, auf deren Grundlage sogar komplette Computer konstruiert werden können.

Stichwortverzeichnis

- 0 (null) und 1 (eins)
 - Bedeutung 104
 - boolesche Algebra 54
 - für »Nein« und »Ja« 57, 127
 - UND-Gatter 84
- 6800 (Mikroprozessor) 319, 423, 430
- 8080 (Mikroprozessor)
 - siehe auch Intel 8080
- 8-Bit-Addierwerk 188, 212, 220, 310
- 8-Punkt-Braille 30
- A**
- Addierwerk
 - ALU 324
 - automatisiert 297
 - Logikgatter 177
 - Relaiscomputer 191
 - Subtraktion 212, 220
 - summierend 297, 300
 - taktflankengesteuert, 8-Bit 297
- Additionstabelle 106, 114, 121
- Adressbus 349, 351, 357
- Aiken, Howard 191, 432
- Akkumulator 298, 339, 346, 348, 382
- Al-Chwarizmi, Muhammad ibn Musa 104
- Algebra, boolesche 52, 100, 328, 441
- Algebra, herkömmliche 53
- ALGOL 433
- Algorithmus 104, 440
- Allen, Paul 433
- Altair 8800 319, 324
- Altair 8800 296
- Alto 422
- ALU (arithmetisch-logische Einheit)
 - Akkumulator 339
 - Bewegungen von Bytes 339
 - bitweise UND-Operation 332
 - Eingänge 336, 359
 - Flags 337
 - Funktion 324, 357
 - Funktionsbits 334
- Ampere 37
- Ampère, André-Marie 37
- Analog 192, 409
- Analytical Engine 193
- Android 424
- Anode 34
- ANSI-Zeichensatz 168
- Anweisung 429, 430, 431, 433, 437
 - siehe auch Instruktion
- API (Programmierschnittstelle) 419, 423
- App 419
- Apple 423, 424
- Apple II 319, 421
- Apple DOS 423
- Arbeitsspeicher
 - siehe auch RAM-Array
- Argument 397
- Aristoteles 51
- Arithmetic Language 432
- ASCII (American Standard Code for Information Interchange)
 - ALU 329
 - Erweiterungen 167
 - Speicher 166
 - Tastaturcodes 408
 - Umwandeln von Zahlen in 416
 - Zeichen 160
- ASL (American Sign Language) 13
- ASM-Programm 429
- Assemblersprache 427, 431
- Assoziative Indizierung 451
- Assoziativgesetz 53
- Asynchronzähler 248
- AT&T 424, 453
- Atanasoff, John V. 196
- Atkins, Kathleen 8
- Atom 33
- Auflösung 405
- Ausführbare Datei 429, 431
- Ausführen von Instruktionen 361, 373
- Ausführungsgeschwindigkeit 204, 377, 421
- Ausgabe
 - Addierwerk 179
- Ausgabegerät 77

Ausgang

- Frequenzteiler 246
- Inverter 226
- NAND-Gatter 96, 181
- NOR-Gatter 94
- ODER-Gatter 87, 182
- Pufferrelais 98
- Relais 80
- RS-Flipflop 231
- Telegraf 73
- UND-Gatter 83
- Ausgangsauffächerung 98
- Automatisiertes summierendes Addierwerk 303, 305, 310

B

- Babbage, Charles 121, 192
- Barbier, Charles 24
- Barcode
 - siehe Strichcode
- Bardeen, John 197
- BASIC 433
- Basisschaltung 43
- Basis zehn
 - Zahlensystem 102, 107, 109
- Batterie 34, 43
- Baudot-Code 158
- BDOS (Basic Disk Operating System) 419
- Bedienfeld
 - binäres Addierwerk 179, 186, 212
 - RAM 294, 298
 - Software installieren 415
 - Verdrahtung 77, 90
- Bedingter Sprung 382, 387, 388
- Bedingungsloser Sprung 382
- Befehlsabruf 362, 372
- Befehlscode 309, 311, 313, 317, 321, 324
 - siehe auch Opcode
- Befehlsprozessor 416
- Bell Labs 191, 424
- Berners-Lee, Tim 455
- Betätigen, Relais 77
- Betriebssystem 414, 418
- Big-Endian-Reihenfolge 171, 307, 319
- Bildschirm 405, 409, 421
- Binär 21
- Binärcodierte Dezimalziffer (BCD) 254, 262, 336
- Binärer Code
 - Braille-Schrift 25, 30, 157
 - elektrische Schalter und 39
 - Morse-Code 16, 21, 157
 - Telegraf 71

- Umschalt- und Escape-Codes 30
- Zweierpotenzen 113

Binäre Zahl

- Addition/Multiplikation 121, 392
- Bits als Stellen/Ziffern 126, 128
- dezimale Gegenstücke 122
- dezimales Gegenstück 443
- digitale Revolution 121
- oktale Gegenstücke 124

Binärsystem

- Beschreibung 116

Binärzahl

- Addierwerk 177
- Elektrizität 124
- Hexadezimalsystem 150
- Möglichkeiten vermitteln 129
- Zählen 248
- Zweierkomplement 218

Binärzahlen

- Subtrahieren 209

BIOS (Basic Input/Output System) 419

Bit

- grundlegende Bausteine 128
- Herkunft des Begriffs 126
- Möglichkeiten mit 130
- QR-Code 139
- Speicher 294
- Summe und Übertrag 178
- UPC-Strichcode 135
- verborgene Botschaften 133
- Vielfache 147

Bitmap 410

Bitweise ODER-Operation 330

Bitweise UND-Operation 332, 392

Blindenschrift 24

Blitz 34

Block 433

BOM (Byte Order Mark) 171

Boole, George 51, 59, 66

Boolescher Test 57

Bootstrap-Loader 419

Braille

- Beschreibung des Codes 24
- Erfindung der Blindenschrift 24
- Grade 2 27
- Kommunikation mittels 13, 157
- Zeichen 25

Braille, Louis 23

Brattain, Walter 197

Burks, Arthur W. 197

Bus 349, 350, 357

Bush, Vannevar 192, 450, 452, 458

Byron, Augusta Ada 194, 379, 434

Byte

- ASCII-Zeichen 166
- Bewegungen in der CPU 339
- Hexadezimalsystem 147
- Speicheraufbau 279

Bytes

- Bewegungen in der CPU 345

C

- C (Programmiersprache) 434
- CALL (Instruktion) 396, 427
- Carroll, Lewis 51
- CD (Compact-Disc) 411
- Chip 201, 318
- Clear-Eingang 249, 256, 305
- Client 454
- Cloud 458
- CMOS-Chip 203
- COBOL 432
- Code
 - ASCII 160
 - Baudot-Code 158
 - Braille 24
 - Computer 13
 - Fehler im 27
 - Kommunikation mithilfe von 11
 - Morse-Code 17
 - Programmieren 427
 - QR-Code 139
 - siehe auch Befehlscode, Opcode
 - Sprache 101
 - Tastatur 408
 - UPC-Strichcode 135
 - Vorrang- oder Umschaltcodes 30
- CodeHiddenLanguage.com 139, 456
- Codepage 169
- Codieren
 - Fehler 27
- Coding
 - siehe Programmieren
- Compiler 431
- Complex Number Computer 191
- Computer
 - Addierwerk 177
 - auf Dezimalbasis 121
 - Bestandteile 321
 - Chips 201
 - Definition 317
 - Elektrizität im 31
 - Geschichte 191
 - Mikroprozessoren 318
 - Sprache 13
 - Transistoren 201

Computer, elektromechanischer 192

Computer-Braille 30

CP/M (Control Program for Microcomputer) 418, 423, 428

CPU (Central Processing Unit)

- Bestandteile 324, 357
- Bewegungen von Bytes 350
- Funktion 321, 403
- Geschwindigkeit 322
- Maschinentakte 364
- Programm 324
- Steuersignale 357

D

- Daguerreotypie 68
- Datei 418, 429
- Dateiname 165, 418
- Dateisystem 418
- Daten
 - Bytes nach Code 342
 - Kommunikation über große Entfernungen 452
 - Speicher für Code und 321, 324
 - taktpegelgesteuertes Flipflop 237
- Datenausgang 281, 300, 305
- Datenbus 349, 357
- Dateneingang 232, 246, 249, 278, 284, 296
- Datenspeicher
 - siehe auch Speicher
- Datenträger 412, 419
- DBCS (Double Byte Character Set) 169
- De Morgan, Augustus 100
- Debugging 435, 442
- Decoder/Decodieren
 - 2-zu-4 311
 - 3-zu-5 274
 - 3-zu-8 126, 281, 347
 - 4-zu-16 286, 291
 - BCD 264
 - Fehler 27
 - Unicode 172
- Dekadenzähler 257
- Dekrement 352, 357, 371, 391
- De Morgan, Augustus 194
- De-morgansches Gesetz 100
- Dezimalsystem
 - BCD (binärcodierte Dezimalziffern) 254
 - Binärzahlen umrechnen 119, 443
 - Computer auf Basis des 121
 - Eingängigkeit 109
 - Hexadezimalsystem und 150
 - schriftliche Multiplikation 392
 - Subtrahieren 209

- Umrechnung vom/ins Oktalsystem 112
 - Zählen 102
 - Differential Analyzer 192
 - Differenzmaschine 193
 - Digitalisierung
 - Analog/Digital-Wandlung 410
 - Daten als Bytes 148
 - Ton 411
 - Uhrzeit 253
 - Digitalkamera 410
 - Diode 269, 272
 - Diodenmatrix 272
 - Distributivgesetz 53
 - Dodgson, Charles 51
 - Draht
 - Addierwerk 178
 - Flipflop 228
 - Internet 453
 - Relais auslösen 79
 - Schalter 33
 - um die Ecke kommunizieren 48
 - Vakuumröhre 195
 - Verbindung 32
 - Widerstand und Durchmesser 36
 - Widerstand und Länge 48, 71
 - DRAM (dynamischer RAM) 294
 - Dummer, Geoffrey 201
 - Durchschnitt von Klassen 54
- E**
- EAN
 - siehe UPC (Universal Product Code)
 - EBCDIC (Extended BCD Interchange Code) 165
 - Ebert, Robert 130
 - Eccles, William Henry 231
 - Edison, Thomas 31, 411
 - EDVAC (Electronic Discrete Variable Automatic Computer) 196
 - Einerkomplement 210, 214, 314
 - Eingabe
 - Addierwerk 179
 - Eingabegerät 77
 - Eingang
 - Frequenzteiler 246
 - Inverter 226
 - Laufzeit 204
 - NAND-Gatter 96
 - NOR-Gatter 94
 - ODER-Gatter 87
 - Pufferrelais 98
 - Relais 80
 - RS-Flipflop 231
 - Telegraf 73
 - UND-Gatter 83, 98, 182
 - Ein- und Ausgabegerät (E/A) 321, 405
 - Elektrizität 31, 124, 223
 - Elektromagnetismus 68, 78, 224
 - Elektron 33, 46
 - Elektronenröhre
 - siehe Vakuumröhre
 - Emoji 171
 - Enable-Signal 289, 311
 - Encoder/Codieren 126, 157
 - Endlosschleife 240
 - Engelbart, Douglas 422
 - ENIAC (Electronic Numerical Integrator and Computer) 196
 - Entscheidungsproblem 387
 - Eratosthenes 440
 - Erde, Planet
 - als Erdungsanschluss 45
 - Erdung 45, 275
 - Erinnerung
 - menschliche 277
 - Escape-Code 30
 - Euro-Braille 30
 - Euro in Byte umrechnen 306
 - Exabyte 293
 - Exklusiv-ODER-Gatter 183
- F**
- Fan-out 98
 - Farbpixel 152, 405
 - Fehler 27, 171, 386
 - Fehlersuche
 - siehe Debugging
 - Fernschreiber 158
 - Festa, Scout 8
 - Festkörperelektronik 199, 413
 - Feynman, Richard 442
 - Flag 336
 - Fleming, John Ambrose 195
 - Flipflop
 - Aufbau 228
 - Speicher 277
 - Uhr 255
 - Forest, Lee de 195
 - Formal Logic (De Morgan) 100
 - FORTRAN 432
 - Frequenz (Oszillator) 228, 246, 249
 - Frequenzteiler 246, 303
 - Fuchs, Jim 8
 - Funktionstabelle 232

G

Ganze Zahl 221
 Gates, Bill 433
 Gerät
 Ausgabe 77
 Eingabe 77
 Geteiltes Wissen 449, 458
 Gezeitenrechenmaschine 192
 GIF (Graphics Interchange Format) 410
 Gigabyte 293
 Glasfaserkabel 454
 Gleitkommazahl 443
 Glühbirne 31, 39
 GNU 425
 Goldstine, Herman H. 197
 Google Books 459
 Grade 2 Braille 27
 Grafik 406, 410, 423
 Grafikkarte 405
 Grafikspeicher 421
 GUI (grafische Bedienoberfläche) 422

H

Halbaddierer 184
 Halbleiter 197
 Halt (CPU stoppen) 364, 370, 374
 Hardware
 Definition 317
 Zugriff 421
 Hardware, Computer
 Logikgatter und 75
 Telegraf 17
 Hardware (Computer)
 Verbindung zwischen Software und 358
 Harvard Mark I/II 121, 191, 432
 Hauptspeicher
 siehe RAM
 Häüy, Valentin 23
 Hertz 228
 Hertz, Heinrich Rudolph 228
 Hexadezimalsystem (Basis 16)
 Baudot-Code 158
 Beschreibung 149
 Umwandlung ASCII/Hex 160
 Unicode 170
 Wechsel von 8 Bit 171
 Hilbert, David 387
 Hindu-arabisches Zahlensystem 104
 Höhere Programmiersprache 395, 430
 Hopper, Grace Murray 432
 HTML (Hypertext Markup Language) 152,
 167, 388, 406, 435, 455, 458

HTTP (Hypertext Transfer Protocol) 456
 Humbert, Haze 8
 Hypertext 452, 455

I

I/O-Gerät
 siehe Ein- und Ausgabegeräte
 IBM 148, 165, 197, 319, 413, 421, 432
 IBM PC 420, 424
 IC (integrierte Schaltung)/Chip 201
 IEEE-Norm 443
 IMSLP (International Music Score Library
 Project) 459
 Indirekte Adressierung 341, 346
 Indizierung, assoziativ 451
 Initialisierung 383, 439
 Inkrement 255, 352, 357, 370, 372
 Integrierte Schaltung/Chip 201
 Intel 8080
 Befehlscode 324, 334
 Betriebssystem 418
 E/A-Ports 408
 Flags 336
 Mikroprozessor 318, 324
 Opcodes 339
 Register 339
 Texteditor 428
 Intel 8087 447
 Internet 452
 Interpreter 433
 Interrupt für Peripheriegeräte 408
 Interrupt-gesteuerte I/O 409
 Inversion 210
 Inverter
 Flipflop 277
 Schaltkreis 226
 Inverterrelais
 Definition 89
 Inverter-Signal 214
 IP-Adresse (Internet Protocol) 456
 ISO/IEC 8859 146
 Isolator 36
 Iteration 384

J

Jacquardwebstuhl 193
 JavaScript 435, 458
 Jobs, Steve 423
 Jordan, F. W. 231
 JPEG 411
 JSTOR 459

K

Kaltkathodenanzeige 263
 Kaskadieren 190
 Kathode 34
 Kelvin, Lord 192
 Kemeny, John 433
 Kilby, Jack 201
 Kildall, Gary 418
 Kilobyte 292
 Klasse, algebraische 53
 Knuth, Donald 442
 Kommentar 390
 Kommunikation
 digital über große Entfernungen 452
 mit Bits 132
 Rauschen in der 130
 Telegraf 68
 um Ecken 41, 48
 Kommutativgesetz 53
 Komplexe Zahl
 siehe Complex Number Computer
 Komprimieren 410, 412
 Kondensator 294
 Königliches Institut für junge Blinde 23
 Kurtz, Thomas 433
 Kurzschluss 38, 287

L

Label 386
 Ladung, elektrische 33
 Langue des signes Québécoise (LSQ) 13
 Latch 278, 311, 339, 347, 349, 359
 Laufzeit 204
 Laws of Thought (Boole) 66
 LED (Leuchtdiode) 39
 LED (lichtemittierende Diode) 269
 Leibniz, Gottfried Wilhelm von 51
 Leiter, elektrischer 36, 43
 Linux 425
 Little-Endian-Reihenfolge 171, 307, 319
 Logarithmus 132, 192
 Logarithmus zur Basis 2 132
 Logik
 ALU-Funktion 328, 336
 aristotelische 51
 mathematischer Beweis 52, 57
 mit Stromkreisen 64
 Satz vom Widerspruch 55
 Logikgatter
 Addieren 177
 ALU 337
 Geschwindigkeit 377
 Hardware und Software 317

Mathematik und Hardware als 75
 NAND-Gatter 96
 NOR-Gatter 94
 ODER-Gatter 85
 Regeln 91
 Siliziumchip 203
 technologischer Fortschritt 205
 Transistoren 199
 UND-Gatter 83
 vernetztes Relais 78, 81
 XOR-Gatter 183

Longfellow, Henry Wadsworth 128
 Lovelace, Ada 194, 379, 434

M

MAC-Adresse 455
 Macintosh 423
 MacOS 423
 Markierung
 siehe Flag
 Maschinencode 324, 415
 Maske 142
 Mathematik
 analytische Geometrie 407
 Gleitkommazahl 443
 Logikgatter und 75
 Logik und 52
 siehe auch boolesche Algebra
 Matrixanzeige 268
 Mauchly, John 196
 Maus 409, 422
 Megabyte 293
 Memex 451
 Memory Mapped I/O 408
 Menge, algebraische 53
 Microsoft 168, 420, 424, 433
 Mikrofon 411
 Mikroprozessor 318, 324, 415, 423
 siehe auch Intel 8080
 Mnemonik 342, 427, 429
 Modem 453
 Modul, QR-Code 140
 Modulation 453
 Möglichkeit, vermitteln 129
 Monitor 409, 421
 Moore, Claudette 8
 Moore, Gordon E. 202
 Mooresches Gesetz 202
 Morse, Samuel Finley Breese 17, 67
 Morse-Code
 binär 21
 Buchstaben und Ziffern im 12, 15, 17
 Decodieren 17

Kommunikation mittels 12, 157
 nicht definierte Codes 21
 Satzzeichen im 15
 scanbare Strichcodes 136
 Übermittlung mittels Telegraf 70
 Übersetzen 17
 um Ecken 41, 48
 Morse-Zeichen
 siehe Morse-Code
 MOS 6502 319
 Motorola 6800 423
 Motorola 6800 319, 430
 Move-Immediate-Instruktion 342, 370, 428
 Move-Instruktion 342, 345, 349
 MP3 412
 MS-DOS 420, 423, 424
 Multiplexing 268
 Multiplikation 328, 390
 Multiplikationstabelle 107, 114, 122
 Münzwurf 22
 Musik (digitalisierte Note) 459
 Muster, QR-Code 140

N

Nachkommastelle
 siehe Rationale Zahl
 NAND-Gatter 96, 181, 203, 257
 Ein- und Ausgänge 97
 Nanosekunde 204
 NASA Jet Propulsion Laboratory 134
 Negative Zahl 207, 216, 443
 Nelson, Ted 451, 452, 455
 Netz 75
 Netzwerk
 siehe Netz
 Netzwerkkarte 455
 Neunerkomplement 208
 Neutron 33
 Nibble 148, 168, 397, 398
 NICHT (Operator) 89, 94
 Nixie-Röhre 263, 266
 NOR-Gatter
 7402-Chip 204
 Ein- und Ausgänge 97
 Flipflop 228, 277
 Subtraktion 220
 Uhr 260, 266
 Verdrahtung 94
 Vielseitigkeit 99
 Normalisierte Darstellung 443
 Noyce, Robert 201, 204
 NPN-Transistor 198
 Nyquist, Harry 411

O

O'Brien, Larry 8
 ODER (Vereinigung von Klassen) 57
 ODER-Gatter
 auf Transistorbasis 200
 Ein- und Ausgänge 97, 126, 182, 249
 Siliziumchip 204
 Symbol 181
 Uhr 266
 Verdrahtung 85
 ODER-Operator 100, 329
 Ohm 37, 48
 Ohm, Georg Simon 37
 Ohmsches Gesetz 37, 48
 Oktalsystem (Basis 8) 110, 124, 147, 281
 Opcode 309, 324, 339
 siehe auch Steuersignal, Befehlscode
 Operand 53, 100
 Operationcode
 siehe Opcode
 Organon (Aristoteles) 51
 Oszillator 226, 244, 246, 249, 274, 303, 369

P

Paketvermittlung 452
 Panchot, Joel 9
 Parameter 397
 PARC (Palo Alto Research Center) 422
 Parität 137
 Partitur 459
 Pascal (Programmiersprache) 434
 Paterson, Tim 420
 PCM (Puls-Code-Modulation) 411
 Periode (Oszillator) 227, 255
 Peripheriegerät 321, 405
 Perseverance
 Mars-Rover, Fallschirm 133
 Petabyte 293
 Pixel
 Bildschirmausgabe 405, 422
 Farbe 152
 Komprimieren 410
 PNG (Portable Network Graphics) 410
 Pol, Batterie 34
 Port, E/A 408
 Potenzial 36, 37, 47
 Primzahl 440
 Programm, Computer 324, 388, 421, 427
 Programmieren 427, 429, 431
 Programmierer 421
 Programmiersprache 395, 427, 430, 434
 Programmmähler 351, 353, 359, 362
 PROM-Chip 417

Proton 33
 Prozessor
 siehe CPU
 Punktmatrix 268
 PUSH/POP (Instruktion) 401

Q

QDOS (Quick and Dirty Operating System)
 420
 QR-Code 139
 Quaternärsystem 115, 149
 Quellcode 429
 Quick Response
 siehe QR-Code

R

RAM 405
 RAM (Speicher) 283
 RAM-Array 284, 298, 350
 Rationale Zahl 106, 221, 443
 Rauschen 130
 Rechengeschwindigkeit 204, 377, 421
 Regel, mathematische 53
 Register 339, 357, 359
 Relais/Repeater
 Addierwerk 179, 186
 Computer 191, 195
 elektrisch betätigt 77
 in Reihe 81
 kaskadiertes 81
 Telegraf 71
 Umschalt- bzw. Wechselrelais 88
 Verdrahtung 78, 223
 Reset 369, 372, 415
 Restart (Instruktion) 408
 RET (Instruktion) 396
 Revere, Paul 128
 Ritchie, Dennis 424
 ROM (Nur-Lese-Speicher) 272, 274, 417
 Römisches Zahlzeichen 103
 ROM-Matrix 374, 375, 376, 389
 Rotate-Instruktion 395
 Rotationsbefehl
 siehe Rotate-Instruktion
 Router 455, 457
 Routine 396
 RS-Flipflop 231
 Rückkopplung 229
 Rücksetz-Setz-Flipflop 231

S

Satz vom Widerspruch 55
 Satzzeichen 15, 28

Schalter, elektrischer
 binäre Codes 39
 in Reihe 60, 75, 81
 parallel 62
 paralleler 75
 Schalter, elektronischer
 Symbole 41
 Schaltkreis
 Binär-Zähler 248
 Netze 75
 siehe Stromkreise
 Tri-State-Puffer 288
 Schaltung
 siehe auch Stromkreis, elektrischer
 Schleife 379, 381, 390, 438, 441
 Schlüsselwort 437
 Schreiben-Signal 278
 Schwingung 411
 Scratch-Pad-Speicher 395
 Seemann, Mark 8
 Sektor 413
 Selektor 295
 Sentinel 386
 Server 454, 458
 Shannon, Claude Elwood 78, 100
 Shockley, William 197
 Sieb des Eratosthenes 440
 Siebensegmentanzeige 265
 Signal, Steuer- 303, 357
 Signalverstärkung 77, 98, 197
 Silizium 198
 Siliziumchip 202
 Sinnott, Deirdre 8
 Siskel, Gene 130
 Smartphone 424
 Software
 Betriebssystem 414, 415
 Definition 317
 Kompatibilität 435
 Verbindung zwischen Hardware und
 358
 Spannung 36, 46
 Spannungssenke 275
 Speicher 277, 412
 Adresse 283, 290, 300, 341
 ASCII 166
 Betriebssystem 418
 Busse 358
 Code und Daten im 321, 324
 Diodenmatrix 272
 Flipflops 231, 277, 294
 flüchtiger 294, 405
 frühe Computer 197

Grafikanzeige 405
 Label 386
 LIFO 401
 Schreiben und Lesen 283
 Tonaufnahmen 412
 Unicode-Format 171
 Zugriff 351
 Speichergröße 292
 Speicherzelle 285
 Sprache
 Code als 13
 geschriebene 13, 23, 30, 148
 Programmiersprache 427, 434
 Zahlen als 101
 Sprungbefehl 380, 388, 428
 Stack 399
 Stapel
 siehe Stack
 Startroutinespeicher 419
 Statische Elektrizität 33
 Stellenwertsystem 104
 Steuersignal 303, 357
 Stibitz, George 191
 Strichcode, Produkt 135
 Strom 37, 275
 Stromkreis
 Batterien im 36
 binäre Zahlen und 39, 124
 CPU mit sieben Registern 347
 de-morgansche Gesetze 100
 Erdungs- bzw. Masseanschluss 45
 Hardware 317
 Inkrement und Dekrement 352
 Logik-Experiment 64
 ohne Kreis 47
 Oszillator 225
 Relais verdrahten 96
 Speicher 231
 Stromkreis, elektrischer
 Basisschaltung 43
 Beschreibung 32
 Stromsenke 275
 Stroustrup, Bjarne 434
 Strukturierte Programmierung 433
 Subroutine 396, 419
 Subtraktion 207, 308, 314, 324
 Summenbit 178, 181, 183
 Summer 223
 SVG (Scalable Vector Graphics) 9
 Swan, Joseph 31
 Syllogismus 51

T

Tablet 424
 Tag 436, 455
 Takeover, Schalter 294, 299
 Takt, Oszillator 227
 Takte 364
 Taktflankengesteuertes Flipflop 240, 255, 297
 Taktgeber 201, 227, 235, 240, 248, 303
 Taktpegelgesteuertes Flipflop 237, 240
 Taktsignal
 siehe Taktgeber
 Taschenlampe 11, 31
 Tastatur 408, 421
 Tastatur-Routine 416
 TCP/IP 456
 Telefonnetz 77
 Telefonvorwahl 132
 Telegraf
 bidirektionaler 42
 Computer und der 17
 Drahtlänge 48
 Erfindung 68
 Relais/Repeater 71
 Terabyte 293
 Text
 Editor 428
 Groß-/Kleinschreibung 329
 Speicher 407
 unformatierter Text 165
 Wortumbruch 165
 Zeichensatz 157
 The Mathematical Analysis of Logic (Boole)
 100
 Thompson, Ken 424
 Thomson, William 192
 Ton 411
 Torvalds, Linus 425
 Touchscreen 409
 Transistor 197, 275, 287
 Triple-Byte-Akkumulator 310, 317, 322
 Tri-State-Puffer 288, 300, 311, 315, 336, 349, 371
 TTL-Chip 203, 251
 TTL Data Book for Design Engineers (Buch)
 203, 251
 Tukey, John Wilder 126
 Turing, Alan 387
 Turing-mächtig
 siehe Turing-vollständiges Programm
 Turingmaschine 387
 Turing-vollständiges Programm 388

U

Überlauf 213, 218, 219, 402
 Übernehmen
 siehe Takeover (Schalter)
 Übertrag
 beim Subtrahieren 207
 Übertragbit 178, 183, 205
 Übertragungsfehler 27
 Uhr bauen 253
 UI (Bedienoberfläche) 420, 421
 Umkehrrelais
 Funktion 97
 ODER-Gatter plus 94
 Regeln 91
 UND-Gatter mit 3 Eingängen 98
 Umrechnung Geldbeträge in Byte 306
 Umschaltcode 30, 158
 UND (Durchschnitt von Klassen) 57
 UND-Gatter
 3 Eingänge 85, 98, 125
 auf Transistorbasis 199
 Ein- und Ausgänge 97, 180
 Flipflop 233, 256, 260, 277
 Siliziumchip 204
 Speicher 277, 281, 284, 286
 Subtraktion 220
 Symbol 83
 Uhr 265, 266
 UND-Operator 100, 331, 392
 Unformatierter Text in Dateien 165
 Unicode 170
 UNIVAC (Universal Automatic Computer)
 197
 UNIX 424
 Unterflow 402
 Unterlauf 402
 UPC (Universal Product Code) 135
 URL (Uniform Resource Locator) 456

V

Vail, Alfred 17
 Vakuumröhre 195, 199
 Verallgemeinerung 184
 Vereinigung von Klassen 54
 Vergleichsoperation 336
 Verkapselung 184
 Verschachtelte Schleife 379
 Verstärkung
 Signale 72, 98, 197
 VisiCalc 421
 Volladdierer 186

Volta, Graf Alessandro 36
 Von Neumann, John 196
 Vorzeichenbehaftete/vorzeichenlose Zahl
 220
 Vorzeichenbit 218
 Vorzeichenlose Zahl 220

W

Wagenrücklauf 164
 Wahr/Falsch (Wert) 441
 Wales, Jimmy 459
 Watt, James 39
 Webbrowser 457
 Webseite 456
 Wells, H. G. 449, 452, 458, 459
 Weltenhirn 459
 Welt-Enzyklopädie 449, 459
 Widerstand, elektrischer
 Drahtlänge 48, 71
 Erde als 46
 Isolatoren 36
 Ohm 39
 Wiederholung 379
 Wikipedia 459
 Windows 168, 424
 Wirth, Niklaus 434
 Wolfram 32
 Wort, Bit 147
 Wozniak, Steve 319
 Write-Signal 278
 WYSIWYG (What you see is what you get)
 423

X

Xerox 422
 XOR-Gatter 183, 214, 262

Z

Z1 191
 Zahl
 Gleitkommazahl 443
 siehe auch Binärsystem, Dezimalsystem usw.
 Zahl/Ziffer
 römisches Zahlzeichen 103
 Sprache der 101
 Zählen 102
 Zahlen
 Umrechnung Geldbeträge in Byte 306
 Zählen
 Binärzahlen 248
 Dekadenzähler 257

- dezimal 102
- Flipflop 231, 302
- frühe Systeme 103
- Zähler 248, 382
- Zehn 102, 104, 109
- Zehnerkomplement 217
- Zeichen
 - Codierung 157
 - druckbare und Steuerzeichen 163
 - EBCDIC 165
 - Morse-Code 12, 17
 - nicht lateinische Codierung 167
- Zeichensatz 157
- Zeichensatz-Kennnummer 143
- Zeichensatztabelle
 - siehe Codepage
- Zeilenvorschub 164
- Zeitanzeige 263
- Zeiteinstellung
 - Digitaluhr 261
- Ziffer
 - in Braille-Schrift 29
 - Morse-Code 15
- Zurücksetzen
 - siehe Reset
- Zuse, Konrad 191
- Zwei 21
- Zweierkomplement 218, 314
- Zyklus 379