
Entwicklung der

Informationstechnologie

oder wie kam der Mensch auf den Computer



MANNHEIM, 10. OKTOBER 2025

Prof. a.D. Dr. rer.nat. Armin Wiedemann
arminwiedemann109@gmail.com

Inhaltsverzeichnis

1 Historische Entwicklung	1
Intermezzo I: Rechnen mit Logarithmen	10
Intermezzo II: Erstellen einer Logarithmentafel	14
Intermezzo III: Das Buffonsche Nadelexperiment	23
2 Die moderne Entwicklung der EDV	47
2.1 Zeitalter der Rechner der 0. Generation	49
Intermezzo IV: Das Postsche Korrespondenzproblem	71
2.2 Zeitalter der Rechner der 1. Generation	74
2.3 Zeitalter der Rechner der 2. Generation	76
2.4 Zeitalter der Rechner der 3. Generation	91
Intermezzo V: Das IEEE	95
Intermezzo VI: TURING Award Preisträger	103
Intermezzo VII: RFC – Requests for Comments	112
3 Die Jahre 1971 bis heute	121
Intermezzo VIII: Das chinesische Zimmer	136
A Computergenerationen	185
B Zeittafel	187
C Akronyme	191
D Literaturhinweise	199
Literaturverzeichnis	201

Kapitel 1

Historische Entwicklung, oder wie kam der Mensch auf den Computer

Bevor wir uns mit Datenverarbeitung, Computern und den zugehörigen Peripheriegeräten befassen, ist es nützlich, zu erfahren, wie sich der Computer technologisch und die gesamte Informationstechnologie entwickelt hat. Das Ziel ist daher, einen Überblick über die historische Entwicklung des Computers zu erhalten. Eine ausführliche Darstellung dieser Aspekte findet man zum Beispiel in den sehr empfehlenswerten Büchern und Artikeln [372, 383, 244, 279, 200, 67, 168, 199, 191, 80, 206, 160, 202].

Die Erkenntnis, dass Rechenarbeit einer maschinellen Bearbeitung fähig ist, ist im Prinzip schon sehr alt.

ca. 5000 v. Chr.

Hilfsmittel zum Rechnen: Finger, Perlen und Steine oder gebrannte Lehmtonken (siehe Abbildung [1.1]). Diese in Lehm gebrannten Token — dies sind Rechensteine — dienten der Buchhaltung in frühen landwirtschaftlichen Kulturen (etwa 3300 v. Chr.). So stand ein bestimmter Rechenstein für ein Schaf, ein anderer für eine Maßeinheit für Honig, etc. Vier Schafe wurden dann durch vier entsprechende Rechensteine von der gleichen Art gezählt. Das heute verbreitete Dezimalsystem hat hier seinen Ursprung. Auch Schnüre mit Knoten — insbesondere auf dem südamerikanischen Kontinent — finden Verwendung. Eine umfassende Darstellung der Entwicklung der Zahlen — so wie wir sie heute kennen — findet man in [201]. Siehe auch die Monographie von VIKTOR KATZ [212], die Monographie [370] von BARTEL LEENDERT VAN DER WAERDEN oder den Artikel [147] von FRIBERG. Weiterhin werden die Schritte von Token bis zur abstrakten Zahl in Kapitel 2 von COCKSHOTT *et al.* [76] thematisiert.



Abbildung 1.1: Ton Artefakte, die Rechensteine für Buchhaltung darstellen, aus Susa, Iran, etwa 3300 v. Chr.

ca. 1000 v. Chr.

In China wird der **Abakus** erfunden.¹ Der Abakus besteht aus einer Holztafel mit mehreren Stäben. Auf diesen sind fünf Kugeln aufgereiht. Die Kugeln werden durch eine Querleiste in einen Bereich mit vier und einen zweiten Bereich mit einer Kugel aufgeteilt. Die Berechnungen (vier Grundrechenarten) ergeben sich

¹Das hier als 'Abakus' bezeichnete Rechengerät wurde im mittelalterlichen Europa nicht verwendet, sondern hat seinen Ursprung in China, wo man es *Xuanpan* nannte. Dieses Gerät wird daher präziser als *chinesischer Abakus* bezeichnet. Im mittelalterlichen Europa verstand man unter 'Abakus' ein Brett oder eine Tafel mit einer Reihe paralleler Linien, auf der der Benutzer Zähler — diese nannte man auch *jetons* — hin- und herschieben konnte, um Zahlen darzustellen. Dieses Rechengerät wurde bis in das 18. Jahrhundert in Europa verwendet [115].

durch Verschieben der Kugeln nach festen Rechenregeln. Der Abakus wurde erst etwa um 1000 n. Chr. im Abendland wiederentdeckt.

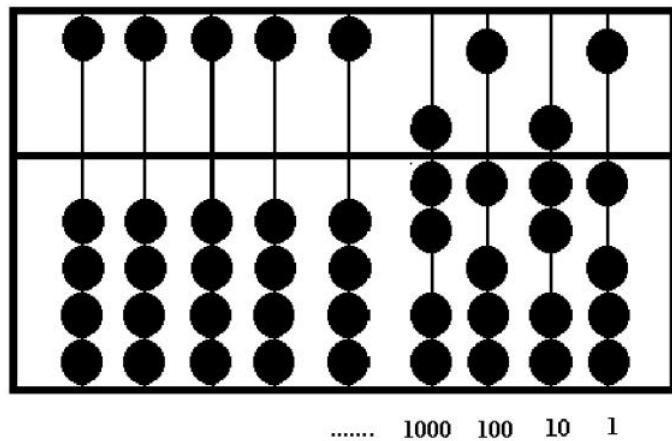


Abbildung 1.2: Darstellung von Zahlen mit dem Abakus.

Die Abbildung [1.2] zeigt schematisch, wie Zahlen auf dem Abakus dargestellt werden. Unterhalb der Querleiste befinden sich auf jeder Stange vier Kugeln, darüber eine. Die Stange ganz rechts zählt die Einser, die links davon die Zehner, dann werden Hunderter und schließlich Tausender dargestellt usw. Jede Kugel, die direkt an der Querleiste anliegt, zählt; in unserem Beispiel liegt an der rechten Stange also eine untere Kugel direkt an der Querleiste, was die Zahl 1 darstellt. Die Situation auf der zweiten Stange von rechts liegt etwas anders, hier berührt die obere Kugel die Querleiste und zwei der unteren. Die obere Kugel zählt 5, zu dieser müssen die beiden unteren noch hinzugaddiert werden, woraus sich die Ziffer 7 ergibt, die durch die Konstellation auf der zweiten Stange dargestellt wird. Nun zählt die Ziffer der zweiten Stange von rechts die Zehner, damit sind wir also schon bei 71. Damit ist auch klar, was die beiden anderen Stangen darstellen, womit wir letztendlich bei der Zahl 7 171 sind.

Eine Diskussion der Ausführung der Grundrechenarten² auf dem Abakus findet

²Eine sehr ausführliche Diskussion der Umsetzung der Rechenarten auf dem Abakus findet

man in [70].

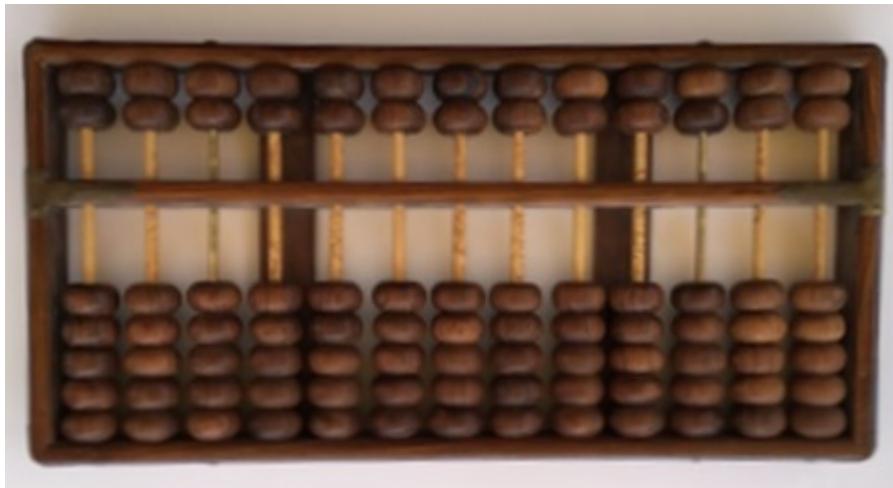


Abbildung 1.3: Ein Original Abakus.

ca. 300 v. Chr.

Die **Elemente** sind eine Abhandlung des griechischen Mathematikers EUKLID, in der die Arithmetik und Geometrie seiner Zeit zusammenfasst und systematisiert wird. Das bis heute überlieferte Werk zeigt erstmals musterhaft den Aufbau einer exakten Wissenschaft, da die meisten Aussagen aus einem begrenzten Vorrat von Definitionen, Postulaten und Axiomen hergeleitet und bewiesen werden. Das Werk **Elemente** umfasst insgesamt 13 Bücher, die eine Sammlung des Schaffens von **Euklid** darstellen [131]. Hier findet auch der *Euklidische Algorithmus* zum ersten Mal Erwähnung. Dies ist ein *systematisches Verfahren* zur Bestimmung des größten gemeinsamen Teilers zweier Zahlen.³ Der EUKLIDISCHE Algorithmus ist einer der ersten bekannten nicht-trivialen Algorithmen. [310]

Buch 1: Von den Definitionen bis zum Satz des Pythagoras (Pythagoreer)

Buch 2: Geometrische Algebra (Pythagoreer)

Buch 3: Kreislehre (Pythagoreer)

man auf der ausgezeichneten Web-Site von BENJAMIN WRIGHTSON ([406]):

<http://www.benjaminwrightson.de/abakus/homepage.html>

³Die Bedeutung EUKLIDS Elemente für den abendländischen Kulturkreis und für die Entwicklung der Mathematik wird sehr detailliert in der Monographie von MORRIS KLINE [219], Vol. I dargestellt. Siehe auch BENJAMIN WARDHAUGH, [380].

- Buch 4: Vielecke (Pythagoreer)
- Buch 5: Proportionen (Eudoxos von Knidos)
- Buch 6: Proportionen in der ebenen Geometrie
- Buch 7: Teilbarkeit und Primzahlen, (Pythagoreer)
- Buch 8: Quadrat-, Kubikzahl und geometrische Reihen (Pythagoreer)
- Buch 9: Gerade und ungerade Zahlen (Pythagoreer)
- Buch 10: Geometrie für inkommensurable Größen (Theaitetos)
- Buch 11: Elementares zur Raumgeometrie
- Buch 12: Exhaustionsmethode (Eudoxos von Knidos)
- Buch 13: Die fünf platonischen Körper (Theaitetos)

250 – 230 v. Chr.

In Alexandria wird das *Sieb des Eratosthenes* entwickelt⁴ um Primzahlen zu bestimmen.⁵

ca. 70 v. Chr.

Der Mechanismus von Antikythera ist ein antikes, mit einer späteren astronomischen Uhr vergleichbares Gerät.⁶ Mit Hilfe vieler Zahnräder und Zifferblätter konnten von ihm wesentlich mehr astronomisch–kalendarische Zusammenhänge angezeigt werden, als es bei entsprechenden Uhren, die es im späten Mittelalter und in der frühen Neuzeit gab, möglich war.

Der Mechanismus wurde im Jahr 1900 von Schwammtauchern zusammen mit anderen Funden in einem Schiffswrack vor der griechischen Insel Antikythera, zwischen der Peloponnes und Kreta, entdeckt. An Bord befindliche Münzen aus Pergamon konnten auf die Jahre zwischen 86 und 67 v. Chr. datiert werden, Münzen aus Ephesus auf die Jahre zwischen 70 und 62 v. Chr. Daher dürfte das Schiff zwischen 70 und 60 v. Chr. gesunken sein; der Fund stammt somit aus dem späten Hellenismus. Neueste wissenschaftliche Untersuchungen datieren ihn auf den Mai 205 v. Chr., denn das ist der Startzeitpunkt der Astronomischen Uhr.

Das Gerät ist nicht vollständig erhalten und daher nicht mehr funktionsfähig. Die 82 erhaltenen Fragmente befinden sich heute im Archäologischen Nationalmuseum in Athen; die drei größten Teile sind in der Abteilung für Bronzegegenstände öffentlich ausgestellt.

⁴Siehe z.B. M. DU SAUTOY, [322].

⁵ERATOSTHENES gelang es unter anderem auch, ein geometrisches Verfahren zu entwickeln, um den Umfang der Erde zu berechnen (siehe z.B. [344, pp. 11-16]).

⁶Siehe PAUL COCKSHOTT *et al.* [76] oder LUCIO RUSSO, [319], Kap. 4.8 und [142]. Neuere Erkenntnisse findet man in dem Artikel von TONY FREETH [143].

Der Fund des Mechanismus von Antikythera war insofern überraschend, als ein technisch so anspruchsvolles Gerät wie dieses und die in ihm enthaltene Technik und Herstellungsweise bisher aus der Zeit der Antike nicht bekannt war.

Die umfangreiche, zum Teil noch andauernde Rekonstruktion des Mechanismus ergab, dass er als Modell für die von der Erde aus beobachtbaren Bewegungen von Sonne und Mond mit Hilfe von Anzeigen auf runden Skalen diente. Die mehrheitlich als Kalender skalierten Anzeigen wurden mit einer Einstellhilfe synchron verändert. Es gab drei große und drei kleine Anzeigen, von denen folgende vier die wichtigsten waren:

- ein Sonnenkalender mit Tagesskala und Monatsskala (Ägyptische Monatsnamen) und Babylonischen Tierkreiszeichen (der zusätzlich zum Sonnenzeiger wahrscheinlich Mondzeiger kann Indiz dafür sein, dass diese Anzeige ursprünglich noch fünf Planeten-Zeiger hatte und somit sowohl Kalender als auch Planetarium war),
- ein gebundener Mondkalender mit Monatsskala (Korinthische Monatsnamen),
- ein Finsterniskalender mit Monatsskala zur Anzeige von vergangenen und künftigen Sonnen- und Mondfinsternen und
- ein kleiner Olympiade-Kalender mit Jahresskala im Olympiade genannten vierjährigen Zeitraum (beschriftet mit den Orten der an ihnen periodisch stattfindenden Panhellenischen Spiele).



Abbildung 1.4: Der Original Mechanismus von Antikythera.

ca. 800 n. Chr.



Abbildung 1.5: Ein Nachbau des Mechanismus von Antikythera.

Auf dem indischen Subkontinent werden Zahlensysteme und Zahlensymbole (Ziffern) entwickelt.⁷ Erstmals findet auch ein Symbol „0“, für die Null Verwendung.⁸ Diese Neuerungen gelangten über Vorderasien nach Italien, wo um 1200 n. Chr. **Leonardo von Pisa** — auch bekannt als **Fibonacci** (siehe [224]) — das uns heute vertraute arabische Zahlensystem einföhrte.⁹ Richtungsweisend ist das Buch mit dem Titel

Liber Abbaci,

welches im Jahre 1202 erscheint. In diesem Werk stellt LEONARDO die grundlegenden Rechenverfahren mit dem arabischen Zahlensystem dar. Das arabische Zahlensystem ist ein **Stellenwertsystem**, bei dem nicht nur die Ziffer einen bestimmten Wert, sondern auch deren Stellung innerhalb einer Ziffernfolge eine Bedeutung hat. Einen Hinweis über den arabischen Ursprungs unseres wohlver-

⁷Eine empfehlenswerte Darstellung der Entwicklung verschiedener Zahlensysteme findet man in dem Buch von PAUL LOCKHART, [239].

⁸Eine ausführliche Darstellung der Geschichte der Null findet man in [211]; siehe auch [202] und [145].

⁹Siehe dazu *e.g.* [288] oder [219], Vol. I. Eine sehr empfehlenswerte Darstellung des Einflusses von LEONARDO DA PISA für die Entwicklung des Zahlensystems findet man in dem Buch von DEVLIN [115]. Siehe auch die ausführliche Darstellung von HEINZ LÜNEBURG [242].

trauten Dezimalzahlensystems bildet die Tatsache, dass Zahlen stets von rechts nach links gelesen werden.

Beispiel:

Addition von Zahlenkolonnen im römischen Zahlensystem und im arabischen Zahlensystem.

Den Vorteil, mit Stellenwertsystemen zu rechnen, erkennt man zum Beispiel daran, wenn man versuchen will, Zahlen, die im römischen Zahlensystem geschrieben sind, aufzuaddieren.

$ \begin{array}{r} 364 \\ + 288 \\ \hline 652 \end{array} $	<table border="0"> <tr> <td>CCC</td><td>L</td><td>X</td><td>IV</td></tr> <tr> <td>CC</td><td>L</td><td>XXX</td><td>VIII</td></tr> </table>	CCC	L	X	IV	CC	L	XXX	VIII		
CCC	L	X	IV								
CC	L	XXX	VIII								
	$\overbrace{\text{CCCCC}}$	$\underbrace{\text{LL}}$	$\overbrace{\text{XXXX}}$	$\text{X} \underbrace{\text{II}}$							
	D	C	$\overbrace{\text{XXXXX}}$	II							
	D	C	L	II							

Tabelle 1.1: Addition im arabischen Zahlensystem

Tabelle 1.2: Addition im römischen Zahlensystem

Offensichtlich erleichtert das Rechnen im dekadischen Zahlensystem (das ist ein Stellenwertsystem) die Rechenarbeit beträchtlich.

Die erste Revolution in der Informationstechnologie kam mitnichten durch den Mikrochip sondern durch die Erfindung des Buchdrucks durch JOHANNES GUTENBERG im Jahre 1440.[342]

Anfang des 17. Jahrhunderts

Dem Schweizer **Jost Bürgi** wird die Erfindung der Logarithmentafel zugeschrieben (1588), die er im Jahre 1605 dem Astronomen JOHANNES KEPLER zugänglich machte. Er versäumte es jedoch, seine Arbeiten beizutragen zu veröffentlichen, daher fällt diese Erfindung dem Schotten **John Napier** (1550 – 1617) (Edinburgh) zu.¹⁰ Dieser arbeitete 30 Jahre an der Veröffentlichung seiner siebenstelligen Logarithmentafel, die im Jahre 1614 erschien.

¹⁰NAPIERS Arbeiten über Logarithmen sind in der Veröffentlichung *Constructio mirifici logarithmorum canonis* zusammengefasst, das in englischer Sprache unter dem Titel *The Construction of the wunderful Canon of Logarithms* erschien [270]. Siehe auch die Bücher von J. HAVIL, [179] sowie Hairer und WANNER,[171].



Abbildung 1.6: Lord JOHN NAPIER OF MERCHANTON, Erfinder der Rechenstäbchen.

Während Addition und Subtraktion mit dem Rechenbrett (Abakus) noch relativ leicht durchgeführt werden können, sind Multiplikation und Division etwas problematischer. Als Rechenhilfe für die Multiplikation erdachte JOHN NAPIER die *Rechenstäbchen*.

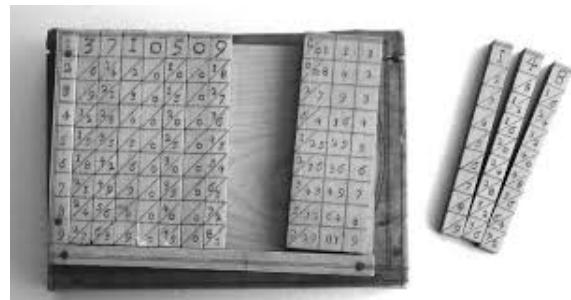


Abbildung 1.7: NAPIERSche Rechenstäbchen.

Nach dem Tod von NAPIER im Jahre 1617 übernahm der englische Geometer HENRY BRIGGS (1556 – 1630) die Weiterentwicklung des Logarithmus, insbesondere führte BRIGGS den 10er Logarithmus ein. Auf diese Weise entstanden die Logarithmentafeln, die in den folgenden 350 Jahren verwendet wurden, die

Briggschen Logarithmen, [179].

Intermezzo I: Rechnen mit Logarithmen

Heute, im Zeitalter des Computers, sind Logarithmen ein eher beiläufiges, mathematisches Konzept, das bei der Untersuchung von Funktionen in der Analysis behandelt wird. Bis in die 1970er Jahre waren Logarithmen — und damit die BRIGGSSCHEN Logarithmentafeln — jedoch ein unverzichtbares Hilfsmittel für die Ausführung von Rechnungen. Mit dem Aufkommen der Taschenrechner änderte sich dies jedoch grundlegend.

Angenommen, man hat — ohne Zuhilfenahme eines Taschenrechners — den folgenden Ausdruck zu berechnen:

$$x = \sqrt[3]{\frac{493.8 \cdot (23.67)^2}{5.104}}.$$

Um diesen Ausdruck zu berechnen benötigt man eine Tabelle vierstelliger Logarithmen und die Regeln der Logarithmenberechnung:

$$\log(a \cdot b) = \log a + \log b,$$

$$\log\left(\frac{a}{b}\right) = \log a - \log b,$$

$$\log a^n = n \cdot \log a,$$

wobei $a, b \in \mathbb{R}_+$, $n \in \mathbb{R}$. \log steht hierbei für den Logarithmus zur Basis 10.

Bevor wir die Berechnung des obigen Ausdrucks ausführen, wiederholen wir die Definition des Logarithmus. Schreibt man eine positive Zahl N in der Form

$$N = 10^L,$$

dann nennt man L den Logarithmus von N zur Basis 10 und schreibt hierfür

$$L = \log_{10} N = \log N.$$

Die Gleichungen $N = 10^L$ und $L = \log N$ sind äquivalent, i.e. sie liefern die gleiche Information. Da $10^0 = 1$ und $10^1 = 10$ ist, erhalten wir

$$\log 1 = 0 \quad \text{und} \quad \log 10 = 1.$$

Daher ist der Logarithmus einer Zahl zwischen 1 (inclusive) und 10 (exclusive) eine Dezimalzahl zwischen 0 und 1, i.e. eine Zahl der Form

$$0.a_1a_2a_3\dots$$

Die gleiche Argumentation liefert, dass der Logarithmus einer Zahl zwischen 10 und 100 die Form

$$1.a_1a_2a_3\dots$$

hat. Die folgende Tabelle fasst diesen Sachverhalt zusammen:

Zahlenbereich von N	$\log N$
$1 \leq N < 10$	$0.a_1a_2a_3\dots$
$10 \leq N < 100$	$1.a_1a_2a_3\dots$
$100 \leq N < 1000$	$2.a_1a_2a_3\dots$
$1000 \leq N < 10000$	$3.a_1a_2a_3\dots$

Schreibt man daher den Logarithmus einer Zahl N in der Form

$$\log N = p.a_1a_2a_3\dots,$$

dann gibt die ganze Zahl p an, in welchem Bereich der Potenzen von 10 die Zahl N liegt. Ist beispielsweise gegeben, dass

$$\log N = 3.235$$

gilt, dann wissen wir, dass die Zahl N im Bereich 1000 und 10000 liegt. Der aktuelle Wert von N ist durch die Nachkommastellen gegeben. Man nennt den ganzzahligen Teil p des Logarithmus die *Charakteristik*, die Nachkommastellen $a_1a_2a_3\dots$ die *Mantisse*.

In einer Logarithmentafel sind üblicherweise nur die Mantissen aufgelistet. Es ist also Aufgabe des Anwenders, die Charakteristik zu bestimmen. Zwei Logarithmen mit der gleichen Mantisse aber unterschiedlicher Charakteristik entsprechen zwei Zahlen, die die gleichen Ziffern aber unterschiedliche Position des Dezimalpunktes haben. Beispielsweise ist

$$\log N = 0.267 \quad \iff \quad N = 1.849,$$

und

$$\log N = 1.267 \quad \iff \quad N = 18.49.$$

Mit diesen Vorüberlegungen können wir nun die Berechnung des obigen Ausdrucks beginnen. Wir schreiben zunächst die dritte Wurzel als Potenz, *i.e.*

$$x = \left(\frac{493.8 \cdot (23.67)^2}{5.104} \right)^{1/3}.$$

Nimmt man nun der Logarithmus auf beiden Seiten und wendet die Logarithmusgesetze an, erhält man:

$$\begin{aligned} \log x &= \log \left(\frac{493.8 \cdot (23.67)^2}{5.104} \right)^{1/3} \\ &= \frac{1}{3} \log \left(\frac{493.8 \cdot (23.67)^2}{5.104} \right) \\ &= \frac{1}{3} (\log 493.8 + 2 \cdot \log 23.67 - \log 5.104). \end{aligned} \tag{1.1}$$

N	0 1 2 3 4				5 6 7 8 9					Proportional Parts									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
10	0000	0043	0086	0128	0170	0212	0253	0294	0334	0374	4	8	12	17	21	25	29	33	37
11	0414	0453	0492	0531	0569	0607	0645	0682	0719	0755	4	8	11	15	19	23	26	30	34
12	0792	0828	0864	0899	0934	0969	1004	1038	1072	1106	3	7	10	14	17	21	24	28	31
13	1139	1173	1206	1239	1271	1303	1335	1367	1399	1430	3	6	10	13	16	19	23	26	29
14	1461	1492	1523	1553	1584	1614	1644	1673	1703	1732	3	6	9	12	15	18	21	24	27
15	1761	1790	1818	1847	1875	1903	1931	1959	1987	2014	3	6	8	11	14	17	20	22	25
16	2041	2068	2095	2122	2148	2175	2201	2227	2253	2279	3	5	8	11	13	16	18	21	24
17	2304	2330	2355	2380	2405	2430	2455	2480	2504	2529	2	5	7	10	12	15	17	20	22
18	2553	2577	2601	2625	2648	2672	2695	2718	2742	2765	2	5	7	9	12	14	16	19	21
19	2788	2810	2833	2856	2878	2901	2923	2946	2967	2989	2	4	7	9	11	13	16	18	20
20	3010	3032	3054	3075	3096	3118	3139	3160	3181	3201	2	4	6	8	11	13	15	17	19
21	3222	3243	3263	3284	3304	3324	3345	3365	3385	3404	2	4	6	8	10	12	14	16	18
22	3424	3444	3464	3483	3502	3522	3541	3560	3579	3598	2	4	6	8	10	12	14	15	17
23	3617	3638	3655	3674	3692	3711	3729	3747	3766	3784	2	4	6	7	9	11	13	15	17
24	3802	3820	3838	3856	3874	3892	3909	3927	3945	3962	2	4	5	7	9	11	13	14	16
25	3979	3997	4014	4031	4048	4065	4082	4099	4116	4133	2	3	5	7	9	10	12	14	15
26	4150	4166	4183	4200	4216	4232	4249	4265	4281	4298	2	3	5	7	8	10	11	13	15
27	4314	4330	4346	4362	4378	4393	4409	4425	4440	4456	2	3	5	6	8	9	11	13	14
28	4472	4487	4505	4518	4533	4548	4564	4579	4594	4609	2	3	5	6	8	9	11	12	14
29	4624	4639	4654	4669	4683	4691	4713	4724	4742	4757	1	3	4	6	7	9	10	12	13
30	4771	4786	4801	4814	4829	4843	4857	4871	4886	4900	1	3	4	6	7	9	10	11	13
31	4914	4928	4942	4955	4969	4983	4997	5011	5024	5038	1	3	4	6	7	8	10	11	12
32	5051	5065	5079	5092	5105	5119	5132	5145	5159	5172	1	3	4	5	7	8	9	11	12
33	5185	5198	5211	5224	5237	5250	5263	5276	5289	5302	1	3	4	5	6	8	9	10	12
34	5315	5328	5340	5353	5366	5378	5391	5403	5416	5428	1	3	4	5	6	8	9	10	11
35	5441	5458	5465	5478	5490	5505	5514	5527	5539	5551	1	2	4	5	6	7	9	10	11
36	5563	5578	5587	5599	5611	5623	5635	5647	5658	5670	1	2	4	5	6	7	8	10	11
37	5682	5694	5707	5717	5729	5740	5752	5765	5775	5786	1	2	3	5	6	7	8	9	10
38	5798	5809	5821	5832	5843	5856	5866	5877	5888	5899	1	2	3	5	6	7	8	9	10
39	5911	5922	5938	5944	5955	5969	5977	5984	5990	6010	1	2	3	4	5	7	8	9	10
40	6021	6031	6042	6053	6064	6075	6085	6096	6107	6117	1	2	3	4	5	6	8	9	10
41	6128	6138	6149	6160	6170	6180	6191	6201	6212	6222	1	2	3	4	5	6	7	8	9
42	6232	6243	6253	6263	6274	6284	6294	6304	6314	6325	1	2	3	4	5	6	7	8	9
43	6335	6345	6355	6365	6375	6385	6395	6405	6415	6425	1	2	3	4	5	6	7	8	9
44	6435	6444	6454	6464	6474	6484	6493	6503	6513	6522	1	2	3	4	5	6	7	8	9
45	6532	6542	6551	6561	6571	6581	6590	6599	6609	6618	1	2	3	4	5	6	7	8	9
46	6628	6637	6646	6656	6665	6675	6684	6693	6702	6712	1	2	3	4	5	6	7	7	8
47	6721	6730	6739	6749	6758	6767	6776	6783	6794	6803	1	2	3	4	5	5	6	7	8
48	6812	6821	6830	6839	6848	6857	6866	6875	6884	6893	1	2	3	4	4	5	6	7	8
49	6902	6911	6920	6928	6937	6941	6955	6964	6972	6981	1	2	3	4	4	5	6	7	8
50	6990	6998	7007	7016	7024	7033	7042	7050	7059	7067	1	2	3	3	4	5	6	7	8
51	7076	7084	7093	7101	7110	7118	7126	7135	7143	7152	1	2	3	3	4	5	6	7	8
52	7160	7168	7177	7185	7193	7202	7210	7218	7226	7235	1	2	3	3	4	5	6	7	7
53	7243	7251	7259	7267	7275	7284	7292	7300	7308	7316	1	2	2	3	4	5	6	6	7
54	7324	7332	7340	7348	7356	7364	7372	7380	7388	7396	1	2	2	3	4	5	6	6	7

Abbildung 1.8: Logarithmentafel, Teil 1

Wir erhalten nun die Werte der Logarithmen aus der Tabelle [1.8]. Um den Wert $\log 493.8$ zu erhalten suchen wir die Zeile, die mit 49 beginnt und gehen dann zu der Spalte, die mit 3 überschrieben ist. Dort ergibt sich der Wert 6928. Anschließend geht man in den Teil *Proportional Part* (Zeile 23) und dort zur Spalte 8. Hier haben wir den Eintrag 7, den wir zur 6928 addieren, und erhalten 6935. Da die Zahl 493.8 zwischen 100 und 1000 liegt, ist die Charakteristik 2, und damit ist

$$\log 493.8 = 2.6935.$$

Diese Schritte führt man nun mit jedem Logarithmus in Gl. (1.1) durch.

$$23.67 \rightarrow \text{Zeile 23} \rightarrow \text{Spalte 6} \Rightarrow 3729$$

Im Teil *Proportional Part* (Zeile 23) Spalte 7 steht der Wert 13, damit erhalten wir: $3729 + 13 = 3742$. Da die Zahl 23.67 zwischen 10 und 100 liegt ist die Charakteristik 1, i.e.

$$\log 23.67 = 1.3742, \quad 2 \cdot \log 23.67 = 2.7484.$$

p										Proportional Parts										
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
.50	3162	3170	3177	3184	3192	3198	3206	3214	3221	3228	1	1	2	3	4	5	6	7		
.51	3236	3243	3251	3258	3266	3273	3281	3289	3296	3304	1	2	2	3	4	5	5	6	7	
.52	3311	3319	3327	3334	3342	3350	3357	3365	3373	3381	1	2	2	3	4	5	5	6	7	
.53	3388	3396	3404	3412	3420	3428	3436	3443	3451	3459	1	2	2	3	4	5	6	6	7	
.54	3467	3475	3483	3491	3499	3508	3516	3524	3532	3540	1	2	2	3	4	5	6	6	7	
.55	3548	3556	3565	3573	3581	3589	3597	3606	3614	3622	1	2	2	3	4	5	6	7	7	
.56	3631	3639	3648	3656	3664	3673	3681	3690	3698	3707	1	2	3	3	4	5	6	7	8	
.57	3715	3724	3733	3741	3750	3758	3767	3776	3784	3793	1	2	3	3	4	5	6	7	8	
.58	3801	3811	3819	3828	3837	3846	3855	3864	3873	3882	1	2	3	4	4	5	6	7	8	
.59	3899	3909	3908	3917	3925	3936	3945	3954	3963	3972	1	2	3	4	5	5	6	7	8	
.60	3981	3990	3999	4009	4018	4027	4036	4046	4055	4064	1	2	3	4	5	6	6	7	8	
.61	4074	4083	4093	4102	4111	4121	4130	4140	4150	4159	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
.62	4169	4178	4186	4198	4207	4217	4227	4238	4246	4256	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
.63	4266	4276	4285	4295	4305	4316	4325	4335	4345	4355	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
.64	4366	4375	4385	4395	4406	4416	4426	4436	4446	4457	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
.65	4467	4477	4487	4498	4508	4516	4529	4539	4550	4560	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
.66	4571	4581	4592	4603	4613	4624	4634	4645	4656	4667	1	2	3	4	5	6	7	9	10	
.67	4677	4688	4699	4710	4721	4732	4742	4753	4764	4775	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
.68	4786	4797	4808	4819	4831	4843	4853	4864	4875	4887	1	2	3	4	6	7	8	9	10	
.69	4898	4909	4920	4932	4943	4955	4966	4977	4989	5000	1	2	3	5	6	7	8	9	10	
.70	5012	5023	5035	5047	5058	5070	5082	5093	5105	5117	1	2	4	5	6	7	8	9	11	
.71	5129	5140	5152	5164	5176	5188	5200	5212	5224	5236	1	2	4	5	6	7	8	10	11	
.72	5248	5260	5272	5284	5297	5309	5321	5333	5346	5358	1	2	4	5	6	7	9	10	11	
.73	5370	5388	5395	5408	5420	5433	5445	5458	5470	5483	1	3	4	5	6	8	9	10	11	
.74	5495	5508	5521	5534	5546	5559	5572	5585	5598	5610	1	3	4	5	6	8	9	10	12	
.75	5626	5636	5649	5662	5675	5689	5702	5715	5728	5741	1	3	4	5	7	8	9	10	12	
.76	5754	5768	5781	5793	5808	5821	5834	5848	5861	5875	1	3	4	5	7	8	9	11	12	
.77	5884	5902	5916	5929	5943	5957	5970	5984	5998	6012	1	3	4	5	7	8	10	11	12	
.78	6026	6039	6053	6067	6081	6095	6109	6124	6138	6152	1	3	4	6	7	8	10	11	13	
.79	6166	6180	6194	6209	6223	6237	6252	6266	6281	6295	1	3	4	6	7	9	10	11	13	
.80	6310	6324	6339	6353	6368	6383	6397	6412	6427	6442	1	3	4	6	7	9	10	12	13	
.81	6457	6471	6486	6501	6516	6531	6546	6561	6577	6592	2	3	5	6	8	9	11	12	14	
.82	6607	6622	6637	6653	6668	6683	6699	6714	6730	6745	2	3	5	6	8	9	11	12	14	
.83	6761	6776	6792	6808	6823	6839	6855	6871	6887	6902	2	3	5	6	8	9	11	13	14	
.84	6918	6934	6950	6966	6982	6998	7015	7031	7047	7063	2	3	5	6	8	10	11	13	15	
.85	7079	7098	7112	7129	7145	7161	7178	7194	7211	7228	2	3	5	7	8	10	12	13	15	
.86	7244	7261	7278	7295	7311	7238	7345	7362	7379	7396	2	3	5	7	8	10	12	13	15	
.87	7413	7430	7447	7464	7482	7499	7516	7534	7551	7568	2	3	5	7	9	10	12	14	16	
.88	7586	7603	7621	7638	7656	7674	7691	7709	7727	7745	2	4	5	7	9	11	12	14	16	
.89	7762	7780	7798	7816	7834	7852	7870	7889	7907	7925	2	4	5	7	9	11	13	14	16	
.90	7943	7962	7980	7999	8017	8035	8054	8072	8091	8110	2	4	6	7	9	11	13	15	17	
.91	8128	8147	8166	8184	8204	8222	8241	8260	8279	8299	2	4	6	8	9	11	13	15	17	
.92	8318	8337	8356	8373	8395	8414	8433	8453	8472	8492	2	4	6	8	10	12	14	15	17	
.93	8511	8531	8551	8570	8590	8610	8630	8650	8670	8690	2	4	6	8	10	12	14	16	18	
.94	8710	8730	8750	8770	8790	8810	8831	8851	8870	8892	2	4	6	8	10	12	14	16	18	
.95	8913	8933	8954	8974	8995	9016	9036	9057	9078	9099	2	4	6	8	10	12	15	17	19	
.96	9120	9141	9162	9183	9204	9226	9247	9268	9290	9311	2	4	6	8	11	13	15	17	19	
.97	9334	9354	9376	9397	9419	9441	9462	9484	9506	9528	2	4	7	9	11	13	15	17	20	
.98	9556	9572	9594	9616	9638	9661	9683	9705	9727	9750	2	4	7	9	11	13	16	18	20	
.99	9722	9756	9817	9840	9863	9886	9909	9931	9954	9977	2	5	7	9	11	14	16	18	20	
p	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	1	2	3	4	5	6	7	8	9	

Abbildung 1.9: Logarithmentafel, Teil 2

Analog ist

$$\log 5.104 = 0.7079.$$

Damit erhalten wir:

$$\begin{aligned} \log x &= \frac{1}{3} (\log 493.8 + 2 \cdot \log 23.67 - \log 5.104) \\ &= \frac{1}{3} (2.6935 + 2.7484 - 0.7079) \\ &= 1.5780. \end{aligned}$$

Der letzte Schritt besteht nun darin, aus der Tabelle [1.9] — diese Tabelle enthält die *Antilogarithmen* — den zum Logarithmus umgekehrten Wert zu erhalten. Da die Charakteristik von 1.5780 den Wert 1 hat, muss x zwischen 10 und 100 liegen. Man geht nun in der p -Spalte der Tabelle [1.9] bis zur Zeile .57 und dort nach rechts bis zur Spalte 8, was zu dem Wert 3784 führt. Damit ist

$$x = 37.84.$$

Intermezzo II: Erstellen einer Logarithmentafel

Wie erstellt man¹¹ Tabellen der Form¹² [1.8] und [1.9]?

Ausgangspunkt ist erst mal, die Potenzen von 1.01 zu berechnen. Die folgende Tabelle [1.3] zeigt die ersten 120 Werte.

¹¹Ohne Taschenrechner, den gab's damals noch nicht.

¹²Eine lesbare Einführung in diese Thematik ist der Artikel von THOMAS SONAR [350].

n	1.01^n	n	1.01^n	n	1.01^n
1	1.0100	41	1.5038	81	2.2389
2	1.0201	42	1.5188	82	2.2613
3	1.0303	43	1.5340	83	2.2839
4	1.0406	44	1.5493	84	2.3067
5	1.0510	45	1.5648	85	2.3289
6	1.0615	46	1.5805	86	2.3531
7	1.0721	47	1.5963	87	2.3766
8	1.0829	48	1.6122	88	2.4004
9	1.0937	49	1.6283	89	2.4244
10	1.1046	50	1.6446	90	2.4486
11	1.1157	51	1.6611	91	2.4731
12	1.1268	52	1.6777	92	2.4979
13	1.1381	53	1.6945	93	2.5228
14	1.1495	54	1.7114	94	2.5481
15	1.1610	55	1.7285	95	2.5753
16	1.1726	56	1.7458	96	2.5993
17	1.1843	57	1.7633	97	2.6253
18	1.1961	58	1.7809	98	2.6515
19	1.2081	59	1.7987	99	2.6780
20	1.2202	60	1.8167	100	2.7048
21	1.2324	61	1.8349	101	2.7319
22	1.2447	62	1.8532	102	2.7592
23	1.2572	63	1.8717	103	2.7868
24	1.2697	64	1.8905	104	2.8146
25	1.2824	65	1.9094	105	2.8428
26	1.2953	66	1.9285	106	2.8712
27	1.3082	67	1.9477	107	2.8999
28	1.3213	68	1.9672	108	2.9289
29	1.3345	69	1.9869	109	2.9582
30	1.3478	70	2.0068	110	2.9878
31	1.3613	71	2.0268	111	3.0177
32	1.3749	72	2.0471	112	3.0479
33	1.3887	73	2.0676	113	3.0783
34	1.4026	74	2.0882	114	3.1091
35	1.4166	75	2.1091	115	3.1402
36	1.4308	76	2.1302	116	3.1716
37	1.4451	77	2.1515	117	3.2033
38	1.4595	78	2.1730	118	3.2354
39	1.4741	79	2.1948	119	3.2677
40	1.4889	80	2.2167	120	3.3004

Tabelle 1.3: Die ersten 120 Potenzen von 1.01.

Dies führt man so lange aus, bis eine Zahl größer als 10 resultiert.¹³ Die Zahl 1.01 wird als Basis gewählt, da die Potenzen dieser Zahl durch Addition berechnet werden können.

Beispiel

$$1.01^2 = 1.01 \times 1.01 = 1.01 + 0.0101 = 1.0201$$

Dies erleichtert den Rechenaufwand enorm. Mit dieser Tabelle wollen wir nun den 10er Logarithmus von 2 berechnen. Wir suchen also die Zahl x für die gilt

$$10^x = 2. \quad (1.2)$$

Die Lösung dieser Gleichung schreibt man üblicherweise als

$$x = \log_{10} 2.$$

Steht auf der recheten Seite von Gl. (1.2) die Zahl 10,100 oder 1000, dann wissen wir, dass $x = 2,3$ bzw. 4 ist. Da dies jedoch nicht der Fall ist, benötigt man Logarithmen. Wir lösen das Problem in drei Schritten.

Schritt 1: Wir suchen eine Zahl a mit der Eigenschaft

$$1.01^a = 2.$$

Dazu benutzen wir die Tabelle [1.3] und erhalten hieraus:

$$1.01^{69} < 2 < 1.01^{70},$$

i.e. die Zahl 2 liegt im Intervall $[1.01^{69}, 1.01^{70}]$. Oder mit anderen Worten, es muss eine Zahl a geben mit $69 < a < 70$, so dass $1.01^a = 2$. Wir ermitteln a durch lineare Interpolation.

Dabei legt man eine Gerade durch die Punkte $P_1 = (x_1, y_1) = (69, 1.9869)$ und $P_2 = (x_2, y_2) = (70, 2.0068)$, und verwendet die Gerdengleichung

$$y = \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1}(x - x_1) + y_1,$$

und suchen dann den x -Wert für $y = 2$. Wir erhalten den Näherungswert $a = 69.7$.

Damit ergibt sich

$$\begin{aligned} 1.01^{69.7} &= 2 \\ \iff \log(1.01^{69.7}) &= \log 2 \\ \iff 69.7 \cdot \log(1.01) &= \log 2. \end{aligned}$$

Wir benötigen somit noch den 10er Logarithmus von 1.01.

¹³Dies ist die 231te Potenz. Wir haben in der Tabelle [1.3] aus Platzgründen nur die Potenzen bis $n = 120$ aufgelistet.

Schritt 2: Wir benutzen wieder die Tabelle der Potenzen von 1.01 um diesen Wert zu erhalten. Es gilt (dieser Wert ist nicht in der Tabelle [1.3] aufgeführt

$$1.01^{231} < 10 < 1.01^{232},$$

i.e. es gibt eine Zahl b mit $231 < b < 232$ mit $1.01^b = 10$. Die obige Interpolationsmethode führt auf $b = 231.4$.

Damit haben wir:

$$\begin{aligned} 1.01^{231.4} &= 10 \\ \iff \log(1.01^{231.4}) &= \log 10 \\ \iff 231.4 \cdot \log 1.01 &= 1 \\ \iff \log 1.01 &= \frac{1}{231.4}. \end{aligned}$$

Schritt 3: Damit können wir den 10er Logarithmus von 2 berechnen. Wir erhalten:

$$\begin{aligned} \log 2 &\stackrel{1.S}{=} 69.7 \log 1.01 \\ &\stackrel{2.S}{=} 69.7 \cdot \frac{1}{231.4} \\ &= 0.3012. \end{aligned}$$

1622

Der Engländer **William Oughtred** (1574 – 1660) erfindet den Rechenschieber, basierend auf der Idee, dass sich eine Multiplikation zweier Zahlen durch die Addition zweier logarithmischer Längenmaßstäbe darstellen lässt.

1623

Der Tübinger **WILHELM SCHICKARD** (1592 – 1635) konstruiert die erste zahnradbetriebene Rechenmaschine (siehe Abbildung [1.10]), die alle vier Grundrechenarten beherrschte.

WILHELM SCHICKARD wurde am 22. April 1592 in Herrenberg (Württemberg) als Sohn eines Schreiners und Werkmeisters geboren. Er besuchte in seinem Geburtsort die Lateinschule und studierte anschließend Theologie. Bereits mit 19 Jahren wurde er Magister und zeigte ein ausgeprägtes Lehrtalent. Im Jahr 1617 begegnete SCHICKARD zum erstenmal dem Astronomen JOHANNES KEPLER (1571 – 1630), der seine hohe Begabung erkannte und ihn zeitlebens als großen Erfinder schätzte. SCHICKARD wurde 1619 in Tübingen zum Professor für Hebräisch, Aramäisch und andere biblische Sprachen berufen. Nach dem Tode von KEPLER lehrte SCHICKARD außerdem noch Astronomie, Mathematik und Geodäsie.



Abbildung 1.10: Ein voll funktionsfähiger Nachbau der Rechenmaschine von WILHELM SCHICKARD, die im Heinz-Nixdorf Museum in Paderborn zu bewundern ist.

SCHICKARDS Leben stand im Schatten des Dreißigjährigen Krieges (1618 – 1648). Vor der Schlacht bei Tübingen floh er im Jahr 1631 mit seiner ganzen Familie in eine unweit von Tübingen gelegene österreichische Enklave. Ein Jahr später folgte eine weitere Flucht. 1634 kaufte SCHICKARD in Tübingen ein Haus und hoffte auf ruhigere Zeiten, um sich seiner Arbeit widmen zu können. Im gleichen Jahr kamen jedoch nach der Schlacht bei Nördlingen katholische Truppen über Tübingen, die die Pest mitbrachten. SCHICKARD mußte miterleben, wie seine Frau, seine drei Töchter, zwei Mägde und ein Student in seinem Hause von der Pest in kurzer Zeit dahingerafft wurden. Mit seinem einzigen Sohn entwich er dann nach Dußlingen. Er bekam jedoch Heimweh nach Haus und Bibliothek und kehrte nach kurzer Zeit wieder zurück. Am 24. Oktober 1635 starb WILHELM SCHICKARD ebenfalls an der Pest. Sein kleiner Sohn folgte ihm nach wenigen Tagen.

Das Zahlenrechnen in ständig wiederkehrender Form erschien bereits am Anfang des 17. Jahrhunderts zeitraubend, so dass der Gedanke zum Bau von Rechenmaschinen nahelag. WILHELM SCHICKARD baute im Jahr 1623 die erste mit Zahn rädern arbeitende Rechenmaschine. Wie sein Leben, so stand auch dieses Werk im Schatten des Dreißigjährigen Krieges. Das einzige vollendete Exemplar ist verschollen, vermutlich wurde es in den Kriegswirren zerstört. Die Erfindung blieb bis in unsere Tage so gut wie unbeachtet. Erst ein 1957 vom Keplerforscher Dr. Franz Hammer gehaltener Vortrag hat auf Schickards Erfindung auf-



Abbildung 1.11: Wilhelm Schickard (1592 – 1635)

merksam gemacht und die Grundlagen zur Rekonstruktion durch den Tübinger Professor Dr. Bruno Baron von Freytag Löringhof geliefert. Die Quellen sind lediglich zwei Briefe, zwei Federskizzen und ein Notizzettel.

Am 20. September 1623 schrieb WILHELM SCHICKARD an KEPLER:

Ferner habe ich dasselbe was du rechnerisch gemacht hast, kürzlich auf mechanischem Wege versucht und eine aus elf vollständigen und sechs verstümmelten Rädchen bestehende Maschine konstruiert, welche gegebene Zahlen augenblicklich automatisch zusammenrechnet: addiert, subtrahiert, multipliziert und dividiert. Du würdest hell auflachen, wenn du da wärest und erlebstest, wie sie die Stellen links, wenn es über einen Zehner oder Hunderter weggeht, ganz von selbst erhöht, bzw. beim Subtrahieren ihnen etwas wegnimmt.

SCHICKARD berichtete also bereits 1623 von einer Rechenmaschine für alle vier Grundrechenarten, die bei Additionen und Subtraktionen den Zehnerübertrag automatisch ausführte.

Rekonstruktionen der SCHICKARD–Rechenmaschinen findet man im Deutschen Museum in München sowie im Heinz Nixdorf Museum in Paderborn. SCHICKARD entwickelt auch die automatische Zehnerübertragung.



Abbildung 1.12: Die Rechenmaschine von BLAISE PASCAL.

1642

Der Franzose BLAISE PASCAL stellt in Paris eine Additionsmaschine vor (siehe Abbildung [1.12]), die — auf Umwegen — auch subtrahieren konnte.

Ende des 17. Jahrhunderts

Durch die Mathematisierung der Physik von **Isaac Newton** (1642 – 1727) wurde es notwendig gegen Ende des 17. Jahrhunderts, eine Reihe von Tabellen zu erweitern. Dazu zählten insbesondere Logarithmentabellen, Tabellen trigonometrischer Funktionen (Sinus, Cosinus) aber auch navigatorische Tabellen, die als Grundlage der Navigation von Handelsschiffen dienten. Die Notwendigkeit einer Mechanisierung von Rechenarbeit wuchs zunehmend.

1673

GOTTFRIED WILHELM LEIBNIZ (1646 – 1716) stellte in London sein Replica-



Abbildung 1.13: GOTTFRIED WILHELM LEIBNIZ.

Modell vor, eine Rechenmaschine, die alle vier Grundrechenoperationen mit einem zwölfstelligen Anzeigewerk durchführen konnte, siehe Abbildung [1.14].



Abbildung 1.14: Die Rechenmaschine von LEIBNIZ.

1679

GOTTFRIED WILHELM LEIBNIZ veröffentlicht eine Arbeit mit dem Titel

De Progressione Dyadica

in welcher die Zweiwertigkeit von Zahlen untersucht wird.¹⁴ Das Ziel von LEIBNIZ war die Entwicklung einer universellen Sprache, ein System von Symbolen, das alle menschlichen Gedanken umfasst und darstellen kann. Ein solches System ist heute unter dem Begriff Dual- bzw. Binärsystem bekannt. Die Arbeiten

¹⁴Siehe dazu auch die Darstellung von MARTIN DAVIS, [101], Chapter 1.

von LEIBNIZ gerieten bald wieder in Vergessenheit und wurden erst etwa 170 Jahre später von GEORGE BOOLE aufgegriffen und weiterentwickelt.¹⁵

1733

Der französische Naturforscher GEORGES–LOUIS LECLERC DE BUFFON stellt vor der Pariser Akademie der Wissenschaften ein Experiment vor, mit dem die Kreiszahl π experimentell bestimmt werden kann. (BUFFONSches Nadelproblem)

Eine Nadel der Länge l wird zufällig auf eine flache Oberfläche geworfen, die mit parallelen Hilfslinien im Abstand d versehen sind. Wie groß ist die Wahrscheinlichkeit, dass die Nadel so liegen bleibt, dass sie eine der Linien kreuzt?

BUFFON gab auch die Antwort auf dieses Problem, die Wahrscheinlichkeit ist

$$p = \frac{2 \cdot l}{\pi \cdot d}.$$

Dieses Resultat impliziert, dass man experimentell einen approximativen Wert für π bestimmen kann.¹⁶

¹⁵Siehe dazu [100, pp. 3–20], [220], oder die Artikel [16, 295, 352]. Inbesondere widmet sich der Artikel [16] der Rechenmaschine von LEIBNIZ.

¹⁶Siehe [30], pp. 400 – 401.

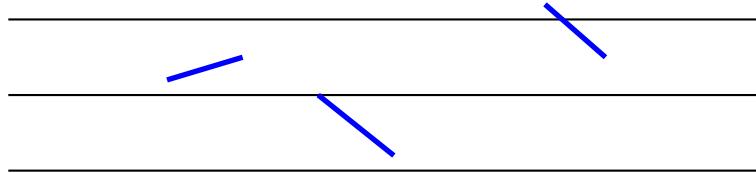
Intermezzo III: Das Buffonsche Nadelexperiment

Satz

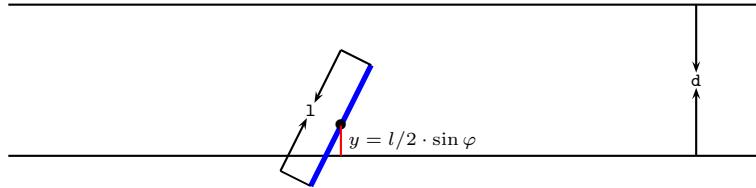
Eine Nadel der Länge l wird auf liniertes Papier zufällig fallen gelassen. Der Abstand der Linien auf dem Papier ist $d \geq l$. Die Wahrscheinlichkeit, dass die Nadel in eine Position zu liegen kommt, in der sie eine Linie des Papiers kreuzt, ist

$$p = \frac{2 \cdot l}{\pi \cdot d}.$$

Beweis:



Wir betrachten — in heutiger Terminologie — das Zufallsexperiment *Werfen einer Nadel auf ein liniertes Papier*. Ein Ausgang dieses Experiments — oder ein Ereignis — besteht darin, dass die Nadel *irgendwie* auf dem Papier liegt. Um dieses *irgendwie* zu präzisieren betrachten wir die geometrischen Details: Sei y der Abstand des Mittelpunktes der Nadel von derjenigen Geraden, die der Nadel am nächsten liegt, und sei φ der Winkel, den die Gerade mit der Nadel einschließt. Ein Ereignis dieses Zufallsexperiments besteht also in den Paaren (y, φ) .



Die Nadel kann drei mögliche Positionen bezüglich den parallelen Geraden annehmen:

- die Nadel kreuzt keine Linie, das ist genau dann der Fall, wenn

$$y > \frac{l}{2} \cdot \sin \varphi,$$

- die Nadel kreuzt die Linie, das ist genau dann der Fall, wenn

$$y < \frac{l}{2} \cdot \sin \varphi,$$

- die Nadel berührt die Linie, das ist der Fall

$$y = \frac{l}{2} \cdot \sin \varphi.$$

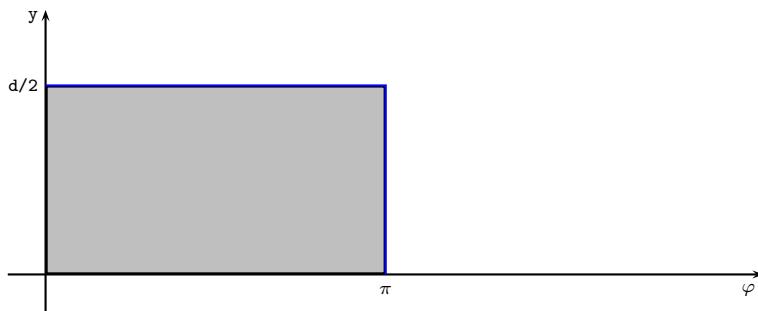
Für die Parameter φ und y gelten die folgenden Beschränkungen:

mögliche Winkel: $0 \leq \varphi \leq \pi$,

mögliche Abstände: $0 \leq y \leq \frac{d}{2}$.

Alle möglichen Ereignisse dieses Zufallsexperiments — also den Ort des Nadelmittelpunktes und der Winkel der Nadel zu den Parallelen — liegen in einem Rechteck G mit der Fläche

$$F(G) = \frac{d}{2} \cdot \pi.$$



Jeder Punkt in dem Rechteck stellt also ein mögliches Ereignis des Zufallsexperiments dar.

Die Nadel kreuzt eine der parallelen Linien genau dann, wenn gilt:

$$y \leq \frac{l}{2} \cdot \sin \varphi$$

Diese Teilmenge des Ereignisraums sind als die Ereignisse mit positivem Ausgang.

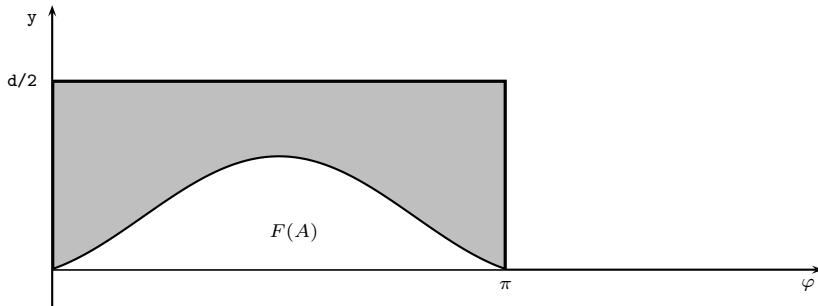


Abbildung 1.15: Ereignisraum des BUFFONSchen Nadelexperiments.

Offensichtlich gilt für die Fläche unterhalb der Sinuskurve (Siehe Abb. [1.15]):

$$\begin{aligned}
 F(A) &= \int_0^\pi \frac{l}{2} \cdot \sin \varphi d\varphi \\
 &= \frac{l}{2} [-\cos \varphi] \Big|_0^\pi \\
 &= \frac{l}{2} [(-\cos \pi) - (-\cos 0)] \\
 &= \frac{l}{2} (1 + 1) = l.
 \end{aligned}$$

Wird das Experiment nun so durchgeführt, dass kein Ereignis (y, φ) des Rechtecks bevorzugt wird, i.e. die Ereignisse müssen unabhängig sein, dann ergibt sich mit der LAPLACE Wahrscheinlichkeit:

$$p = \frac{F(A)}{F(G)} = \frac{l}{\pi \cdot d/2} = \frac{2l}{\pi \cdot d}.$$

Wenn man nun annimmt, dass π unbekannt ist, dann kann man durch dieses Zufallsexperiment π bestimmen, dies nennt man heute *Monte-Carlo Verfahren*:

$$\begin{aligned}
 \pi &= \frac{2 \cdot l}{d \cdot p} \\
 &= \frac{2l \cdot F(G)}{d \cdot F(A)} \\
 &= \frac{2l}{d} \cdot \frac{\text{Anzahl der geworfenen Nadeln}}{\text{Anzahl der Nadeln, die eine Parallelle kreuzen}}.
 \end{aligned}$$

Die Methodik zur Lösung des BUFFONSche Nadelproblems ist eine der ersten numerischen Methoden, die auf stochastischen Gesetzmäßigkeiten beruht. Heu-

te sind solche Verfahren unter der Bezeichnung **Monte–Carlo–Simulation** bekannt und bilden eine der zentralen Methoden des Operations Researchs.¹⁷

1805

Der Franzose JOSEPH MARIE JACQUARD (1752 – 1834) stellt in Lyon einen Webstuhl vor (siehe Abbildung [1.16]), der mit gelochten Pappkarten — den ersten Lochkarten — als Steuermedium arbeitet. Dies stellt quasi die erste externe Programmsteuerung in einer produktiven Maschine dar. Diese Steuerung erlaubt das Einprogrammieren komplizierter Webmuster.¹⁸

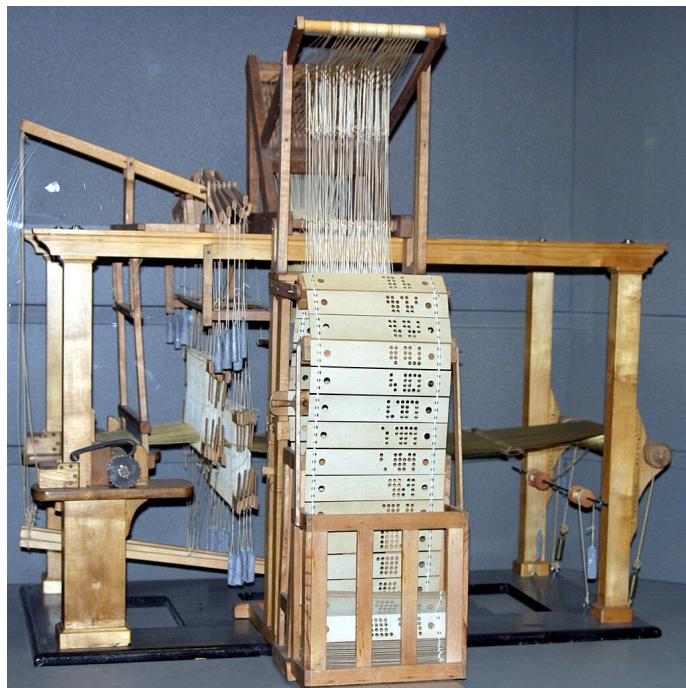


Abbildung 1.16: Ein JACQUARD Webstuhl.

1822

Der englische Mathematiker CHARLES BABBAGE (1791 – 1871) [199] stellt in Cambridge die Pläne seiner Maschine vor, die er

¹⁷Eine gute Einführung in die Thematik der Monte Carlo Methoden und die Herleitung der Lösung des Nadelproblems findet man in dem Buch von SHONKWILER und MENDIVIL [338].

¹⁸Eine ausführliche Darstellung dieser Thematik findet man in dem Buch von James Essinger [130].

Difference Engine no.1

nennt.¹⁹ Die Idee, eine Maschine zu konstruieren, die in der Lage ist, automatisch Rechnungen auszuführen, entwickelte BABBAGE aus der Notwendigkeit heraus, fehlerbehaftete von Hand berechnete Tabelle (nautische Tabellen für die Navigation auf See) auf Korrektheit zu überprüfen, [361, pp. 15]. Das Konzept der Difference Engine no. 1 wurde in den 1840er Jahren von ihm weiterentwickelt zu einer Difference Engine no. 2 (siehe Abbildung [1.18]), die in der Lage war, sieben Differenzen à 20 Dezimalstellen zu berechnen und darzustellen.²⁰

Die Pläne zu diesen beiden Rechenmaschinen kamen aber über das Entwurfstadium nicht hinaus, da die technischen Anforderungen für die damalige Zeit schlichtweg zu hoch waren. Die Feinmechanik war einfach noch nicht in der Lage, den von BABBAGE gestellten Anforderungen gerecht zu werden. Die Entwicklung der Difference Engine no.1 wurde durch öffentliche Mittel unterstützt, als

CHARLES BABBAGE wurde 1791 als Sohn eines Bankiers in London geboren. Er genoß eine vorzügliche Ausbildung, wuchs früh in die vielfältigen Verbindungen einer großbürgerlichen Umgebung hinein und entwickelte ein bedeutendes mathematisches Talent. All dies verschaffte ihm bereits in jungen Jahren eine erstklassische fachliche Reputation sowie eine glänzende gesellschaftliche Plattform für vielerlei Aktivitäten. In den Jahren 1827 bis 1839 war BABBAGE Lucasianischer Professor für Mathematik in Cambridge, das ist der Lehrstuhl, den ISAAC NEWTON einst innehatte.²¹ Allerdings hat BABBAGE nie in Cambridge gelehrt. Er galt in erster Linie als Mathematiker und Astronom. Zusammen mit Freunden — zu denen der Astronom HERSCHEL, die Mathematiker und Logiker DE MORGAN und GEORGE BOOLE zählten — reformierte er den Mathematikunterricht an den englischen Universitäten und beschäftigte sich — neben seinen großen Rechenmaschinenprojekten — mit vielen Fragen auf den unterschiedlichsten Gebieten: Er entwarf Meßinstrumente für die Augenheilkunde, entwickelte Taucherglocken, Dynamometer für Eisenbahnwagen, berechnete Betriebskosten für die britische Post und empfahl ihr, für Briefe entfernungsabhängiges Porto einzuführen (penny post), er verfasste ein Buch '*On the Economy of Machinery and Manufacturers*', womit er den Grundstock für die heutige Unternehmensforschung legte.

Als Hilfsmittel für langwierige und fehleranfällige astronomische Berechnungen,

¹⁹Siehe auch die Online Ausstellung des London Science Museums unter:

<http://www.sciencemuseum.org.uk/on-line/babbage>.

Im Kapitel 4 des Buchs *Information* von JAMES GLEICK [157] findet man Details über CHARLES BABBAGE.

²⁰Zur Funktionsweise einer Differenzenmaschine siehe den Artikel [360]. Siehe auch Kapitel 4 in dem Buch von JAMES GLEICK, [157]

²¹Bis vor kurzem (genauer 2009) war STEPHEN HAWKING Inhaber dieses prestigeträchtigen Lehrstuhls.

x	$x^2 + x + 41$	d_1	d_2
0	41		
1	43	2	
2	47	4	2
3	53	6	2
4	61	8	2
5	71	10	2
6	83	12	2
7	97	14	2
8	113	16	2
9	131	18	2

Tabelle 1.4: Berechnung des Polynoms $P(x) = x^2 + x + 41$ mit Hilfe der Differenzenmethode.

insbesondere zur Herstellung fehlerfreier Tafeln, entwickelte BABBAGE das Konzept der **Differenzenmaschine**.

Bevor wir versuchen zu verstehen, wie BABBAGES Differenzenmaschine arbeitet, ist es zweckmäßig, die damalige Bedeutung und Wichtigkeit von Funktionstabellen zu verstehen. Seit NEWTON und LEIBNIZ waren Mathematiker und Naturphilosophen bemüht, Tabellen zu erstellen. Entweder geschah dies mit Hilfe mathematischer Berechnungen, wodurch tabellarische Werke für Multiplikationen, Logarithmen, trigonometrische Funktionen etc. erstellt wurden²². Weitere Tabellen entstanden durch Messungen. Zum Beispiel sei hier die Luftdichte als Funktion der Höhe betrachtet oder die Gravitationskonstante an unterschiedlichen Stellen der Erde. Für die damalige Zeit waren es genau solche Tabellen, mit denen die Wissenschaftler ihre Ergebnisse dokumentierten, so dass andere davon profitieren konnten.

Werden nun manuell solche Tabellen erstellt — z.B. eine Tabelle mit den 10er Logarithmen — dann schleichen sich unweigerlich Fehler ein. Um nun einen Eindruck zu erhalten, mit welchen Methoden damals verfahren wurde, betrachten wir folgendes Polynom, das auch von BABBAGE betrachtet wurde:

$$P(x) = x^2 + x + 41$$

für ganze Werte $x = 0, 1, 2, \dots$. In der Tabelle 1.4 sind die Werte aufgelistet, weiterhin erkennt man zwei weitere Spalten d_1 und d_2 . Ein kurzer Blick auf die Spalte d_1 zeigt, dass sich deren Werte aus der Differenz der aufeinanderfolgenden P -Werte ergeben. Die Werte der Spalte d_2 sind die Differenzen der aufeinanderfolgenden d_1 – Werte und im aktuellen Beispiel des Polynoms $P = x^2 + x + 41$ ist dies konstant 2. Da alle Einträge in der Spalte d_2 den gleichen Wert haben, kann diese Tabelle beliebig weitergeführt werden, ohne eine einzige Multiplika-

²²Es sei angemerkt, damals gab es noch keine Taschenrechner!

tion auszuführen. Dazu berechnet man das Polynom $x^2 + x + 41$ für $x = 10$:

$$\begin{aligned} P(10) &= P(9) + d_1^9 + 2 \\ &= 131 + 18 + 2 \\ &= 151 \end{aligned}$$

In der Mathematik gibt es nun einen bemerkenswerten Satz von Weierstrass, dass nämlich jede stetige Funktion auf einem Intervall durch ein Polynom beliebig genau approximiert werden kann. Jede mathematische und physikalische Funktion kann daher durch ein Polynom der Form

$$P_n(x) = \sum_{k=0}^n a_k x^k$$

angenähert beschrieben werden. Weiterhin können nun sämtliche Polynome durch die oben beschriebene Differenzenmethode berechnet werden. In diesem Beispiel haben wir ein Polynom 2. Grades betrachtet und gefunden, dass d_2 den konstanten Wert 2 hat. Für ein Polynom n-ten Grades ist der Koeffizient in der Spalte d_n konstant. BABBAGES Difference Engine war dafür konstruiert, Polynome der Form

$$P_6(x) = a_6 x^6 + a_5 x^5 + a_4 x^4 + a_3 x^3 + a_2 x^2 + a_1 x + a_0$$

zu berechnen. Diese Maschine war also dafür konstruiert, die Koeffizienten d_1, d_2, \dots, d_6 zu berechnen.

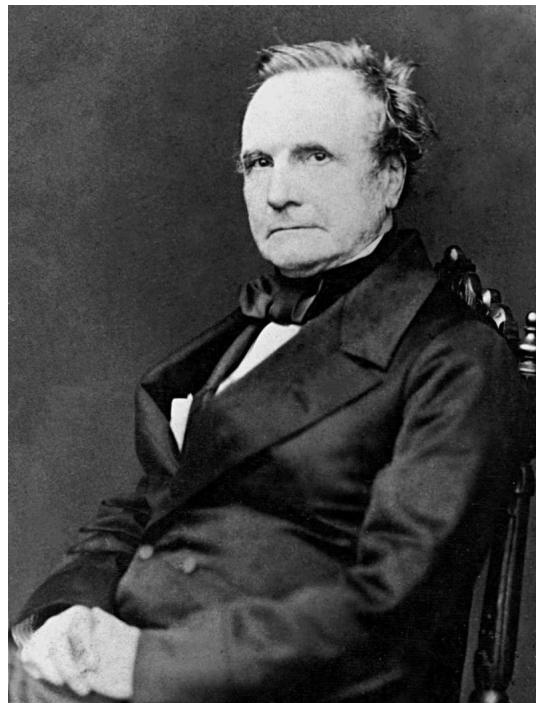


Abbildung 1.17: CHARLES BABBAGE.

1833

Das gleiche Schicksal wie die Difference Engine no.1 ereilte die

Analytical Engine,

die erste digitale Rechenmaschine, die von CHARLES BABBAGE im Jahre 1833 konzipiert wurde. Die Analytische Maschine sollte die Schwächen der Differenzmaschine überwinden. Im Gegensatz zu ihrer Vorgängerin war sie für beliebige Berechnungsaufgaben angelegt und glich in ihrer Grundstruktur bemerkenswert einem heutigen Computer.

Diese Rechenmaschine enthielt bereits sämtliche Komponenten, die man in heutigen Computern vorfindet. Zudem verfolgte BABBAGE sehr ehrgeizige Pläne, seine Rechenmaschine sollte aus folgenden Bestandteilen aufgebaut sein:²³

²³Siehe u.a. [361], pp. 105.

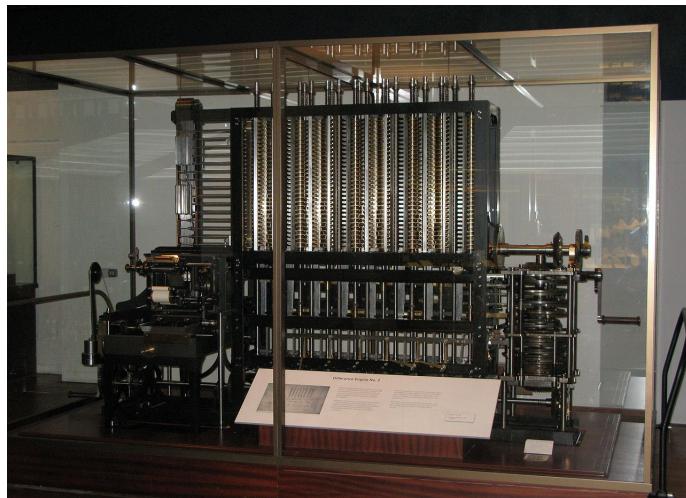


Abbildung 1.18: Eine Rekonstruktion der Difference Engine No. 2. Dieser Nachbau steht im London Science Museum, konstruiert nach dem Design von CHARLES BABBAGE.

- Eine Einheit, die für die Durchführung der arithmetischen Rechenoperationen zuständig ist, BABBAGE nannte diese Einheit *the mill*.
- Einen separate Einheit zur Zwischenspeicherung von Zahlen, die 1.000 Dezimalzahlen zu 50 Stellen speichern konnte.
- Eine Steuereinheit, die für die sukzessive Steuerung des gesamten Programmablaufs zuständig ist.
- Zusätzliche Geräte für die Ein- und Ausgabe der Daten.

Als Rechenwerk sollte die Differenzenmaschine dienen und als Programmspeicher sollten das JACQUARDSche Lochkartenprinzip eingesetzt werden.

Die Analytische Maschine sollte addieren, subtrahieren, multiplizieren und dividieren können und das in beliebiger, durch eine Folge von Anweisungen (*i.e.* ein Programm) vorgegebener Reihenfolge. Die Maschine sollte Teile des Programms wiederholen, indem sie von einer Stelle der Befehlsfolge zu einer früher gelegenen zurückging oder auch nicht, je nachdem, ob eine vom bisherigen Ablauf des Programms abhängige Bedingung erfüllt war oder nicht. Dieses Konzept der *bedingten Verzweigung* ist bis heute von zentraler Bedeutung in der Informatik.

CHARLES BABBAGE war seiner Zeit einfach 100 (– 200) Jahre voraus, denn erst im Jahre 1991 — rechtzeitig zu BABBAGES 200. Geburtstag — wurde ein Nachbau der Difference-Engine no. 2 im Science Museum, London, fertiggestellt

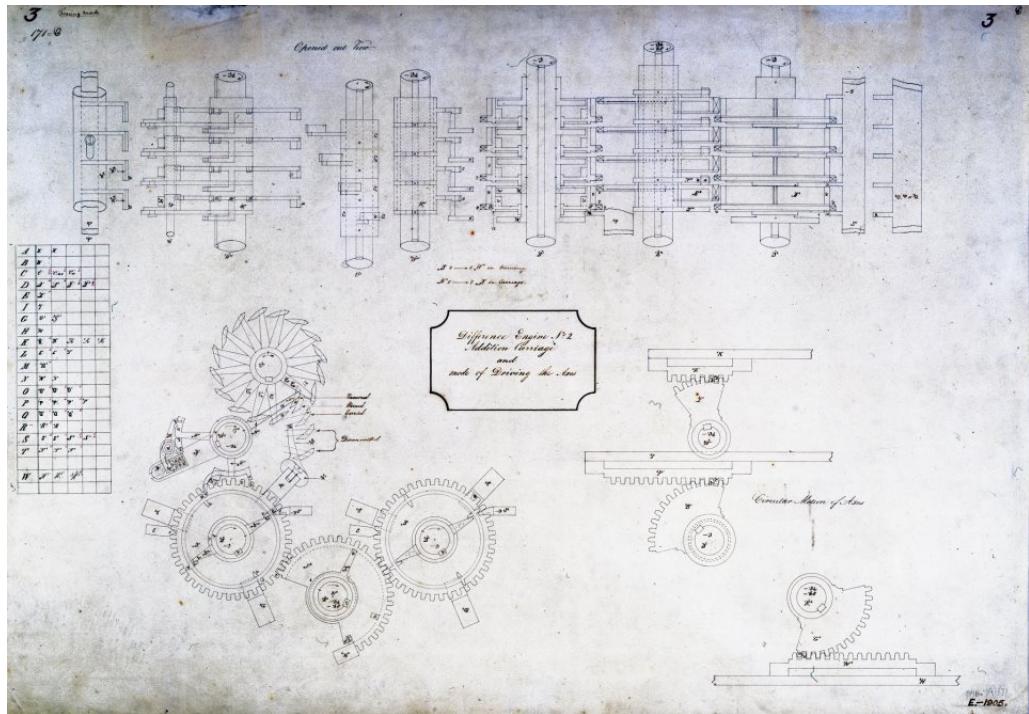


Abbildung 1.19: Pläne der Analytical Engine I.

[360].²⁴ Dieser originalgetreue Nachbau bestätigt auf eindrucksvolle Weise die Genialität BABBAGES, der zu Lebzeiten als "crackpot" (dies bedeutet soviel wie Narr) angesehen war.²⁵

Weiterhin machte sich CHARLES BABBAGE einen Namen als Kryptoanalytiker, da es ihm im Jahre 1854 als ersten gelang, die sogenannte *Vigenére-Verschlüsselung* zu knacken [343].

1835

Eine Frau, die BABBAGES Genie bereits frühzeitig erkannte [216], war **Augusta Ada Countess of Lovelace** (1815 — 1852), die im Jahre 1840 das erste Programm für die Analytical Engine schrieb.²⁶ Dieses Programm sollte die

²⁴Siehe dazu auch DORON SWADES Schilderungen in [361], Chapters 12 – 18.

²⁵Im Oktober 2010 hat der Science Blogger und Programmierer JOHN GRAHAM-CUMMING über YouTube eine Kampagne gestartet, deren Ziel es ist, Geldgeber für den Nachbau der Analytical Engine zu finden. Es sind bis Februar 2011 etwa 50.000 Geldgeber notwendig, die jeweils 10 Dollar/Euro zur Verfügung stellen, damit das Projekt gestartet werden kann.

²⁶Siehe dazu auch die Darstellung in dem Buch von JAMES GLEICK [157], Kapitel 4.

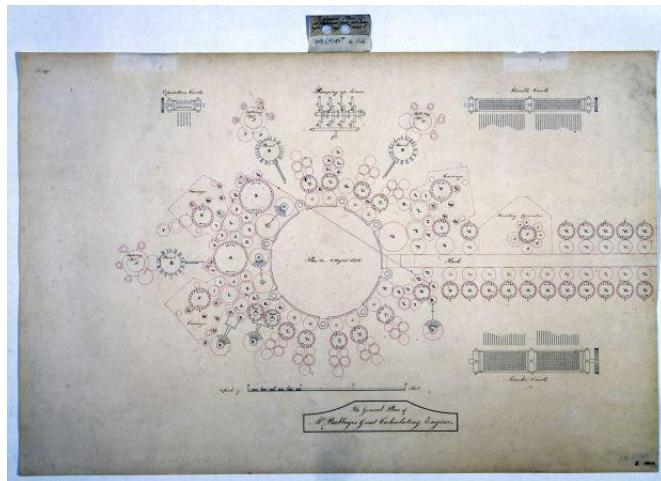


Abbildung 1.20: Pläne der Analytical Engine I.

BERNOULLISchen Zahlen berechnen.²⁷ Eine in den späten siebzigern Jahren dieses Jahrhunderts entwickelte Programmiersprache namens ADA ist nach dieser Countess benannt.

²⁷Zur Erinnerung, dies sind die Zahlen B_k , die sich aus der Reihe

$$1 + \frac{1}{2^{2k}} + \frac{1}{3^{2k}} = \frac{\pi^{2k} 2^{2k-1}}{(2k)!} B_k$$

ergeben. Siehe dazu auch [212], Chap. 25.5.



Abbildung 1.21: Augusta Ada Countess of Lovelace.

1843

Im Jahre 1843 bewilligte der amerikanische Kongress Gelder zum Bau einer 60 km langen Telegrafenleitung zwischen Baltimore, Maryland und Washington. Initiiert wurde dieses Projekt von SAMUEL MORSE. Am 24. Mai 1844 wurde die erste Nachricht im MORSE-Code übertragen.. Der MORSE-Code bildet die 26 Buchstaben des Alphabets und die 10 Ziffern ab auf Kombinationen von kurzen und langen elektrischen Pulsen. Man nennt eine solche Umwandlung von Symbolen eine **Codierung**.²⁸

1847

Im Jahre 1847 veröffentlichte der englische Logiker und Mathematiker **George Boole** (1815 – 1864) eine Schrift mit dem Titel

²⁸Siehe CHRIS BERNHARDT, [35] pp. 9 – 11.

Mathematical Analysis of Logic

(siehe auch [48],[202], insbesondere [100] und [220]), in welcher die mathematische Behandlung von unterschiedlichen Aussageverknüpfungen entwickelt werden, die mit den beiden Begriffen "wahr" und "falsch" in Relation stehen. In der modernen Mathematik trägt diese Disziplin den Namen *Boolesche Algebra*. Diese Disziplin stellt den theoretischen Hintergrund dar für den logischen Schaltungsaufbau in den heutigen Computern. Eine ausführliche und sehr gut lesbare Diskussion der BOOLESchen Algebra findet man in [167].²⁹

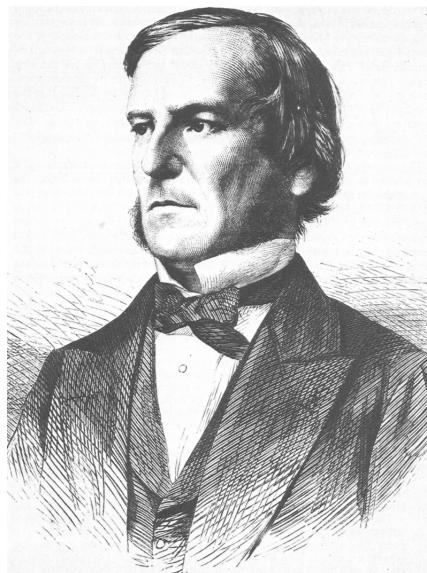


Abbildung 1.22: GEORGE BOOLE (1815 – 1864).

1866

Nach mehreren gescheiterten Versuchen gelang es im Sommer 1866 erstmals eine transatlantische Kabelverbindung zwischen Irland und Neufundland zu verlegen. Das Tiefseekabel hatte eine Länge von 3430 Kilometern.³⁰

1879

²⁹Siehe auch [101], Chapter 2.

³⁰Zur Geschichte der Transatlantik Kommunikation siehe das Buch von ARTHUR C. CLARKE [75] und den Artikel [301].

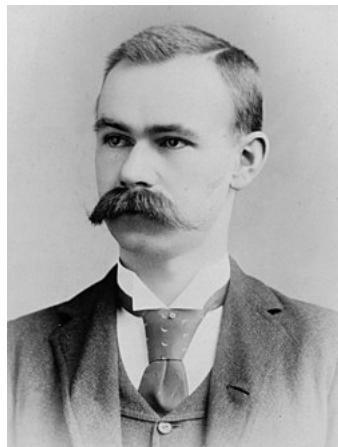


Abbildung 1.23: HERMANN HOLLERITH (1860 – 1929).

Der Saloon-Besitzer JAMES RITTY aus Dayton, Ohio, erfindet die Registrierkasse, um den Diebstahl von Bargeld durch sein Personal zu reduzieren. Der innovative Aspekt dieser Erfindung war die Bargeldschublade der Kasse, die sich nur zu einem festgelegten Zeitpunkt öffnete, und dabei das charakteristische Klingelzeichen hörbar wurde.³¹ Von RITTY stammt auch die Idee, Preise wie 5.95 \$ zu erheben, damit die Kassiererinnen gezwungen werden, Wechselgeld zurückzugeben, und daher die Registrierkasse zu benutzen [381, p. 46]. JAMES RITTY erhielt 1883 zusammen mit JOHN BIRCH das Patent auf Registrierkassen. Seine neu gegründete Firma zur Herstellung von Regstrierkassen wurde 1884 von JOHN PATTERSON gekauft, der dieses Unternehmen in **National Cash Register Corporation**, kurz, **NCR** umfirmierte.³²

1890

Einen Meilenstein [12], [160] in der erfolgreichen Anwendung der Lochkarten-technik auf die Lösung arithmetischer Probleme stellt das Jahr 1890 dar. Gemäß der amerikanischen Verfassung ist im Land der unbegrenzten Möglichkeiten alle zehn Jahre eine Volkszählung durchzuführen. Mit den bis dato bestehenden manuellen Auszählungsverfahren war zu erwarten, dass die Ergebnisse der Volkszählung von 1880 erst kurz vor 1890 zur Verfügung stehen würden — ein unhaltbarer Zustand. Dies veranlaßte den Statistiker **Herman Hollerith** (1860 – 1929) — Sohn deutscher³³ Einwanderer — sich eine Methode auszudenken, die anfallenden Datenmengen mittels elektromechanischer Sortier- und Zählmaschinen zu bewältigen. Das in den 1880er Jahren von HOLLERITH entwickelte System beruhte auf **Lochkarten**, die von einer Maschine gelesen werden konnten. Da-

³¹Dieses Geräusch kennt man auch von Pink Floyds *Money*.

³²Siehe auch CORTADA, [95], Chap. 4.

³³Genauer: pfälzischer

bei waren die Karten selbst elektrische Nichteiter, die als Isolatoren fungierten, wenn sie zwischen elektrischen Kontakten durchgeführt wurden. Nur durch die eingestanzten Löcher konnte Strom fließen. Damit wurden die in Form eines Lochmusters auf die Karten eingestanzten Informationen in elektrische Ströme übersetzt.³⁴

HOLLERITHS Verfahren war ein durchschlagender Erfolg [202, pp. 180–185] für die Volkszählungen in den USA von 1890 und 1900. In den 1890er Jahren konnte HOLLERITH seine Tabulatormaschinen auch in Österreich, Deutschland, Italien und in Russland verkaufen. Daher ist es nicht verwunderlich, dass sich HERMAN HOLLERITH im Jahre 1896 selbstständig machte und die *Tabulating Machine Company* gründete.

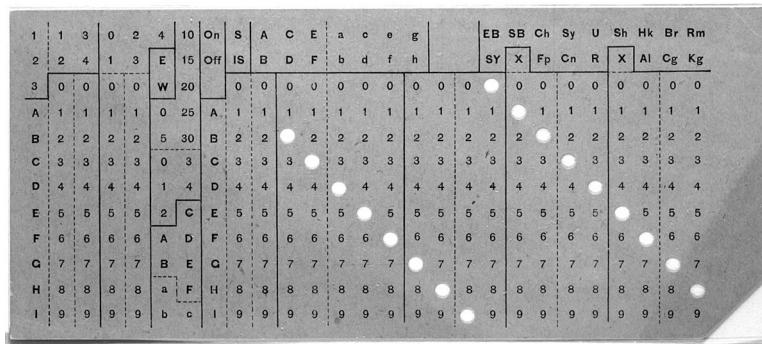


Abbildung 1.24: Eine HOLLERITH Lochkarte.

1900

Auf dem zweiten Internationalen Mathematikerkongress in Paris stellt der Göttinger Mathematiker DAVID HILBERT eine Liste mit 23 offenen Problemen vor, die die Mathematiker im kommenden Jahrhundert lösen sollten [187], [395].³⁵ Für die Entwicklung des Computers war insbesondere das zehnte Problem wegweisend, das in den 1930er Jahren gelöst wurde.³⁶

³⁴Eine detaillierte Darstellung der Entwicklung der Lochkartentechnik findet man in GRIER [165]. Eine sehr detaillierte Darstellung des Vitas von HERMAN HOLLERITH findet man in der sehr lesenswerten Biographie von GEOFFREY AUSTRIAN [15].

³⁵DAVID HILBERT hatte weiterhin die Präzisierung der Formulierung der Mathematik zum Ziel, dieses Programm wird in [341] dargestellt.

³⁶Siehe dazu das Buch von BENJAMIN YANDELL, [395] pp. 85ff. Die Thematik wird auch in dem Buch von AENEAS ROOCH [314], Kapitel 13 untersucht. In [315] findet man in Abschnitt 5.3.3 einen mathematischen Überblick dieses Themenkreises.



Abbildung 1.25: Eine HOLLERITH Maschine. Auf dem Tisch rechts ein Lochkartenleser, gekoppelt mit senkrecht montierten runden Zählwerken (die frühe Tabelliermaschine), neben dem Tisch rechts die damit verbundenen Kästen des Lochkartensortierers, auf dem Tisch links der Pantographlocher als Lochkartenlocher.

1901

Die erste Radionachricht wird im MORSE–Code über den Atlantik übertragen.

1906

Der amerikanische Radiotechniker LEE DE FOREST (1873 — 1961) und der österreichische Physiker R. VON LIEBEN (1878 — 1913) entwickeln unabhängig von einander die Triode. Eine Triode ist eine Elektronenröhre (Vakuumsröhre) mit drei Anschlüssen, die man zur Steuerung und Verstärkung von Strömen oder Spannungen benutzt. Solche Röhren wurden zunächst in der Radiotechnologie als Verstärker verwendet. In den 1940er Jahren wurden Trioden auch als Bauteile der ersten elektronischen Rechner verwendet.

Dies ist dadurch möglich, dass Triodenröhren auch als Schalter verwendet werden können. Eine Triodenröhre ist eine Glaskugel — siehe Abbildung [1.26], in deren Inneren ein Hochvakuum herrscht. Weiterhin sind in dieser Elektronenröhre mehrere Funktionseinheiten integriert. Die Trioden verfügen über eine Glühkathode, die durch einen Glühdraht erhitzt wird. Dies hat den Effekt, dass

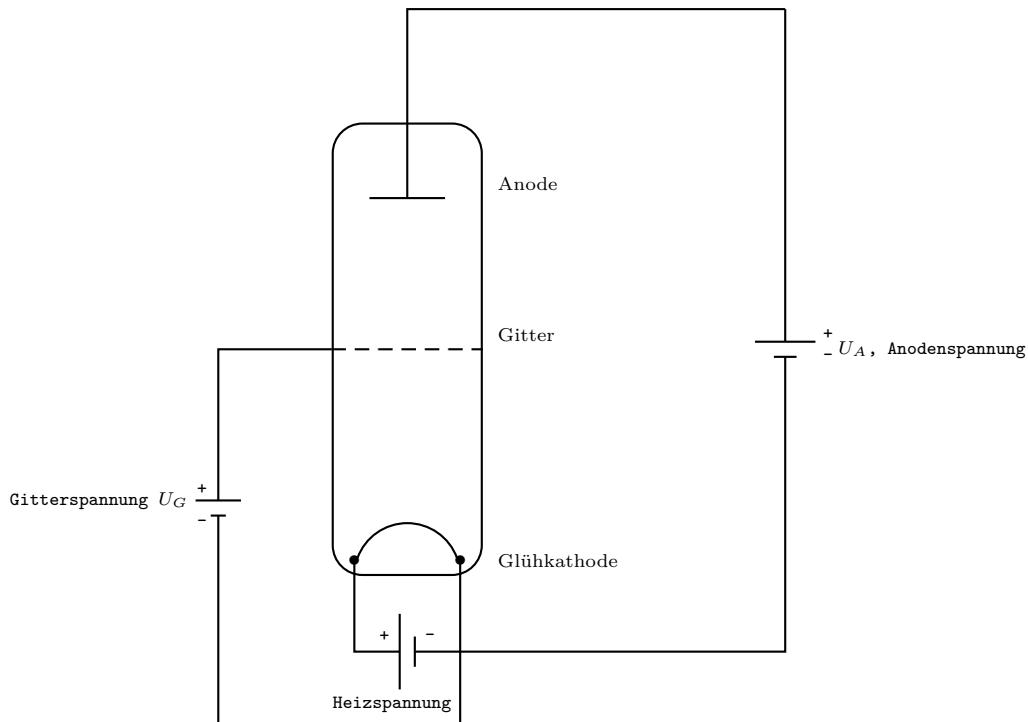


Abbildung 1.26: Schema einer Triodenröhre

die Glühkathode Elektronen freisetzt, die sich aufgrund des Hochvakuums im Inneren der Röhre bewegen können. Eine zweite Funktionseinheit ist eine flache Metallplattenelektrode (Anode), die positiv geladen ist. Die Elektronen werden dadurch von der Anode angezogen, daher fließt ein Strom durch die Elektronenröhre, dies ist der *Anodenstrom*. Zwischen der Glühkathode und der Anode befindet sich ein Gitter aus einem Drahtgeflecht, mit dem der Anodenstrom gesteuert werden kann. Ist das Gitter positiv geladen, werden die Elektronen zusätzlich angezogen, damit wird der Strom zwischen der Glühkathode und der Anode verstärkt, *i.e.* die Triode arbeitet als Verstärker. Wird dagegen das Gitter negativ geladen, werden die aus der Glühkathode emittierten Elektronen abgestoßen. Dadurch wird der Anodenstrom unterbrochen. Damit realisiert eine Triode einen Schalter, der den Anodenstrom ein- und ausschalten kann.

1910 – 1913

Das fundamentale dreibändige Werk *Principia Mathematica* über die Grundlagen der Mathematik von BERTRAND RUSSELL und ALFRED NORTH WHITHEAD erscheint. Die Principia Mathematica stellt den ambitionierten Versuch

dar, alle mathematischen Wahrheiten aus einem wohldefinierten Satz von Axiomen und Schlussregeln herzuleiten. Auf mehreren Hundert Seiten wird zunächst ein Repertoire aus Begriffen und Symbolen dargelegt, welches das Fundament zur späteren Herleitung der Arithmetik bildet. Die rigorose Herleitung der Mathematik aus der Logik sollte einige bis dahin verbreitete Anschauungen über das Wesen mathematischer Erkenntnisse widerlegen.³⁷

1924

Die *International Business Machines Corporation* (IBM) wird Nachfolger der *Tabulating Machine Company*.

Die Lochkarte (engl.: *punched card*) blieb bis zu ihrer Ersetzung durch Magnet-schichtträger in den 1970er Jahren der wichtigste Datenspeicher.

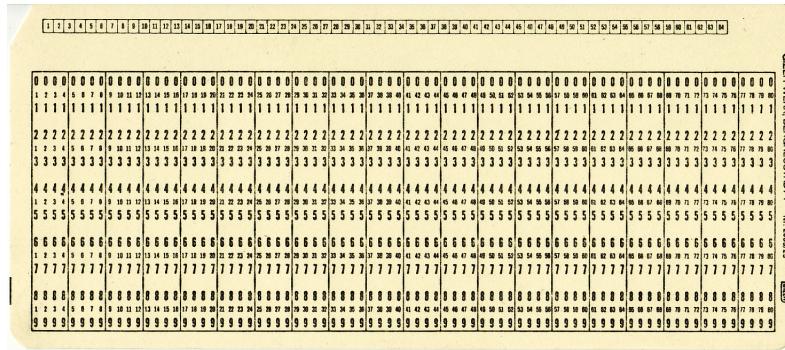


Abbildung 1.27: Die IBM Standard Lochkarte, um etwa 1960.

Die Lochkarten hatten ein Standardformat, ab 1928 verwendete IBM ein Format von 187×86 mm. Die Karte hat 80 Spalten, die jeweils aus 12 rechteckigen Bereichen (den Zeilen) besteht, die gelocht werden konnten. Das Schema solch einer Lochkarte ist in der Abbildung [1.28] dargestellt. Die Bereiche (*i.e.* Zeilen) heißen X,Y,0,1,2,3,4,5,6,7,8,9. Die Lochung einer Spalte kann eine Ziffer darstellen, indem einfach der entsprechende Bereich ausgestanzt wird. In der Abbildung [1.29] stehen die Stanzungen für die Zahlen 1 (erste Spalte), 2 (zweite Spalte) und 3 (dritte Spalte).

³⁷Siehe dazu den Eintrag in der *Stanford Encyclopedia of Philosophy*:

<https://plato.stanford.edu/entries/principia-mathematica/>.

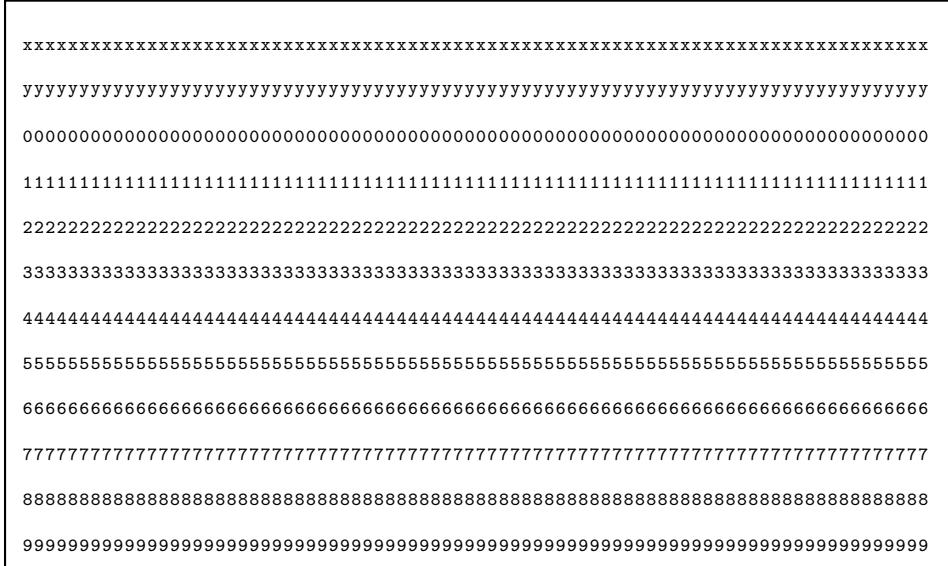


Abbildung 1.28: Schema einer IBM Lochkarte mit 80 Spalten und 12 Zeilen.

Die 26 Buchstaben werden durch die Stanzung von zwei Löchern pro Spalte dargestellt. Das Lochpaar X und 1 steht für A, X und 2 für B usw. bis X und 9 für I; das Paar Y und 1 für J, Y und 2 für K bis Y und 9 für R, schließlich 0 und 2 für S bis 0 und 9 für Z.

1925

Die Western Electric Research Laboratories und einige Abteilungen der American Telephone & Telegraph Company (AT&T) werden zu den **Bell Laboratories** — oder kurz Bell Labs — als eigenständige Forschungseinrichtung zusammengefasst.³⁸ Sitz des Labs war zunächst New York City, später wurden viele Abteilungen nach Murry Hill, New Jersey, ausgelagert. In den Bell Labs wurden viele Entwicklungen durchgeführt, die unter anderem für die Informationstechnologie richtungsweisend waren. Für Arbeiten in den Bell Labs wurden neun Nobel Preise sowie vier Turing Awards verliehen [215]. Hier einige Entwicklungen:³⁹

³⁸Siehe auch den Review Artikel von JULIA GEORGESCU, [153].

³⁹Eine detaillierte Darstellung der Geschichte der Bell Labs findet man in dem Buch von SIEHE AUCH DEN REVIEW ARTIKEL VON JULIA GEORGESCU, [1955].

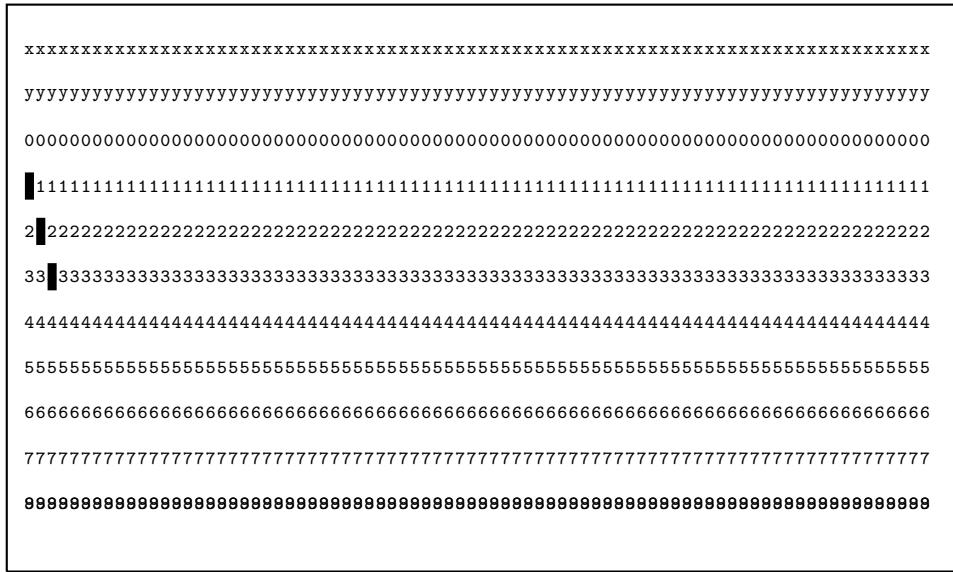


Abbildung 1.29: Codierung der Zahlen 1,2 und 3 mit Lochkarten.

1926 Nachweis der Diffraktion von Elektronen an Kristallen durch CLINTON DAVISSON und LESTER GERMER. DAVISSON erhielt dafür 1937 den Nobelpreis für Physik.

1932 entdeckte KARL JANSKY, dass aus der Mitte unserer Galaxie Radiowellen emittiert wurden, während er nach den Ursachen des Rauschens bei Langstrecken–Funkverbindungen forschte — dies war der Beginn der Radioastronomie.

1940 führte GEORGE STIBITZ den von ihm bei den Bell Labs entwickelten Complex Number Calculator, eine elektrische Relais–basierte Rechenmaschine für komplexe Zahlen ferngesteuert über eine Telefonleitung von einer Tagung der American Mathematical Society vor.

1947 Der erste Bipolartransistor wurde in der von JOHN R. PIERCE geführten Forschungsgruppe in den Bell Laboratories gebaut und von ihm so getauft. Die Wissenschaftler JOHN BARDEEN, WILLIAM BRADFORD SHOCKLEY,

JON GERTNER, [154].

und WALTER Houser Brattain erhielten dafür den Physik–Nobelpreis von 1956.

- 1948 CLAUDE E. SHANNON, Mathematiker an den Bell Labs, veröffentlichte *Die mathematische Theorie der Kommunikation* im Bell System Technical Journal, wobei er sich auf frühere Erkenntnisse der Bell Labs Mitarbeiter HARRY NYQUIST und RALPH HARTLEY auf dem Gebiet der Informationstheorie stützte.
- 1953 DARYL CHAPIN, CALVIN FULLER und GERALD PEARSON entwickelten 1953 (1954 veröffentlicht) und produzierten an den Bell Labs die ersten technisch interessanten Silizium–Solarzellen mit über 4 % Wirkungsgrad. Sie bauten dabei auf vielen neuen Entwicklungen der vergangenen Jahre auf.
- 1957 entwickelte MAX V. MATHEWS die erste Version seines MUSIC–N–Programms zur Komposition von Computermusik.
- 1960 Nur knapp ein halbes Jahr nach dem ersten Laser von THEODORE Maiman stellt die Arbeitsgruppe von ALI JAVAN den Helium–Neon–Laser vor, es ist der erste Gaslaser.
- 1964 entdeckten ARNO PENZIAS und ROBERT WOODROW WILSON den kosmischen Mikrowellenhintergrund, der von GEORGE GAMOW als ein Überbleibsel der heißen Frühphase des Universums vorhergesagt worden war. PENZIAS und WILSON erhielten dafür 1978 den Nobelpreis in Physik.
- 1964 CHANDRA KUMAR N. PATEL entwickelt mit dem Kohlendioxidlaser eine Laserstrahlquelle mit hoher Leistung und hohem Wirkungsgrad.
- 1966 R.W. CHANG entwickelte und patentierte das *Orthogonal Frequency Division Multiplexing* – Verfahren (OFDM), eine Schlüsseltechnologie für drahtlose Kommunikationsverfahren.
- 1969 entwickelten WILLARD BOYLE und GEORGE E. SMITH den CCD–Sensor, der heute vor allem in Digitalkameras Verwendung findet. Sie erhielten dafür 2009 ebenfalls den Nobelpreis in Physik.
- 1970 Die Bell Labs gründen das *Computing Science Research Center* [215, p. 8].

Wichtige Entwicklungen im Computing Science Research Center waren unter anderem das Unix Betriebssystem und die Programmiersprache C,⁴⁰ entwickelt von DENNIS RITCHIE und KEN THOMPSON in den frühen 1970ern, sowie dessen objektorientierter Erweiterung C++ von BJARNE STROUSTRUP in den 1980ern. Auch die statistische Programmiersprache S hat ihren Ursprung an den Bell Labs.

⁴⁰Siehe dazu das Buch von BRIAN KERNIGHAN [215].

Im Computing Science Research Center wurden im Laufe der 1970er und 80er Jahre eine Reihe wichtiger Werkzeuge unter UNIX entwickelt, *e.g.* Yacc, Lex, Make, grep, reguläre Ausdrücke, verschiedene Shells, AWK, sowie Programme, mit denen man (wissenschaftliche) Dokumente — insbesondere Patentschriften — erstellen konnte. Dazu zählen Programme wie **troff** oder **Eqn**.

Insbesondere die entwickelten Werkzeuge zur Erstellung von Dokumenten mit professionellem Layout führten dazu, dass an den Bell Labs in den 1970er und 1980er Jahren eine Vielzahl von einflussreichen Lehrbüchern publiziert wurden, die Generationen von Informatik Studenten prägten, unter anderem:

- ALFRED V. AHO *Principles of Compiler Design* zusammen mit JEFFREY ULLMAN (1977).⁴¹
- ALFRED V. AHO, JOHN E. HOPCROFT und JEFFREY ULLMAN *Data Structures and Algorithms*.
- MIKE R. GAREY und DAVID S. JOHNSON *Computers and Intractability*, [150].

1994 PETER SHOR entwickelt einen wichtigen Algorithmus für Quantencomputer, der es ermöglicht, eine (große) ganze Zahl effektiv in ihre Primfaktoren zu zerlegen.

1996 LOV GROVER zeigt erstmals — anhand eines Datenbank–Suchalgorithmus — dass Quantencomputer schneller sind als klassische Computer.

AT & T verlor im Jahre 1982 ihr Monopol über den US–Telekommunikationsmarkt und wurde umstrukturiert. Dadurch ging auch die Finanzierung der R&D Abteilung zurück, im Jahre 2008 arbeiteten nur noch eine Handvoll Wissenschaftler in den Bell Labs. Im Jahre 2016 erwarb Nokia die Firma Alcatel–Lucent, den Mutterkonzern der Bell Labs zu der damaligen Zeit. Daher firmieren die Bell Labs heute unter dem neuen Namen Nokia Bell Labs.

1928

Die Brüder PAUL und JOSEPH GALVIN gründen in Chicago die *Galvin Manufacturing Corporation*, die im Jahre 1930 in **Motorola**⁴² umfirmiert wurde [277, Chap. 7.4].

Der polnische Chiffrierdienst fing am 15. Juli 1928 erstmals einen mit der Enigma Chiffriermaschine verschlüsselten Funkspruch ab [22, p. 110].

1930

⁴¹Dieses Buch hat auch den Titel *Dragon Book*. Die deutsche Übersetzung erschien im Oldenbourg Verlag [3].

⁴²Siehe die URL: <http://www.motorola.com>.

Der österreichische Mathematiker KARL MENGER formuliert in einem Kolloquium in Wien das folgende Optimierungsproblem:⁴³

Wir bezeichnen als Botenproblem (weil diese Frage in der Praxis von jedem Postboten, übrigens auch von vielen Reisenden zu lösen ist) die Aufgabe, für endlich viele Punkte, deren paarweise Abstände bekannt sind, den kürzesten die Punkte verbindenden Weg zu finden.

Bald darauf wurde der Name *Botenproblem* durch die heute übliche Bezeichnung *Traveling Salesman Problem* (TSP) ersetzt. In den 1950er Jahren hat sich das TSP zu einem der meist untersuchten Probleme entwickelt [11].

1931

Der österreichische Logiker KURT GÖDEL veröffentlicht eine Arbeit mit dem Titel [159]:

Über formal unentscheidbare Sätze der Principia Mathematica und verwandter Systeme I.

In dieser Arbeit beweist KURT GÖDEL die sogenannten **Unvollständigkeitssätze**. Der erste Unvollständigkeitssatz besagt, dass es in allen hinreichend starken widerspruchsfreien logischen formalen Systemen unbeweisbare Aussagen gibt. Der zweite Unvollständigkeitssatz besagt, dass hinreichend starke widerspruchsfreie Systeme ihre eigene Widerspruchsfreiheit nicht beweisen können.⁴⁴

Durch diese Sätze ist der Mathematik eine prinzipielle Grenze gesetzt: Nicht jeder mathematische Satz kann aus den Axiomen eines mathematischen Teilgebietes (zum Beispiel Arithmetik, Geometrie und Algebra) formal abgeleitet oder widerlegt werden.

⁴³Siehe [86], pp. 36.

⁴⁴Siehe dazu [298].

Kapitel 2

Die moderne Entwicklung der EDV

Die bisherige geschichtliche Entwicklung von Rechenmaschinen nimmt keinen Bezug auf das Konzept irgendwelcher logischer Schaltungen. Diese frühen Rechenmaschinen arbeiteten nach mechanischen Prinzipien mit Zahnrädern, Walzen und Staffelwalzen. Mit der fortschreitenden technischen Entwicklung der Telegraphie und Telekommunikationstechnik Anfang dieses Jahrhunderts änderte sich auch das "Innenleben" der Rechenmaschinen. Mit anderen Worten, die Räder, Walzen, Stangen usw. der frühen Rechenautomaten wurden durch andere Bauteile ersetzt. Zunächst waren dies elektromagnetische Schalter, die sogenannten Relais. Man nennt diese Art von Computern, die entweder auf mechanischen oder elektromechanischen Bauteilen basieren, auch

Computer der 0ten Generation

Der nächste Entwicklungsschritt bestand in dem Einsatz von Vakuumröhren als Schaltelemente. Diese Röhrentechnologie fand auch in Radiogeräten Verwendung. Nach dem zweiten Weltkrieg kam die Transistorstechnologie auf, die ihren Einzug natürlich auch in die Welt der Computer hielt. Der neuste Schrei ist die Mikrochip-Technologie, die seit Anfang der siebziger Jahre das Innenleben der Computer bestimmt. Die heutigen Computer sind auf der Technologie der hochintegrierten Mikrochips aufgebaut. Diese Technologie ermöglicht es, einige hunderttausend Schaltelemente auf einem einzigen Baustein zusammenzufassen.

Entsprechend dieser technologischen Entwicklung unterscheidet man Computer der nullten bis vierten Generation. Diese Einteilung der Computer in Generationen ist nicht ganz strikt auf Jahreszahlen abgrenzbar, da die Grenzen natürlich fließend sind. Manche Autoren unterteilen den letzten Zeitabschnitt nochmals in

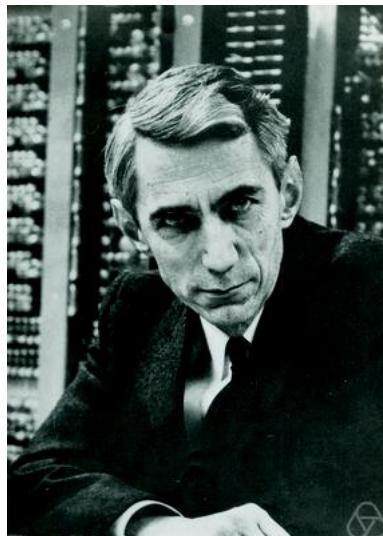


Abbildung 2.1: CLAUDE E. SHANNON

Generation	Dauer (ca.)	Technik	Ops/sec
0	– 1944	Relais, Mechanik	
1	1945 - 1954	Röhren	40.000
2	1955 - 1964	Transistor	200.000
3	1964 - 1970	Chip	1.000.000
4	ab 1971	Hochintegrierte Chips	10 - 100.000.000

Tabelle 2.1: Charakteristika der Computergenerationen.

4. und 5. Generation, wobei das Unterscheidungskriterium die Packungsdichte der Transistoren auf den Chips ist. So unterteilt man die Chiptechnologie in

- Small Scale Integration (SSI) mit 5 - 50 Transistoren pro Chip
- Medium Scale Integration (MSI) mit 50 - 500 Transistoren pro Chip
- Large Scale Integration (LSI) mit 500 - 5.000 Transistoren pro Chip
- Very Large Scale Integration (VLSI) mit mehr als 5.000 Transistoren pro Chip

Die Entwicklung dieser Computergenerationen wollen wir uns nun kurz ansehen.

In den Jahren zwischen BABBAGES Analytischer Maschine und dem Zweiten Weltkrieg — letzterer Zeitpunkt markiert den Beginn der modernen Entwicklung digitaler Rechenmaschinen — stagnierte die Entwicklung von Rechenmaschinen nicht, sondern lief eher in eine andere Richtung, nämlich Fortschritte in

der Konstruktion *analoger Rechenmaschinen*. Auf diese Aspekte wollen wir hier nicht eingehen, siehe dazu [160].

2.1 Zeitalter der Rechner der 0. Generation

Die Computer der 0ten Generation basierten auf mechanischen oder auch elektromechanischen Bauteilen, wie zum Beispiel Relais.

1938

Claude E. Shannon (1916 – 2001) (siehe Abbildung [2.1]) entdeckt am MIT und den Bell Labs den engen Zusammenhang zwischen der zweiwertigen Logik (BOOLESche Algebra) und elektrischen Schaltkreisen mit Relais, die genau zwei Zustände kennen.¹ SHANNONS Entdeckung stellt einen gewaltigen Durchbruch dar, denn bis dato konnten elektromechanische Systeme Informationen verbreiten und empfangen, aber nicht nach diesen Informationen handeln oder gar diese anwenden.²

1936 – 1937

Der englische Logiker und Mathematiker Alan Turing (1912 – 1954) veröffentlicht in Cambridge eine Abhandlung mit dem Titel ([368])

On Computable Numbers with an Application to the Entscheidungsproblem

in der er einen Universalautomaten skizziert, mit dem sich feststellen lässt, ob ein mathematisches oder logisches Problem durch eine endliche Anzahl von Bearbeitungsschritten lösbar ist oder nicht.³ Damit hatte TURING ein theoretisches Verfahren entwickelt, mit dem sich die mathematische Berechenbarkeit einer beliebigen Aufgabenstellung beweisen lässt (*Turing-Maschine*). Siehe dazu z.B. auch [198], [286], [51], [196],[68], [191], [116], [71], [287], [127] und [192] sowie [33].

Bis in die späten zwanziger Jahren des letzten Jahrhunderts galt in der Mathematikwelt der Grundsatz, dass jede korrekt gestellte mathematische Fragestellung eine eindeutige Antwort haben müsse. Entweder ist die Antwort richtig oder sie ist eben falsch. Nimmt man zum Beispiel an, dass behauptet wird, jede

¹Siehe SHANNONS Master Thesis: *A Symbolic Analysis of Relay and Switching Circuits*, [334], reprinted in [347], pp 471 – 495.

²Siehe [154], p. 118. Siehe auch die Biographie [353], chapter 4.

³Eine sehr detaillierte Analyse von TURINGS Arbeit wird in dem Buch von PETZOLD [291] durchgeführt. Hier findet man auch eine Darstellung des historischen Kontexts, wie diese Arbeit einzuordnen ist. Eine lesbare Einführung von B. JACK COPELAND in TURINGS Arbeit und einen Nachdruck der Arbeit findet man in [89], chapter 1.



Abbildung 2.2: Alan Turing (1912 – 1954)

gerade Zahl ist die Summe zweier Primzahlen⁴ (z.B. $8 = 3 + 5$ oder $20 = 17 + 3$). Die allgemeine Meinung ging bis dato dahin, dass eine klar definierte mathematische Behauptung wie diese zwangsläufig richtig oder falsch sein müsse. In einem programmatischen, zukunftsweisenden Vortrag auf einer internationalen Mathematikertagung in Paris im Jahre 1900 formulierte der Göttinger Mathematiker DAVID HILBERT (1862–1943) 23 fundamentale Probleme der Mathematik, und fasste damit den damaligen Stand der Mathematik zusammen. Die Mathemategemeinde dieser Zeit war aufgerufen, an diesen Problemen zu arbeiten. Für die Entwicklung der Informatik nicht zu unterschätzen ist das Problem Nummer zehn: ("Hilberts zehntes Problem") ([187]).⁵

Eine diophantische Gleichung mit irgendwelchen Unbekannten und mit ganzen rationalen Zahlenkoeffizienten sei vorgelegt: Man soll ein Verfahren angeben, nach welchem sich mittels einer endlichen Anzahl von Operationen entscheiden lässt, ob die Gleichung in ganzen rationalen Zahlen lösbar ist.

Diophantische Gleichungen sind ein (ur)altes Thema der Mathematik,⁶ insbe-

⁴Diese Aussage nennt man in erlauchten Mathematikerkreisen die *Goldbachsche Vermutung*.

⁵Eine tiefgehende Diskussion dieses Themas findet man in dem Buch [99] von MARTIN DAVIS. Im Anhang dieses Buches findet man eine Kopie des Artikels *Hilbert's Tenth Problem is Unsolvable*, The American Mathematical Monthly, Vol. **80**, No. 3, March 1973, pp. 233–269.

⁶Siehe z.B. [286, 329], insbesondere das Buch von BASHMAKOVA [20].

sondere im Teilgebiet der Zahlentheorie und gehen zurück auf DIOPHANTOS von Alexandria (3. Jahrh. nach Chr.). Dabei werden algebraische Gleichungssysteme mit ganzzahligen Koeffizienten untersucht. Ziel ist es, für solche Gleichungssysteme ganzzahlige Lösungen zu finden. Ein solches System ist beispielsweise

$$\begin{aligned} z^3 - y - 1 &= 0 \\ yz^2 - 2x - 2 &= 0 \\ y^2 - 2xz + z + 1 &= 0 \end{aligned}$$

Das Problem besteht darin, ganze Zahlen x, y und z zu finden, die Lösung dieses Gleichungssystems sind. Das obige System wird durch das Tripel $x = 13, y = 7, z = 2$ gelöst. Heute weiß man, dass es keinen Algorithmus gibt, der diese Frage für ein beliebiges diophantisches Gleichungssystem entscheiden könnte.

Beispiel

Wir betrachten die folgende lineare Gleichung⁷

$$ax + by = c. \quad (2.1)$$

Die Variablen a, b, c sind vorgegeben, sie sind ganzzahlig, *i.e.* positiv, negativ oder Null. Wir sind an ganzzahligen Lösungen der Gl. (2.1) interessiert, also x und y Werte die ganzzahlig sind und Lösung dieser Gleichung.

(a) Sei $a = 2, b = -1$ und $c = 1$. Dann wird Gl. (2.1):

$$2x - y = 1.$$

Offensichtlich ist $x = y = 1$ eine ganzzahlige Lösung dieser Gleichung.

(b) Sei $a = 2, b = -6$ und $c = 1$. Wir erhalten dann

$$2x - 6y = 1.$$

Diese Gleichung hat überhaupt keine ganzzahlige Lösung, denn unabhängig davon, welche ganzzahligen Werte man für x und y wählt, die linke Seite dieser Gleichung ist stets gerade, die rechte Seite ungerade.

Die Frage ist nun: *Gibt es einen Algorithmus, der es uns ermöglicht zu entscheiden, ob für gegebene Werte $a, b, c \in \mathbb{Z}$ die Gl. (2.1) ganzzahlige Lösungen besitzt?*

Ein Resultat der elementaren Zahlentheorie besagt, dass die Gl. (2.1) genau dann ganzzahlige Lösungen hat, wenn die größte positive ganze Zahl, die a und b teilt,⁸ auch Teiler von c ist. Dieses Kriterium liefert ein systematisches Verfahren — *i.e.* einen Algorithmus — um festzustellen, ob es ganzzahlige Lösung der Gl. (2.1) gibt. Dieses Verfahren ist letztendlich der erweiterte EUKLIDISCHE Algorithmus.

⁷Dies nennt man eine lineare DIOPHANTISCHE Gleichung.

⁸Das ist der ggT dieser Zahlen.

Eine naheliegende Erweiterung des Problems besteht darin, dass man die linearen Polynome in zwei Variablen (wie Gl. (2.1)) durch Polynome beliebigen Grades mit beliebig vielen Variablen ersetzt. Dies ist genau die Frage, die hinter dem 10. HILBERTSchen Problem steht. In den 1960 und letztendlich 1970 wurde gezeigt, dass dieses allgemeine Problem DIOPHANTischer Gleichungen kein systematisches Lösungsverfahren hat, *i.e.* das bedeutet folgendes: Es ist nicht nur kein Algorithmus bekannt, es gibt kein systematisches Verfahren.⁹

DAVID HILBERT forderte in seiner Rede nicht weniger als ein allgemeines *algorithmisches* Verfahren¹⁰ für die Lösung mathematischer Fragen, oder anders formuliert, eine Antwort auf die Frage, ob ein solches algorithmisches Verfahren überhaupt existiert ([187]).¹¹

Dies war bis 1931 der Stand der Dinge, bis der österreichische Logiker und Mathematiker KURT GÖDEL¹² (1906 – 1978) bewies [159], dass kein endliches System von Axiomen und Schlußregeln ausreicht, alle mathematischen Eigenschaften der natürlichen Zahlen vollständig zu beschreiben (*Gödelscher Unvollständigkeitssatz*).¹³

Im Jahre 1935 arbeitete ALAN TURING an HILBERTS Entscheidungsproblem.

⁹Probleme dieser Art, die nach der Existenz eines Algorithmus fragen, um zu entscheiden, ob eine ganze Klasse von Aussagen wahr oder falsch ist, nennt man **Entscheidungsproblem**. Damit unterscheidet man diese von anderen Problemen der Mathematik, die lediglich nach der Wahrheit oder Falschheit einer einzelnen Aussage fragen. Eine positive Antwort auf eine Entscheidungsproblem besteht darin, dass man einen Algorithmus angibt, der das Problem löst. Eine negative Antwort muss zeigen, dass kein Algorithmus existiert, der das gegebene Problem löst. Man sagt auch in diesem Fall, dass das Problem *unlösbar* ist.

¹⁰Zu bemerken ist hier, dass der formale Begriff eines Algorithmus erst später in der Mathematik gegriffen hat. Siehe auch [70].

¹¹Siehe dazu auch den Artikel [72] von GREGORY CHAITIN.

¹²In der URL: http://comptons2.aol.com/encyclopedia/ARTICLES/01915_A wird über Gödel folgendes vermerkt:

In 1931 the mathematician and logician Kurt Gödel published what has been called Gödel's proof in arithmetic. This proof states that within any rigidly logical mathematical system there are propositions (or statements) that cannot be proved or disproved on the basis of the axioms within that system. It is therefore uncertain that the basic axioms of arithmetic will not give rise to contradictions. This proof has become a hallmark of 20th-century mathematics, and its significance is still debated.

Gödel was born at what is now Brno, Czech Republic, on April 28, 1906. He studied at the University of Vienna in Austria and received his doctorate in 1930. He remained on the faculty there, but during the 1930s he worked with the Institute for Advanced Studies in Princeton, N.J. Because of the developing war in Europe, he went to the United States in 1940 and remained there the rest of his life. From 1953 until 1976 he served as a professor at the institute.

Among his other mathematical endeavors was work on set theory. His book 'Consistency of the Axiom of Choice and of the Generalized Continuum-Hypothesis with the Axioms of Set Theory' (1940) has become a classic of modern mathematics. Gödel died in Princeton on Jan. 14, 1978.

¹³Zu diesem Themenkreis sind die beiden Bücher von DIRK HOFFMANN [193, 194] sehr gute Einführungen. Eine empfehlenswerte Einführung in diese Thematik ist das Buch von NAGEL und NEWMAN, [268]. Siehe auch das Buch von HAL PRINCE [298].

GÖDELS Theorem hatte für immer HILBERTS Vermutung widerlegt. TURING selbst näherte sich dem Problem von einer ganz anderen Seite als GÖDEL. Sein Ansatzpunkt war der, die logischen Schritte, die man bei der Beweisführung einer Aussage zurücklegt, als diesselben auszuführen, die ein Mensch bei der Durchführung einer Berechnung befolgen würde.

Dieser Ansatzpunkt führte TURING zu dem theoretischen Konzept einer Rechenmaschine, die eine Aufgabe mit Hilfe einer Speichereinheit und einer Ausführungseinheit Schritt für Schritt abarbeiten konnte. TURING konnte damit zeigen, dass GÖDELS Unvollständigkeitssatz äquivalent zu der Aussage ist, dass es kein allgemein anwendbares Verfahren gibt, mit dem sich feststellen lässt, ob ein beliebiges Computerprogramm jemals anhält (*Halteproblem*), ob also ein Computer mit der Abarbeitung eines beliebigen Programms zu Ende kommt. Wenn ein konkretes Programm abläuft, braucht man es natürlich nur laufen zu lassen, um genau das festzustellen.¹⁴

Ein einfaches, typisches Beispiel:

Gesucht ist eine ungerade Zahl, die als Summe zweier gerader Zahlen darstellbar ist.

Man kann jeden Computer der Welt mit der Suche nach dieser ominösen Zahl beauftragen, und jeder Computer wird endlos weiterrechnen, denn es ist ja bekannt, daß bei der Addition zweier gerader Zahlen immer eine gerade Zahl resultiert. Die Frage, die Turing in diesem Zusammenhang untersuchte ist nun die: *Existiert irgend ein Algorithmus, mit dem sich feststellen lässt, ob eine Berechnung endet oder nicht?* TURING konnte zeigen, dass es keinen solchen Algorithmus gibt.

Typischerweise ist das Programm fest in eine TURING–Maschine eingebaut und kann nicht verändert werden. So lässt sich eine TURING–Maschine erstellen, die zwei Binärzahlen addiert, oder eine zweite Maschine, die Binärzahlen multipliziert. Diese TURING–Maschinen sind also genau für den jeweiligen Zweck konstruiert und nicht universell. Kodiert man die Beschreibung einer TURING–Maschine als hinreichend einfache Zeichenkette, so kann man eine sogenannte **universelle Turingmaschine** — diese ist selbst eine TURING–Maschine — konstruieren, welche eine solche Kodierung einer beliebigen TURING–Maschine als Teil ihrer Eingabe nimmt und das Verhalten der kodierten TURING–Maschine auf der ebenfalls gegebenen Eingabe simuliert. Aus der Existenz einer solchen universellen TURING–Maschine folgt zum Beispiel die Unentscheidbarkeit des Halteproblems. Eine ähnliche Idee, bei der das Programm als ein Teil der veränderbaren Eingabedaten betrachtet wird, liegt auch fast allen heutigen Rechnerarchitekturen zugrunde (VON–NEUMANN–Architektur)..

¹⁴Siehe auch TURINGS Artikel *Solvable and Unsolvable Problems* (1954), in [89].

1936 – 1938

KONRAD ZUSE (1910, Berlin – 1996) (TH Charlottenburg) entwickelt zusam-



Abbildung 2.3: KONRAD ZUSE.

men mit HELMUT SCHREYER (1912 — 1984) die Z1, den ersten programmgesteuerten Rechenautomaten auf der Basis von zweiwertigen Schaltelementen (siehe [5, 311] und [313]). Die von ZUSE und SCHREYER entwickelte Z1 entsprach in ihrem Aufbau der Analytical Machine von BABBAGE, ohne dass ZUSE über die Arbeiten von BABBAGE Kenntnis hatte.¹⁵ Daraüber hinaus realisierten ZUSE und SCHREYER in der Z1 folgende neue Konzepte:

1. rein duale Darstellung von Zahlen und Operationsbefehlen
2. eine halblogarithmische Darstellung von Kommazahlen, die heutige 'Gleitkommadarstellung'.
3. die Rechenoperationen werden mit Hilfe des logischen Aussagenkalküls realisiert.

Im November 1937 vollendete GEORGE STIBITZ (1904 – 1995), damals Mitarbeiter der Bell Labs, eine Relais-basierte Rechenmaschine, die er das **K-Modell** nannte, wegen des Küchentischs, auf dem er sie zusammengesetzt hatte. Die Maschine konnte binäre Zahlen addieren. Die Bell Labs genehmigten daraufhin im Spätsommer 1938 ein Forschungsprogramm unter STIBITZs Leitung. Der daraus resultierende, am 8. Januar 1940 fertiggestellte **Complex Number Calculator** konnte Berechnungen mit komplexen Zahlen durchführen.

¹⁵Siehe dazu den Artikel von ROJAS, [312].



Abbildung 2.4: Nachbau der Z1 im Deutschen Technik-Museum Berlin.

1939

An der Iowa State University begannen JOHN VINCENT ATANASOFF (1903 – 1995) und CLIFFORD BERRY mit dem Bau eines Prototyps einer Rechenmaschine, deren Schaltelemente aus Elektronenröhren bestand, die (natürlich) mit Elektrizität betrieben wurde und die mit binären Zahlen operierte. Ein Arbeitsmodell, das Ende 1939 fertiggestellt wurde, demonstrierte die Funktionsfähigkeit ihres Konzeptes. BERRY und ATANASOFF entwickelten in den darauffolgenden beiden Jahren ihren Prototypen zum ersten elektronischen digitalen Computer weiter, den **Atanasoff Berry Computer**.

WILLIAM HEWLETT (1913 – 2001) und DAVID PACKARD (1912 – 1996) (beide Absolventen der Stanford University) gründen im kalifornischen Palo Alto das Unternehmen **Hewlett-Packard**. Das erste HP-Produkt, der HP200A, ein Tonfrequenzgenerator, wurde in einer Garage gebaut. Diese Garage gilt heute als Geburtsort des **Silicon Valley**. Einer der ersten Kunden waren die Walt Disney Studios, die für ihren Trickfilm *Fantasia* acht Tonfrequenzgeneratoren erwarben.

1940

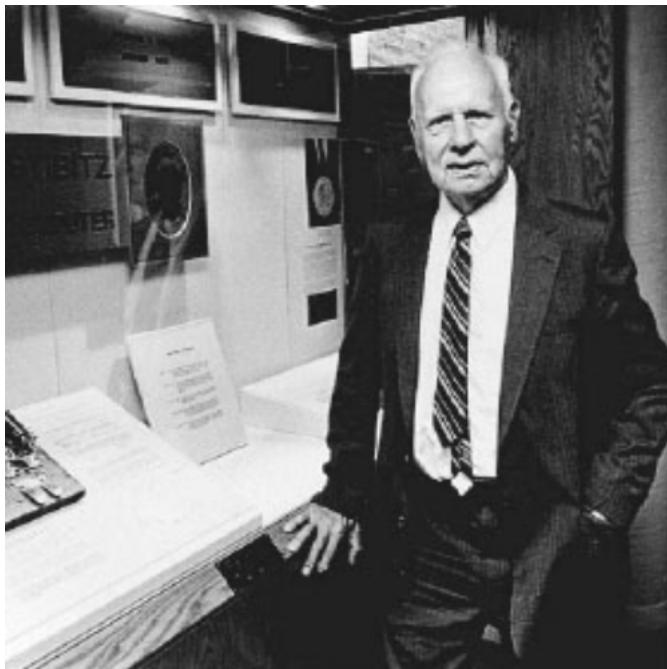


Abbildung 2.5: GEORGE STIBITZ mit dem K-Modell.

Im Rahmen einer Vorführung für die *American Mathematical Society* auf ihrer Konferenz am Dartmouth College am 11. September 1940 verwendete GEORGE STIBITZ einen Fernschreiber,¹⁶ um Befehle für den Complex Number Calculator in New York City über Telefonleitungen zu senden. Dieser war damit der erste Computer, der über eine Telefonleitung ferngesteuert wurde.

1941

KONRAD ZUSE und HELMUT SCHREYER konstruierten die Z3, den ersten vollfunktionsfähigen programmgesteuerten Rechner. Als binäre Schaltelemente verwendet ZUSE elektromechanische Bauteile (Relais). Als Informationsträger — zum Einlesen der Daten — verwendet ZUSE Lochstreifen, aufgrund der knappen Ressourcen zu jener Zeit benutzte er dazu ausgediente Filmstreifen.

Die Z3 besaß ein duales Rechenwerk mit 600 Relais sowie ein Speicherwerk mit 1400 Relais, wodurch die Z3 in der Lage war, 64 Zahlen zu je 22 Dualstellen zu speichern. In drei Sekunden konnte eine Multiplikation ausgeführt werden.

¹⁶Siehe [83], pp. 105 und [321], p. 3.

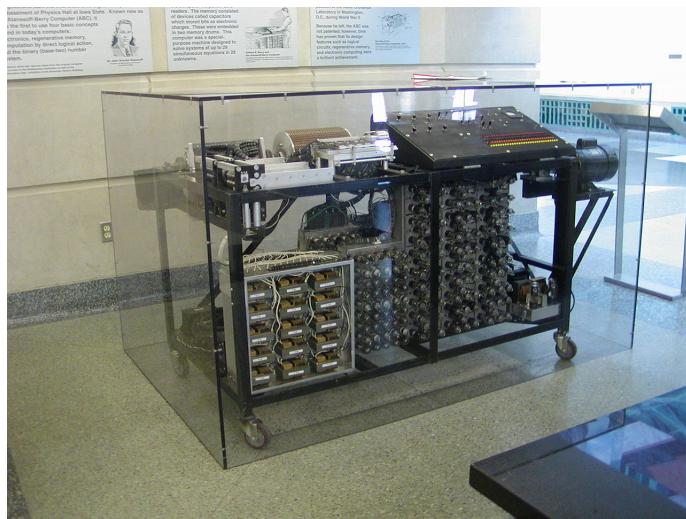


Abbildung 2.6: JOHN VINCENT ATANASOFF.

Eine funktionsfähige Rekonstruktion dieser, während des zweiten Weltkrieges zerstörten Maschine, befindet sich im Deutschen Museum in München (siehe Abbildung [2.7]).

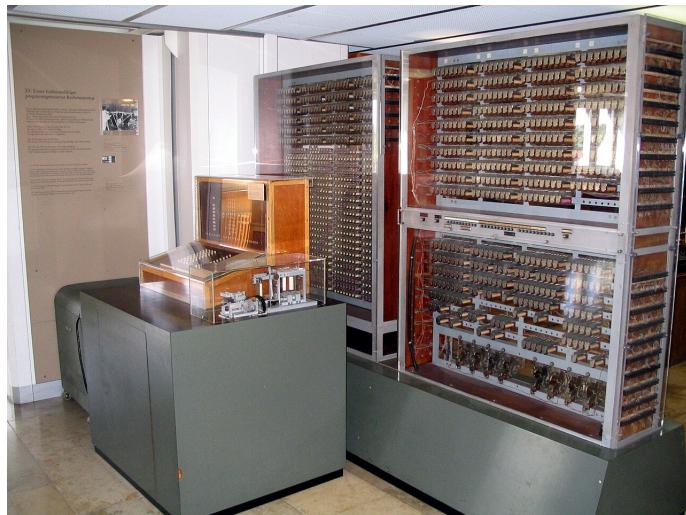


Abbildung 2.7: Nachbau der Z3 im Deutschen Museum, München.

1943

THOMAS WATSON — zu damaligen Zeit CEO von IBM — wird das folgende Zitat zugeschrieben, das er 1943 gesagt haben soll:

Ich glaube, dass es auf der Welt einen Bedarf von vielleicht fünf Computern geben wird.

Unter Federführung des Mathematikers **Max Newman** — der Doktorvater von ALAN TURING — wird in England der COLOSSUS fertiggestellt und im November 1943 in Betrieb genommen (siehe Abbildung [2.8]).

Der COLOSSUS gilt als der erste frei programmierbare, voll funktionsfähige Rechner auf der Basis von elektronischen Röhren. Designed und konstruiert wurde der COLOSSUS von TOMMY FLOWERS. Dieser Rechner besaß 1500 Vakuumröhren und wurde 1943 in Bletchley Park, Buckinghamshire (siehe Abbildung 2.9), installiert.¹⁷ Der COLOSSUS diente dem britischen GC&CS zur Dechiffrierung von Nachrichten der deutschen Wehrmacht, die mit der Lorenz SZ40/42 Maschine verschlüsselt waren ([90]). Sämtliche COLOSSUS Maschinen wurden nach dem Krieg abgebaut, erst vor wenigen Jahren wurde eine funktionsfähige Rekonstruktion der COLOSSUS im Bletchley Park Museum in Betrieb genommen.¹⁸

¹⁷Siehe: <http://www.bletchleypark.org.uk>

¹⁸Die Rekonstruktion der Colossus ist ANTHONY SALE zu verdanken, dem es mit dem Co-

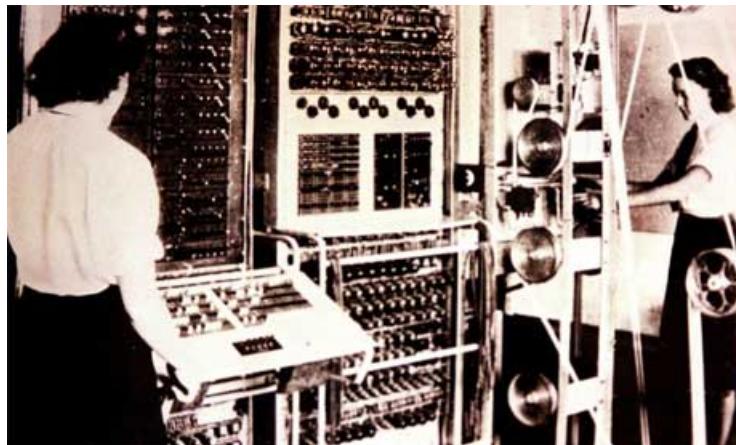


Abbildung 2.8: Ansicht der COLOSSUS-Maschine, des ersten programmierbaren Computers. Der COLOSSUS wurde im Bletchley Park ab 1943 zur Dechiffrierung des im Funkfernschreiberverkehr verwendeten 'Geheimschreibers' eingesetzt.

Obwohl der COLOSSUS Rechner frei programmierbar war, war er dennoch nicht universell nutzbar, da er einzig und allein zum Zweck der Entschlüsselung codierter Nachrichten gebaut war. Aus Gründen der Geheimhaltung wurde die Existenz von COLOSSUS erst in den siebziger Jahren publik gemacht.

Über die spannende Geschichte der Entzifferung des ENIGMA-Codes im Bletchley Park siehe [191, 217, 207, 343, 37], insbesondere [209] und [332].

Modell	Land	Inbetriebnahme	Gleitkommaarithmetik	Binär	Elektronisch	Programmierbar
Zuse Z3	D	Mai 1941	ja	ja	nein	ja, Lochstreifen
Atanasoff-Berry	USA	Sommer 1941	nein	ja	ja	nein
Colossus	UK	1943	nein	ja	ja	ja, Neuverkabelung
Mark I	USA	1944	nein	nein	nein	ja, Lochstreifen
Zuse Z4	D	März 1945	ja	ja	nein	ja, Lochstreifen
ENIAC	USA	1946	nein	nein	ja	teilweise durch Neuverkabelung

Die amerikanischen Biomathematiker WARREN McCULLOCH und WALTER PITTS entwerfen die ersten künstlichen neuronalen Netze ([249]).

Am 5. Juni 1943 wird ein Vertrag unterschrieben zwischen der Moore School of Science der University of Pennsylvania und dem Aberdeen Proving Ground,

lossus Rebuild Project gelang, einen Colossus Rechner im Jahre 1996 wieder zu rekonstruieren, die offizielle Einweihung des Nachbaus fand am 16. November 2007 im Bletchley Park statt. Siehe die Webpage von ANTHONY SALE

<https://www.codesandciphers.org.uk/>



Abbildung 2.9: Der 1883 errichtete Landsitz Bletchley Park, von 1939 bis 1945 Zentrum der britischen Funkaufklärung.

ein militärische Testgelände der US-Army. Vertragsinhalt war der Bau eines elektronischen Computers, des ENIAC, der etwa drei Jahre später in Betrieb genommen wurde.

1944

Der Mathematiker JOHN VON NEUMANN und der Ökonom OSKAR MORGENTHARDT publizieren die Monographie *Theory of Games and Economic Behavior*[376]. Dieses Werk gilt als die Grundlage der Spieltheorie.

Der Mathematiker HOWARD H. AIKEN (1900 – 1973) (Harvard University, Boston) stellt den ersten programmgesteuerten, universell einsetzbaren Rechner der Geschichte vor, die Harvard MARK I (siehe Abbildung [2.10]). Die Dateneingabe erfolgte mit Hilfe von Lochkarten.¹⁹



Abbildung 2.10: Die Harvard MARK I.

Ende der dreißiger Jahre war die Technik der Lochkarten-Stanzmaschinen derart ausgereift und zuverlässig, dass HOWARD AIKEN zusammen mit Ingenieuren der IBM den Versuch unternahm, basierend auf den elektromechanischen Standard Bauteilen der IBM einen großen, automatischen Digitalcomputer zu konstruieren. AIKENS Maschine, die Harvard MARK I, konnte 23stellige Dezimalzahlen verarbeiten und beherrschte alle vier arithmetische Grundrechenarten. Weiterhin verfügte die Harvard MARK I über eingebaute Subroutinen, mit deren Hilfe logarithmische und trigonometrische Funktionen gehandhabt werden konnten. Ursprünglich wurde die MARK I durch vorgestanzte Papierstreifen gesteuert. Die Ausgabe der Resultate erfolgte auf Lochkarten oder elektrischen Schreibmaschinen. Obwohl in der MARK I als Konstruktionselemente zusätzlich zu den elektromechanischen Relais Zahnräder eingesetzt wurden, wurde die MARK I als Relais - Computer klassifiziert. Dieser Rechner war langsam — 3 bis fünf Sekunden für eine Multiplikation — dennoch war die MARK I

¹⁹Siehe auch den URL <http://www.ifi.unizh.ch/groups/se/people/hoyle/Lecture>.

vollautomatisch und konnte daher lange Berechnungen komplett ohne menschliches Eingreifen durchführen. Die technischen Daten dieser Anlage waren beeindruckend: Frontfläche 15m lang und 2,5m hoch, um die 700.000 Einzelteile, 80km Leitungsdraht und 3,5 Tonnen Gewicht.

1944

Konrad Zuse entwirft 'Plankalkül', eine Programmiermethode, die als eine Art Vorläufer höherer Programmiersprachen gilt.

1943 – 1950

Während des zweiten Weltkrieges erforderten die Berechnungen von Schießtabellen für neu entwickelte Ferngeschütze einen enormen Aufwand an Rechenleistung. Zur damaligen Zeit wurden diese Rechnungen ausschließlich per Hand durchgeführt.

Um diese aufwendige Rechenarbeit zu automatisieren, beauftragte das amerikanische Verteidigungsministerium eine Gruppe von 14 Ingenieuren um JOHN PRESPER ECKERT (1919 – 1995) und JOHN W. MAUCHLY (1907 – 1980) an der Moore School of Electrical Engineering der University of Pennsylvania mit der Entwicklung und dem Bau einer elektronischen Rechenanlage.²⁰ Der von dieser Arbeitsgruppe gebaute Rechner hieß

Electronic Numerical Integrator And Computer

oder kurz

ENIAC.

Der ENIAC war eine völlig andere Konstruktion als seine Vorgänger und hatte ebenfalls eine völlig andere Architektur als die Nachfolgemaschinen. Der ENIAC verfügte über mehrere halbautonome, gleichzeitig und unabhängig voneinander arbeitende Recheneinheiten sowie Vakuum-Röhren als Hochgeschwindigkeits-Speicher, entsprechend dem damaligen Stand der Technik.

Der ENIAC war eine Dezimal-Maschine (also arbeitete nicht mit Bits und Byte) mit 100 KHz getaktet. Um eine hohe Verarbeitungsgeschwindigkeit zu erreichen, wurden alle Dezimalstellen parallel verarbeitet. Der ENIAC verfügte über 20 Akkumulatoren (Addierwerke), eine Multiplikationseinheit, eine Einheit für Division/Wurzel-Operation und drei Einheiten mit Funktionstabellen. Darüber hinaus war diese Maschine mit einer Eingabeeinheit, einer Ausgabeeinheit, ein Master-Programm-Einheit und zwei Kontroll-Units ausgerüstet. Diese Einheiten konnten alle parallel arbeiten.

Die Programmierung dieser Maschine wurde per Hand ausgeführt: Durch das Setzen von mechanischen Schaltern der Programm-Control-Einheit jeder rechnenden Einheit, die für das zu bearbeitende Problem benötigt wurden. Diese

²⁰Siehe hierzu die beiden Beiträge von PRESPER ECKERT und JOHN MAUCHLY in [260] pp. 515 – 539 bzw. pp. 541 – 550.

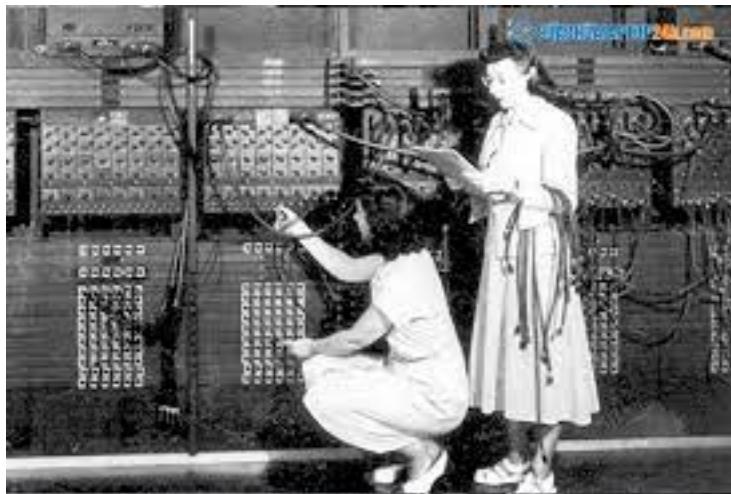


Abbildung 2.11: Der ENIAC Rechner.

Programm-Control-Einheiten wurden mit Kabel verbunden und die benötigten Funktionstabellen geschaltet. Dies war eine langwierige, fehleranfällige Prozedur.

Der ENIAC hatte ein Gewicht von gerade mal 30 Tonnen, enthielt 18.000 Röhren, benötigte eine Standfläche von $140\ m^2$ und die Leistungsaufnahme lag bei 150 kWatt. Die Additionszeit betrug 0,2ms und für die Multiplikation zweier zehnstelliger Dezimalzahlen waren 2,8 ms erforderlich.

Der ENIAC-Rechner war ursprünglich als Leitbahurrechner für das Ordonnance Corps — die Artillerie — konzipiert, wurde aber erst 1945, also kurz vor Kriegsende, fertiggestellt. Der ENIAC-Rechner verblieb zunächst an der Moore School bis in das Frühjahr 1947 [148]. Anschließend wurde der ENIAC angebaut und am Aberdeen Proving Ground, Maryland, einem amerikanischen Testgelände, installiert. Dort wurde der ENIAC Anfang der 50er Jahre für Berechnungen zur Entwicklung der ersten amerikanischen Wasserstoffbombe eingesetzt [244], [305], [139, pp. 103].²¹

Im September 1944 [148] besuchte der aus Ungarn stammende Mathematiker und Logiker JOHN VON NEUMANN (1903 – 1957) die Arbeitsgruppe von ECKERT und MAUCHLY, die zu dieser Zeit bereits mit der Planung und dem logischen Design des Nachfolgers des ENIAC-Rechners befasst war (siehe [160]). Die Gruppe hatte bereits beim Bau des ENIACs die wesentlichen Schwachpunkte der Archi-

²¹Siehe auch die Artikel von N. METROPOLIS [257] und HERBERT ANDERSON [10].

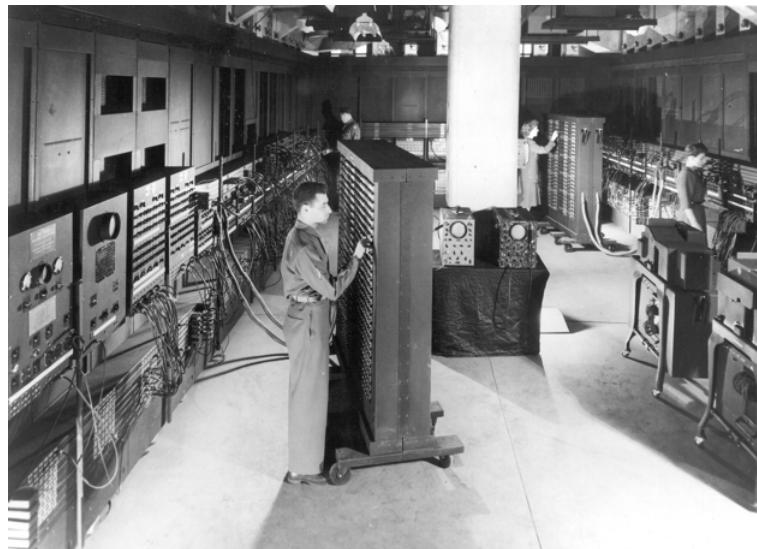


Abbildung 2.12: Der ENIAC Rechner im Betrieb.

tektur dieser Maschine erkannt (*e.g.* die mühsame und fehleranfällige Programmierung der Maschine, Nur–Lese–Speicher) und liessen diese neuen Erkenntnisse in die Architektur des EDVAC–Rechners einfließen.

Nach mehrtägigen Diskussionen verließ VON NEUMANN die Moore–Gruppe und arbeitete am logischen Design und an einer Programmiersprache (MaschinenSprache) des EDVAC–Rechners. Seine Ideen und die Resultate der Diskussionen mit ECKERT und MAUCHLY fasste VON NEUMANN in einem Manuscript zusammen und ließ es der Gruppe um ECKERT und MAUCHLY zur Überarbeitung zukommen. HERMAN GOLDSTINE (1913 – 2004) — der militärische Projektleiter der Moore–School–Gruppe — ließ das Manuscript in Reinfassung tippen, setzte VON NEUMANNs Namen als alleiniger Autor auf diese Arbeit und verteilte sie — ohne VON NEUMANNs Wissen — in den Staaten und Großbritannien. HERMAN GOLDSTINE gab diesem Manuscript den Arbeitstitel

First Draft of a Report on the EDVAC

(Ein Reprint dieser Arbeit findet man in [14], siehe auch [375]). Diese Arbeit ist ein Meilenstein in der Computergeschichte, da in ihr die wesentlichen Aspekte des Designs eines programmgesteuerten Universalrechners skizziert wurden. Seit Erscheinen dieses *First Draft* gab es jedoch Diskussionen über die Urheber der darin enthaltenen Ideen. Denn die Gruppe um ECKERT und MAUCHLY hat sicherlich viele Beiträge zum Design eines programmgesteuerten Universalrechners geliefert, aufgrund der alleinigen Autorenschaft JOHN VON NEUMANNs trägt diese Rechnerarchitektur heute seinen Namen. GOLDSTINES eigener Standpunkt zu diesem Thema findet man in [160].

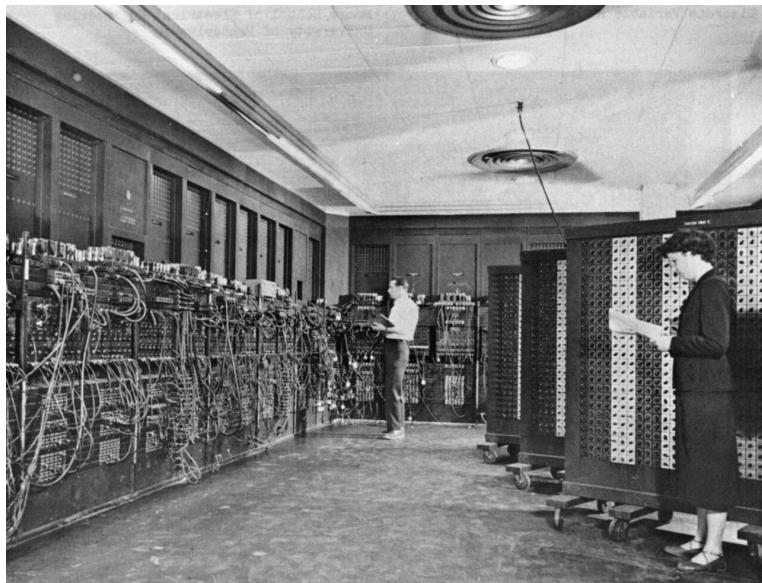


Abbildung 2.13: Nochmals der ENIAC Rechner.

Die in diesem Manuskript skizzierten fundamentalen Prinzipien einer Rechenanlage ([244]) sind unter anderem folgenden:²²

- Programme werden wie Daten gespeichert
- Konzept des bedingten Befehls mit Verzweigungen
- Programme sind eine Folge logischer Binärentscheidungen

Weiterhin entwickelt VON NEUMANN die grundlegende Architektur einer Rechenanlage mit den folgenden Bauelementen:

- einem Arbeitsspeicher, in dem das Programm und die Daten gespeichert werden
- einem Zentralprozessor, die Instanz zur Interpretation und Ausführung der Programmbefehle
- interne Datenwege, die zum Datentransfer zwischen Speicher, Zentralprozessor und den peripheren Geräten dienen. Diese Komponente nennt man heute den Systembus.

²²Die VON NEUMANN Rechnerarchitektur wird in WILLIAM STALLINGS *Computer Organization and Architecture* [355] diskutiert.

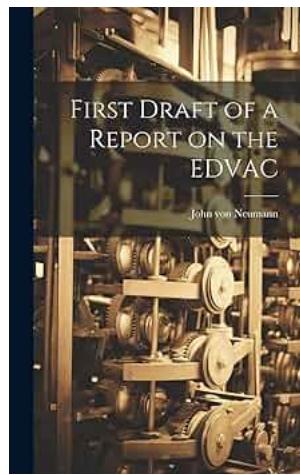


Abbildung 2.14: Eine Ausgabe des *First Draft of a Report on the EDVAC*.

Im Jahre 1945 untersuchte JOHN VON NEUMANN den Prozess der maschinellen Berechnung und demonstrierte mit seinem oben skizzierten Schema, dass ein Computer eine einfache, fest vorgegebene Struktur haben kann. Solch ein Computer kann alle nur denkbaren Berechnungen ausführen, falls die geeignete Programmkontrolle vorhanden ist, ohne dass dazu die Hardware geändert werden muss (was bis dato immer der Fall war). VON NEUMANNS Beitrag bestand in einem völlig neuen Verständnis für die Organisation und den Aufbau eines Computers. Diese Erkenntnisse — die heutzutage unter dem Begriff Programmspeicher-Technik bekannt sind — waren die absolute Grundlage für sämtliche zukünftige Computergenerationen, VON NEUMANNS Ideen fielen auf fruchtbaren Boden und wurden sehr schnell akzeptiert.²³

Der Vorteil, den VON NEUMANNs Architektur bot, war die Zurverfügungstellung einer speziellen Art von Maschinenanweisung, der *conditional control transfer*, was eine Unterbrechung und Reinitialisierung eines laufenden Programms an jeder Stelle erlaubte. Weiterhin sind alle Programminstruktionen zusammen mit den Daten in der gleichen Einheit abzuspeichern, so dass — falls erforderlich — die Instruktionen arithmetisch geändert werden können, in der gleichen Art und Weise, wie man dies mit Daten tut.

Als Folge dieser Techniken — sowie weiteren Entwicklungen — wurden Computer und das Programmieren immer schneller, flexibler und effizienter, wobei Programminstruktionen in sogenannte Subroutinen (Unterprogramme) ausgelagert

²³Insbesondere trugen die *Moore School Lectures* maßgebend dazu bei, diese neuen Ideen zu verbreiten. Die Moore School Lectures waren eine Reihe von 48 Vorlesungen an der Moore School vom 8. Juli bis 31. August 1946 [148] über das Design und den Aufbau von Rechnern. Die Lectures sind in [64] dokumentiert.

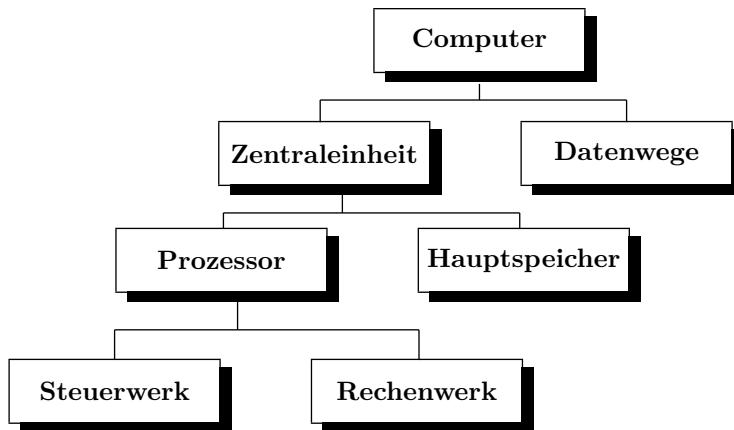


Abbildung 2.15: Die Architektur einer Rechenanlage nach JOHN VON NEUMANN.

wurden. Erreicht wurde dadurch eine viel effektivere Programmabarbeitung. Bestimmte Unterprogramme, die immer wieder benötigt werden, müssen nicht neu programmiert werden, sondern werden zweckmäßigerweise in Bibliotheken²⁴ ausgelagert, die dann bei Bedarf in den Speicher geladen werden. Dadurch kann ein großer Teil eines Programms aus den in den Bibliotheken vorhandenen Subroutinen zusammengebaut werden. Der Ort, wo das 'Zusammenbauen' stattfindet, ist die Werkstatt, technisch gesprochen, das Allzweck-Instrument 'Arbeitsspeicher'. Dort werden Teile von langen Berechnungen zwischengespeichert, dort findet eine stückweise Verarbeitung der Programmstücke statt, im Arbeitsspeicher werden die Programmcodestücke mit Bibliotheks Routinen assembliert. Das Steuerwerk des Computers ist das Organisationselement für den gesamten Prozess des Programmablaufs.

Sobald die Vorteile dieser neuen Technologie offenbar wurden, etablierte sich die VON NEUMANN Architektur zur Standard-Architektur wie ein Computer geschaffen sein sollte. Die erste Generation von Computern, die nach diesem Prinzip funktionierte, erschien bereits im Jahre 1947.

Im Spätjahr 1945 entschloß sich JOHN VON NEUMANN einen Computer am Institute of Advanced Studies (IAS) in Princeton, New Jersey, zu bauen. Zunächst traf er in der Verwaltung des Instituts auf Ablehnung seiner Pläne, da das IAS ausschließlich theoretische Arbeiten unterstützte.²⁵ VON NEUMANN konnte jedoch die IAS-Führung davon überzeugen, dass der Bau eines Rechners am IAS für wissenschaftliche Grundlagenforschung essentiell war. Die U.S. Army, Navy,

²⁴Das sind die sogenannten *libraries*.

²⁵ALBERT EINSTEIN und KURT GÖDEL waren seinerzeit Zimmernachbarn von VON NEUMANN.

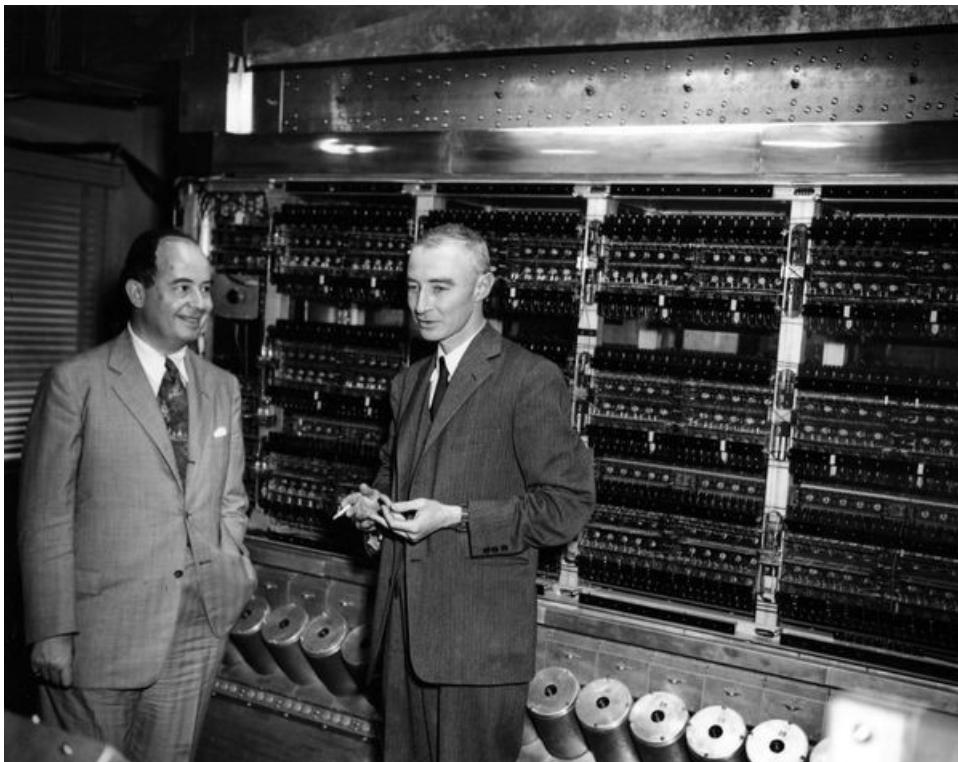


Abbildung 2.16: JOHN VON NEUMANN (links) mit ROBERT OPPENHEIMER vor dem IAS-Computer.

die Atomic Energy Commission und das IAS finanzierten schließlich das Projekt.

Im Frühjahr 1946 entwarfen JOHN VON NEUMANN, HERMAN GOLDSTINE und ARTHUR W. BURKS das Design der IAS-Maschine in einem Bericht mit dem Titel:²⁶

Preliminary Discussion of the Logical Design of an Electronic Computing Instrument

Dieser Bericht²⁷ wurde im Juni 1946 veröffentlicht und stellt im Detail dies vor, was heute unter *von Neumann Rechnerarchitektur* bekannt ist.

Noch während sich der IAS-Computer im Bau befand, beeinflußte sein logisches und schalttechnisches Design viele Computer, die damals in den USA gebaut wurden. Darunter Computer an der University of Illinois, Los Alamos National Laboratory, Argonne National Laboratory, Oak Ridge National Laboratory und

²⁶Siehe auch die Monographie von WALDROP, [378], pp. 86

²⁷Einen kommentierten Reprint dieses Reports findet man in [14].

bei der RAND–Corporation. Das IAS–Design war ebenfalls die Grundlage des IBM 701 und dessen unmittelbarem Nachfolger.

Im Juli 1945 veröffentlicht **Vannevar Bush** (1890 – 1974) ein einflussreiches, visionäres Essay in der Zeitschrift *Atlantic Monthly* [61] mit dem Titel *As We May Think*. BUSH entwirft darin das Konzept der universalen Wissensmaschine Memex (Abkürzung für Memory Extender), die als Vorläufer von Personal Computer und Hypertext gilt.²⁸

1946

Am 2. März wird offiziell das Project RAND gegründet.²⁹ Das Akronym RAND steht für *Research AND Development*. Ziel dieses Projektes der amerikanischen Regierung war, das Know–How der wissenschaftlichen Elite für zukünftige verteidigungspolitische Entwicklungen zu erhalten.

Hieraus entwickelte sich in den 1950er Jahren die RAND Corporation mit Sitz in Santa Monica, Kalifornien, ein sogenannter *Think Tank*. An der RAND Corporation wurden bahnbrechende Verfahren des Operations Research und der Spieltheorie entwickelt [349, pp. 48].³⁰

Aufgrund eines Streits über Patentrechte mit der Verwaltung der Moore School verlassen ECKERT und MAUCHLY die University of Pennsylvania am 31. März 1946 und gründen die *Electronic Control Company*.

Das *American Institute of Electrical Engineers* (AIEE) gründet ein Unterkomitee für *Large Scale Calculating Device*, der Ursprung der heutigen IEEE Computer Gesellschaft.

Alan Turing veröffentlicht einen Report über die Architektur des ACE–Rechners (Automatic Computing Engine) (siehe [100, pp. 188–190]).

Der polnisch–amerikanische Mathematiker EMIL POST (1897 – 1954) publiziert [296] ein einfaches unentscheidbares Problem, das sogenannte **Postsche Korrespondenzproblem**. Dies ist ein Beispiel für ein unentscheidbares Problem in der Theoretischen Informatik, welches häufig verwendet wird, um mittels Re-

²⁸Siehe dazu auch die Diskussion in SALUS, [321].

²⁹Siehe dazu [38], Chapter 7.

³⁰Siehe auch die Monographie von ABELLA [1]. Standardwerke über Operations Research sind zum Beispiel [36], [189] oder [55]. Das Buch von MORSE und KIMBALL [267] — geschrieben von zwei Pionieren des OR — ist ein Nachdruck der ersten Abhandlung über Operations Research aus dem Jahre 1951.



Abbildung 2.17: JOHN P. ECKERT (rechts) und JOHN W. MAUCHLY.

duktion die Unentscheidbarkeit anderer Probleme zu zeigen. [346] Man nennt ein Problem *unentscheidbar*, wenn es keinen Algorithmus gibt, mit dem das Problem gelöst werden kann.

Intermezzo IV

Das Postsche Korrespondenzproblem³¹

Man kann das Postsche Korrespondenzproblem als eine Art von Puzzle beschreiben. Man beginnt mit einer Sammlung von Dominosteinen. Jeder Dominostein enthält zwei Zeichenketten, eine Zeichenkette oben, die andere unten. Ein einzelner Dominostein sieht beispielsweise so aus:

$$\begin{pmatrix} a \\ ab \end{pmatrix}.$$

Er enthält oben die einfache Zeichenkette a und unten die Zeichenkette ab .

Eine Menge von Dominosteinen ist beispielsweise:

$$\left\{ \begin{pmatrix} b \\ ca \end{pmatrix}, \begin{pmatrix} a \\ ab \end{pmatrix}, \begin{pmatrix} ca \\ a \end{pmatrix}, \begin{pmatrix} abc \\ c \end{pmatrix} \right\}. \quad (2.2)$$

Das Problem besteht nun darin — das ist das Puzzle — eine Folge von Dominosteinen zu finden, so dass die Wörter auf der oberen Hälfte der Dominosteine

³¹Eine empfehlenswerte Literatur zu dieser Thematik ist das Buch von CHRIS BERNHARDT, [33], insbesondere Kapitel 2.

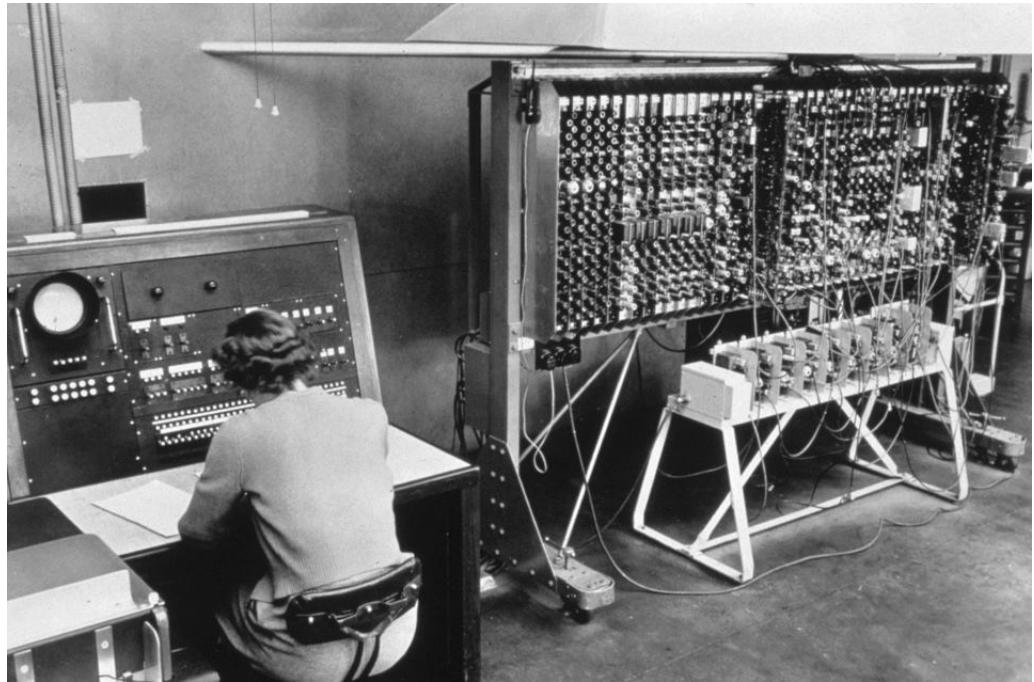


Abbildung 2.18: Der ACE-Rechner von ALAN TURING.

(von links nach rechts gelesen) dasselbe Wort ergeben wie die (von links nach rechts gelesenen) Wörter aus der korrespondierenden unteren Hälfte der zusammengelegten Dominosteine. Dazu darf man eine beliebige Anzahl von Dominosteinen aus der gegebenen Menge in beliebiger Reihenfolge nutzen. Eine solche Liste von Dominosteinen nennt man ein Match. Für die Beispielliste (2.2) ist die Folge

$$\left(\begin{matrix} a \\ ab \end{matrix} \right) \left(\begin{matrix} b \\ ca \end{matrix} \right) \left(\begin{matrix} ca \\ a \end{matrix} \right) \left(\begin{matrix} a \\ ab \end{matrix} \right) \left(\begin{matrix} abc \\ c \end{matrix} \right)$$

ein Match. Liest man die obere Hälfte, ergibt sich der String `abcaaabc`, das ist der gleiche String, der sich aus der unteren Hälfte ergibt.

Für manche Mengen von Dominosteinen sieht man leicht, dass es keinen Match geben kann. Beispielsweise hat die folgende Menge

$$\left\{ \left(\begin{matrix} abc \\ ab \end{matrix} \right), \left(\begin{matrix} ca \\ a \end{matrix} \right), \left(\begin{matrix} acc \\ ba \end{matrix} \right) \right\}$$

keinen Match, weil jeder String, den man aus den oberen Wortteilen bildet, länger ist als der entsprechende String aus den unteren Wortteilen.

Das Postsche Korrespondenzproblem besteht darin, festzulegen ob eine beliebige gegebene Menge von Dominosteinen ein Match hat oder nicht. Für dieses

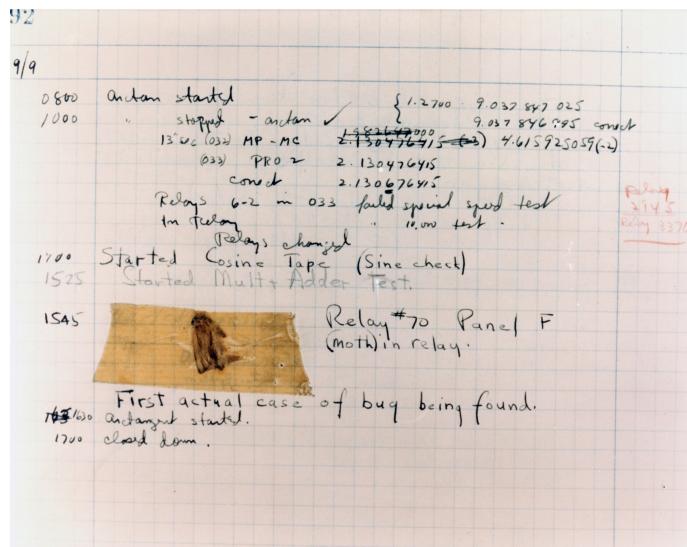


Abbildung 2.19: Der erste Programmbug.

Problem gibt es keinen Algorithmus. Man sagt, das Korrespondenzproblem ist unentscheidbar, das heißt, es gibt keinen Algorithmus, der zu jedem beliebigen Problemfall die richtige Antwort liefert.

Mathematisch rigorose Darstellungen dieses Problems mit Beweis findet man in den Büchern [346], [316] und [103].

2.2 Zeitalter der Rechner der 1. Generation

Die Rechner der ersten Generation hatten einen Schaltungsaufbau aus Elektrorenröhren, eine vertraute Technik, die in Radios bereits ihre Feuerprobe bestanden hatte. Die Operationszeit zur Ausführung eines Rechenschrittes lag bei diesen Rechnern im Mikrosekundenbereich (10^{-3} sek.).

1947

An der University of Manchester, England, wird der Kathodenstrahlspeicher entwickelt. Basierend auf diesem Prinzip entsteht der Rechner MARK I (Manchester) (siehe Abbildung [2.20]).



Abbildung 2.20: Die Manchester MARK I.

Der Mathematiker **George B. Dantzig** (1914 – 2005) entwickelt das Simplex Verfahren, ein heute weit verbreitetes Lösungsverfahren für Optimierungsprobleme.³² Aus diesem Verfahren entwickelte sich das sogenannte *Linear Programming* [123], eine wichtige Teildisziplin des Operations Research.

Der amerikanische Mathematiker JOHN WILEDER TUKEY, der zusammen mit JOHN VON NEUMANN am Design von Computern arbeitet, prägt das Wort **Bit** als Akronym von *binary digit*. In einem Fachartikel erscheint der Begriff erstmals in einer Arbeit von CLAUDE SHANNON im folgenden Jahr.

1948

³²Siehe auch die kurze Biographie von DANTZIG [97].

NORBERT WIENER (1894 – 1964) publiziert die Monographie

Cybernetics, or Control of Communication in Animal and Machine

die den Grundstein der Disziplin der *Kybernetik* legt [386].

Im Dezember gründen ECKERT und MAUCHLY die **Eckert–Mauchly Computer Corporation**, das erste kommerzielle Unternehmen, dessen Ziel der Bau und Verkauf von Computern war.

Die beiden amerikanischen Elektroingenieure BERNARD SILVER (1924 – 1963) und NORMAN JOSEPH WOODLAND (1921 – 2012) entwickeln den Barcode.

1949

Die beiden amerikanischen Mathematiker NIKOLAS METROPOLIS und STANISLAW ULAM publizieren einen Artikel über das **Monte Carlo Verfahren** [258].

CLAUDE SHANNON veröffentlicht eine Arbeit mit dem Titel

Programming a Computer for Playing Chess

[336]. In dieser Arbeit beschreibt SHANNON, wie eine Maschine oder ein Computer dazu gebracht werden könnte, eine vernünftige Schachpartie zu spielen. Sein Verfahren, bei dem der Computer über den auszuführenden Zug entscheidet, ist ein Minimax–Verfahren, das auf einer Bewertungsfunktion einer bestimmten Schachstellung basiert.³³

³³Siehe auch den Beitrag von SHANNON, *A Chess–Playing Machine*, in [275]. Das Minimax–Verfahren ist ein Thema aus der Spieltheorie, siehe zum Beispiel die Bücher von JÖRG BEWERSDORFF [36], RICHARD BRONSON [55] oder FREDERICK HILLIER und GERALD LIEBERMAN [189].

2.3 Zeitalter der Rechner der 2. Generation

Die Rechner der zweiten Generation — dies umfaßt etwa den Zeitraum der Jahre 1955 bis 1964 — zeichnen sich gegenüber den Vorgängern dadurch aus, dass die störanfälligen Vakuumröhren durch die viel kleineren und zuverlässigeren Transistoren ersetzt wurden. Der Schaltungsaufbau der Rechner der zweiten Generation beruht also auf Transistoren. Die Operationszeit solcher Rechner lag im 100 Millisekundenbereich (10^{-4} sec).

Eine weitere Entwicklung dieser Periode war die Ersetzung des Kathodenstrahlröhrenspeichers durch Ferritkerne und magnetischen Trommelspeicher. In diesen Zeitraum fällt auch die Einführung maschinenumabhängiger, höherer Programmiersprachen wie ALGOL, FORTRAN oder COBOL. Auch erste Ansätze von Betriebssystemen, Compiler und Programmbibliotheken fallen in diese Periode.

1948

Die drei Physiker **William B. Shockley**, **John Bardeen** und **Walter H. Brattain** entwickeln an den Bell Labs den ersten Transistor [307].³⁴ BARDEEN, SHOCKLEY und BRATTAIN erhalten für diese Entwicklung gemeinsam den Physik–Nobelpreis im Jahre 1956.

1948

Claude Elwood Shannon (1916 – 2001) publiziert an den Bell Labs eine richtungsweisende Arbeit mit dem Titel (siehe e.g. [293] oder [337]):

A Mathematical Theory of Communications.

Diese Arbeit bildet die Grundlage der mathematischen Disziplin der *Informationstheorie*. Das wichtigste Resultat seiner Arbeit ist das klassische **Nyquist–Shannon Theorem**. Die Aussage dieses Theorems ist, dass die maximale Datenrate eines Übertragungskanals mit Rauschen der Bandbreite H und Signal–Rausch–Verhältnis $\frac{S}{N}$ durch

$$\text{Maximale Anzahl von Bits pro Sekunde} = \log_2\left(1 + \frac{S}{N}\right)$$

gegeben ist. Die Konsequenzen dieses Theorems sind nicht zu unterschätzen, denn SHANNONS Theorem sagt genau aus, dass es eine naturbedingte Obergrenze für die Übertragung von Nachrichten gibt, egal, welches High–Tech–Equipment man auch verwendet. Ein Beispiel, wo dieses Theorem Anwendung findet, ist eine analoge Telephonleitung, auf der maximal (theoretisch) 30.000 Bits/sec übertragen werden können.

³⁴Eine detaillierte Darstellung dieser bahnbrechenden Erfindung findet man in dem Buch von R. BUDERI [59], chap. 15 oder RIORDAN and HODDESON, [306].



Abbildung 2.21: Die Erfinder des Transistors, BARDEEN, SHOCKLEY und BRATTAIN.

In der Arbeit von SHANNON wird erstmals das Kunstwort *Bit* für *binary digit* als kleinste Informationseinheit verwendet.³⁵

1950

Im Jahre 1950 publiziert **Alan Turing** in der philosophischen Zeitschrift *Mind*³⁶ eine Arbeit mit dem Titel *Computing Machines and Intelligence*, in der er ein Experiment entwirft — den sogenannten **Turing Test** — durch das sich die Frage beantworten lassen soll, ob man Maschinen Intelligenz zuordnen kann. Über den TURING Test siehe [196, 68, 191]. Siehe auch [369].

Im April veröffentlicht der Mathematiker RICHARD W. HAMMING (1915 – 1998) im Bell System Technical Journal eine Arbeit mit dem Titel [173]

Error Detecting and Error Correcting Codes,

wodurch eine neue Disziplin innerhalb der Mathematik und Informationstheorie der fehlererkennenden und fehlerkorrigierenden Codierungen initiiert wurde.³⁷

In den Jahren nach dem 2. Weltkrieg entwickelt sich die mathematische Disziplin **Operations Research**. Zentrale Themen ist die Analyse praxisorientierter,

³⁵Wie SHANNON in seiner Arbeit anmerkt, geht dies auf einen Vorschlag von seinem Mitar-



Abbildung 2.22: RICHARD W. HAMMING (1915 – 1998).

jedoch sehr komplexer Problemstellungen. Zweck ist die Vorbereitung möglichst guter Entscheidungen durch Anwendung fortgeschrittender mathematisch-analytischer Verfahren.³⁸

Der Focus des Operations Research ist die Abbildung eines realen **Entscheidungsproblems** durch ein **Optimierungs-** oder **Simulationsmodell**. Durch die Anwendung von Techniken aus anderen mathematischen Disziplinen wie

- mathematische Modellierung
- statistische Analyse
- mathematische Optimierung

versucht das OR optimale — oder fast-optimale — Lösungen für komplexe Entscheidungsprobleme zu finden.

Ein wesentlicher Aspekt des OR ist die Anwendung oder Entwicklung eines geeigneten Algorithmus zur Lösung des realen Problems. Dabei spielt die Software Unterstützung eine zentrale Rolle.

Operations Resarch umfasst einen weiten Bereich von Lösungsmethoden für die Entscheidungsfindung wie

- Simulationen
- mathematische Optimierung

beiter J.W. TURKEY zurück.

³⁶ *Mind*, October 1950

³⁷ Eine kurze Abhandlung über fehlererkennende und fehlerkorrigierende Codierungen findet man in dem Buch von IVARS PETERSON [289]. Eine empfehlenswerte Einführung in die Codierungstheorie ist das Buch von RAYMOND HILL [188].

³⁸ Wesentliche Entwicklungen zu dieser Disziplin wurden am RAND durchgeführt. Siehe hierzu auch die beiden Artikel von FREDERICK WILLIAM LANCHESTER sowie PHILLIP M. MORSE und GEORGE E. KIMBALL in [275].

- Warteschlangentheorie und andere stochastische Modelle
- MARKOV–Prozesse
- Spieltheorie
- Graphentheorie
- neuronale Netzwerke, Expertensysteme, usw.

1950 - 1952

Der Nachfolger der ENIAC wird von JOHN P. ECKERT und JOHN W. MAUCHLY fertiggestellt. Es handelt sich um den EDVAC, diese Abkürzung steht für

Electronic Discrete Variable Automatic Computer

Der EDVAC stellt gegenüber dem ENIAC einen beträchtlichen Schritt in der Weiterentwicklung des Computers dar. MAUCHLY und ECKERT begannen die Arbeit am EDVAC bereits zwei Jahre, bevor der ENIAC Rechner überhaupt in Betrieb genommen wurde. Die revolutionäre Idee von ECKERT und MAUCHLY war, das Programm für den Computer im Computer selbst zu speichern. Ziel war es mit anderen Worten, die theoretischen Konzepte von JOHN VON NEUMANN zu realisieren. Die Umsetzung dieser Idee war überhaupt erst dadurch möglich, dass der EDVAC mit einem Speicher ausgerüstet werden sollte, der an Kapazität alles bisherige übertreffen sollte.



ComputerHope.com

Abbildung 2.23: Der EDVAC – Rechner.

Die Speicherelemente wurden im EDVAC durch Quecksilberröhren realisiert. In solchen Quecksilberröhren konnte ein elektrischer Impuls beliebig lange hin- und herlaufen und nach Bedarf abgelesen werden. Dies ist also eine weitere Methode, die beiden Zustände 0 und 1 zu speichern. Diese Möglichkeit des Umschaltens zwischen An und Aus war erforderlich, weil der EDVAC Rechner mit binären Zahlen arbeitete und nicht mehr mit Dezimalzahlen. Diese Speichermethode vereinfachte die Konstruktion der Recheneinheit beträchtlich.

Am Massachusetts Institute of Technology wird in den Jahren 1945 bis 1952 der Whirlwind-Computer nach einem während des Zweiten Weltkrieges vergebenen Auftrag der US-Marine durch JAY FORRESTER und ROBERT EVERETT entwickelt. Der Whirlwind sollte ein Flugsimulator werden, in dem Piloten der US-Marine mit überraschenden Situationen umgehen lernen sollten. FORRESTER und seine Kollegen PERRY CRAWFORD und ROBERT EVERETT bauten zunächst einen Analogrechner, kamen aber nach einer der ersten ENIAC-Demonstrationen auf die Idee, einen Digitalrechner einzusetzen. Es war der erste

Rechner mit Echtzeitverarbeitung und der einen Bildschirm (Kathodenstrahlröhre) als Ausgabegerät verwendete. Das System startete erstmals am 20. April 1951, jedoch hatte das Militär zu diesem Zeitpunkt das Interesse daran verloren.³⁹

Am 31. März 1951 liefert das Eckert–Mauchly Team — mittlerweile von Remington Rand aufgekauft — den **UNIVAC** an das amerikanische Volkszählungsbüro. Damit beginnt das Zeitalter des kommerziellen Verkaufs großer, speicherprogrammierbarer Computer in den USA.

Jay Forrester patentiert den Matrixspeicher.

Maurice Wilkes (1913 – 2010) (University of Cambridge) entwickelt das Konzept der **Mikroprogrammierung**.⁴⁰

GRACE HOPPER entwickelt den ersten Compiler, genannt A-0.



Abbildung 2.24: Grace Hopper in späten Jahren.

Die britische Firma LYONS — bekannt für Teeversand — entwickelt den ersten

³⁹Eine detaillierte Darstellung dieser Entwicklungen findet man in dem Buch von BUDERI [59], Chap. 17.

⁴⁰Siehe dazu den Artikel von DAVID PATTERSON [280].

für betriebliche Zwecke genutzten Rechner LEO — Lyons Electronics Office [407]. Am 17. November 1951 führte LEO (Lyons Electronic Office) ein Programm ein zur *Bewertung der Kosten, Preise und Margen der gebackenen Produktion dieser Woche* beim Teeladenbetreiber *J. Lyon und Company* in England. Die LEO–Adaption des EDSAC war der erste elektronische Computer mit der VON NEUMANN Architektur, der Routineprogramme durchführte.

1952

JOHN VON NEUMANNS IAS Maschine⁴¹ nimmt im Juni am Institute of Advanced Studies in Princeton den Betrieb auf.

THOMAS WATSON JR. wird Präsident der IBM.

Im März 1952 wird am Los Alamos National Laboratory der unter der Leitung von NICHOLAS METROPOLIS (1915 – 1999) entwickelte MANIAC in Betrieb genommen. MANIAC steht für *Mathematical Analyzer, Numerical Integrator and Computer*.

Durch die Präsenz der UNIVAC I im Fernsehen bei der Präsidentenwahl in Amerika — bei der Eisenhower überraschend siegte — und die korrekte Prognose, die UNIVAC lieferte, werden Computer in der breiten Öffentlichkeit bekannt.

HEINZ NIXDORF (1925 – 1985) gründet in Paderborn das gleichnamige Unternehmen. Das Unternehmen stellte in den 70er und 80er Jahren im deutschsprachigen Raum Bürocomputer und darauf abgestimmte Software her und vertrieb sie. Die Nixdorf–Computer lagen von der Leistungsfähigkeit her zwischen den Großrechnern und den in den 70er Jahren aufkommenden Mikrocomputern. Sie waren weniger aufwendig zu bedienen und vor allem wesentlich preisgünstiger als die Großrechner. Für die von NIXDORF (und von Firmen wie Kienzle und Philips) gefertigten Computer wurde der Überbegriff *Mittlere Datentechnik* (midrange–computing) geprägt. Nach dem Tod des Firmengründers ging's bergab und das Unternehmen NIXDORF fusionierte mit dem aus der SIEMENS AG ausgegliederten Bereich Daten– und Informationstechnik zur Siemens Nixdorf Informationssysteme AG (SNI).

Am 4. November 1952 beginnt die *National Security Agency* (NSA) der USA ihre Tätigkeit. Die Behörde schöpft mit vielfältigen Techniken elektronische Informationsflüsse aus dem In- und Ausland ab und liest geheime Nachrichten mit; sie schützt auch die Kommunikation amerikanischer Stellen. Seit der Gründung ist die NSA ein eifriger Computernutzer. 1962 installierte sie ihren ersten Hochleistungsrechner HARVEST. [19]

1953

⁴¹IAS: Institute of Advanced Studies

Die IBM 605 — der sogenannte *Magnetic Drum Calculator* — wird fertiggestellt und wird der erste in Serie produzierte Computer.

NICHOLAS METROPOLIS und fünf weitere Autoren [259] publizieren einen Artikel mit dem Titel

Equations of State Calculations by Fast Computing Machines.

In dieser Arbeit stellen die Autoren ein Lösungsverfahren vor für Probleme in der Physik, die aufgrund der zufälligen kinetischen Bewegung von Atomen und Molekülen entstehen. Die messbaren Größen des Systems⁴² sind Erwartungswerte über die Verteilung der Lokationen, Orientierungen und Geschwindigkeiten der Atome oder Moleküle. In dieser Arbeit von METROPOLIS *et al.* wird erstmals der **Metropolis Simulationsalgorithmus** — auch **Monte Carlo Algorithmus** genannt — publiziert. Dieser Algorithmus zählt unter Experten zu den zehn einflussreichsten Algorithmen für die Fortentwicklung von Wissenschaft und Technik.⁴³

1954–1956

JOHN BACKUS beginnt die Arbeit an einem FORTRAN (FORmula TRANslator) Compiler. Ziel ist die Entwicklung einer Programmiersprache für wissenschaftliche Problemstellungen.

1955

Bezeichnet man die Röhrenrechner als Rechner der ersten Generation, so begann mit dem Bau der transistorbestückten Rechner die zweite Generation.

IBM bringt das Modell 704 auf den Markt. Dies ist die erste Maschine mit einer speziellen Einheit zur Berechnung von Gleitkommazahlen (Floating Point). Federführender Architekt ist **Gene Amdahl** (1922 – 2015).

In den Bell Laboratories wurde am 19. März 1955 der erste Rechner basierend auf der Transistorstechnologie vorgestellt, der TRADIC, siehe Abbildung [2.26]. Dieses Kürzel steht für *Transistor Digital Computer*. Dieser für die US-Luftwaffe gebaute Rechner hatte rund 800 Transistoren, 11.000 Germanium-Dioden und erforderte nur eine Leistung von knapp 100 Watt.

WILLIAM SHOCKLEY gründet in Palo Alto das *Semiconductor Laboratory*. Dies wird zum Ausgangspunkt für das legendäre **Silicon Valley**.

⁴²Zum Beispiel Temperatur oder Druck.

⁴³Siehe dazu die Liste der zehn einflussreichsten Algorithmen in [74].



Abbildung 2.25: Der IBM 704 Rechner.

Am 2. Oktober wird der ENIAC-Rechner nach 11jährigem Betrieb zum letzten Mal heruntergefahren.

1956

Am Dartmouth College, Hanover, New Hampshire, findet eine zweimonatige Konferenz mit dem Titel *Dartmouth Summer Research Project of Artificial Intelligence* statt. Teilnehmer sind u.a. **John McCarthy**, **Marvin Minsky** und **Claude Shannon**. Diese Konferenz gilt als die Geburtsstunde der *Künstlichen Intelligenz* (siehe [318]).

Unternehmen	Umsatz	Gewinn	Beschäftigte
General Electric	2.96 Milliarden \$	213 Millionen \$	210.000
Western Electric	1.5 Milliarden \$	55 Millionen \$	98.000
RCA	940 Millionen \$	40 Millionen \$	70.500
IBM	461 Millionen \$	46.5 Millionen \$	46.500
NCR	259 Millionen \$	12.7 Millionen \$	37.000
Honeywell	229 Millionen \$	15.3 Millionen \$	25.000
Remington Rand	225 Millionen \$	12.2 Millionen \$	37.000
Raytheon	177 Millionen \$	3.5 Millionen \$	18.700
Burroughs	169 Millionen \$	7.8 Millionen \$	20.000

Tabelle 2.2: Rangliste von Computerherstellern in den USA 1955 (aus [69]).



Abbildung 2.26: TRADIC, der erste transistorbasierte Rechner.

IBM startet das Projekt 7030 (Stretch – Project) um Supercomputer für das Los Alamos National Laboratory zu produzieren. Der Stretch-Ingenieur WERNER BUCHHOLZ (1922 – 2019) prägt den Begriff *Byte* für 8 Bit. Bei der Konstruktion des Stretch Computers wurden Transistoren anstelle von Vakuumröhren verwendet, was die Performance um den Faktor 100 gegenüber dem IBM 704 System erhöhte.

Die Entwickler des Stretch Projekts setzten zur Erhöhung der Verarbeitungsgeschwindigkeit erstmals **Pipeline Verarbeitung** ein [170, p. 49]. Der klassische VON NEUMANN Rechner verarbeitet die Instruktionen eines Programms sequentiell. Dabei lässt sich die Befehlsverarbeitung aufteilen in die Fetch-, die Decode- und die Execute Phase. Dies nennt man den FDE-Zyklus. Eine Erhöhung der Verarbeitungsgeschwindigkeit wird dadurch erreicht, dass die Fetchphase eines nachfolgenden Befehls bereits ausgeführt wird, wenn die Verarbeitung der aktuelle Instruktion in der Decode-Phase liegt, usw.⁴⁴

IBM führt den 305 RAMAC ein,⁴⁵ der erste kommerzielle Rechner mit einer Festplatte (siehe [180], [169, p. 59] und Abbildung [2.27]). Der Massendatenträger bestand aus einem Stapel von 50 Aluminiumscheiben, jede Scheibe hatte einen Durchmesser von nicht ganz 61 cm (24 Inch), und rotierte mit 1200 Umdrehungen pro Minute. Die Festplatte hat eine Gewicht von etwa einer Tonne sowie eine Kapazität (in heutigen Einheiten) von 4,3 MegaByte.

1957

Die Firma DEC (*Digital Equipment Corporation*) wird von den beiden früheren

⁴⁴Eine umfassende Diskussion des Pipeline Konzepts, das in modernen CPUs Standard ist, findet man in der Monographie von PATTERSON und HENNESSY [283, Chap. 6].

⁴⁵Das Akronym RAMAC steht für *Random Access Method of Accounting and Control*.



Abbildung 2.27: Der IBM 305 RAMAC Rechner mit Festplatte. Der IBM 305 RAMAC von 1956 war der erste kommerziell erfolgreiche Computer, der über eine Festplatte verfügte. Links ist das riesige Festplattenlaufwerk aus 50 24-Zoll-Platten zu sehen. Die RAMAC-Nutzerin konnte den Betrieb der Festplatte durch ein Glasfenster beobachten.

MIT Mitarbeitern KENNETH OLSEN (1926 – 2011) und HARLAN ANDERSON gegründet.⁴⁶

Der erste volltransistorisierte Computer, der serienmäßig produziert wurde, war der Siemens-Rechner 2002. IBM bringt den Transistorrechner IBM 7090 auf den Markt, DEC die PDP-1.

JOHN BACKUS und sein Team geben — nach drei Jahren Arbeit — die erste Version des FORTRAN Compilers für die IBM 704 Maschine frei.

Im Silicon Valley wird die Firma *Fairchild Semiconductor Corporation* von ein-

⁴⁶Siehe dazu auch die Monographie von WALDROP, [378], pp. 147.



Abbildung 2.28: Der Siemens 2002 – Großrechner.

stigen Mitarbeitern WILLIAM SHOCKLEYS gegründet.

1958

Die Firma CDC (*Control Data Corporation*) wird gegründet.

Die Programmiersprache ALGOL (*Algorithmic Language*) wird entwickelt (siehe Abbildung [2.29]). ALGOL war keine Programmiersprache, die weite Verbreitung fand. Bei der Entwicklung von ALGOL wurden jedoch eine Reihe von Techniken und Konzepte angewendet, die für die Theoretische Informatik maßgeblich waren. Die Grundlegung der Theoretischen Informatik lässt sich mit der Entwicklung von ALGOL gleichsetzen.

Am 12. September stellt JACK KILBY (1923 – 2005) — Mitarbeiter von Texas Instruments (TI) — den ersten Integrierten Schaltkreis (IC) der Öffentlichkeit vor (siehe Abbildung [2.30]). Im Jahre 2000 erhielt KILBY für seine Erfindung der Physik-Nobelpreis.



Abbildung 2.29: Das ALGOL Kommittee, JOHN McCARTHY, FRITZ BAUER, JOE WEGSTEIN, JOHN BACKUS, PETER NAUR, ALAN PERLIS.



Abbildung 2.30: Der von JACK KILBY entwickelte erste Integrierte Schaltkreis.

SEYMOUR R. CRAY baut mit dem CDC 1604 den ersten volltransistorisierten Supercomputer für Control Data Corporation.

1959

Die Programmiersprache COBOL (*Common Business Oriented Language*) wird aus einer von GRACE HOPPER zuvor entwickelten Programmiersprache abgeleitet. COBOL ist die erste auf kommerzielle Aufgaben abgestimmte Programmiersprache.

Der amerikanische Physiker und Nobelpreisträger RICHARD P. FEYNMAN hält am 29. Dezember eine klassische Rede während des jährlichen Treffens der Amerikanischen Physikgesellschaft am Caltech mit dem Titel

There's Plenty of Room at the Bottom.

Hier skizziert FEYNMAN erstmals die Idee, dass Informationen auf quantenmechanischer Ebene verarbeitet werden können [134].

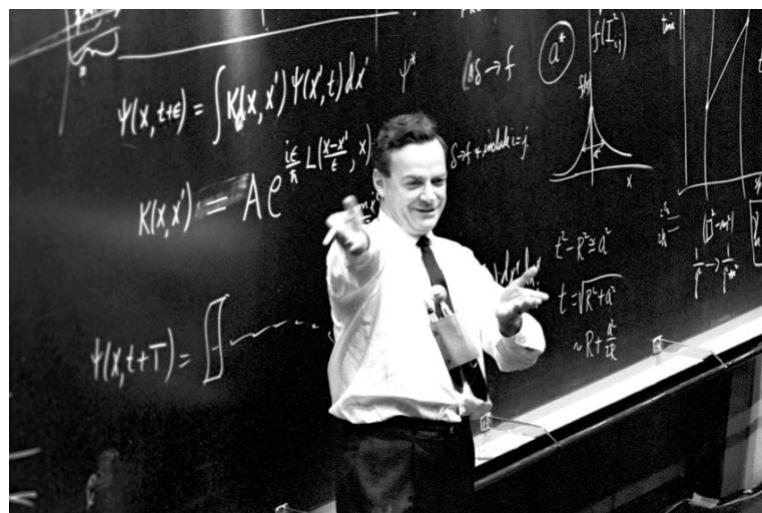


Abbildung 2.31: RICHARD FEYNMAN

EDSGER WYBE DIJKSTRA publiziert⁴⁷ einen Algorithmus — heute bekannt als **Dijkstra–Algorithmus** — der das Problem der kürzesten Pfade für einen gegebenen Startknoten löst. Dieser Algorithmus berechnet somit einen kürzesten Weg zwischen einem gegebenen Startknoten und einem der (oder allen) übrigen Knoten in einem kantengewichteten Graphen.⁴⁸

1960

Der amerikanische Mathematiker JOHN McCARTHY (1927 – 2011) entwickelt am MIT die Programmiersprache LISP. LISP ist ein Akronym für LISt Programming. Die Programmiersprache ist in dem Artikel [248] von McCARTHY dokumentiert.⁴⁹

1961

Beginn der Datenfernverarbeitung (Teleprocessing, IBM).

Die amerikanische Firma Fairchild Semiconductor beginnt mit der Massenpro-

⁴⁷A Note on Two Problems in Connexion with Graphs. Numerische Mathematik 1 (1959), S. 269–271

⁴⁸Dieser Algorithmus wird in dem Buch von JENS GALLENBACHER [149] ausführlich dargestellt.

⁴⁹Siehe dazu [378], pp. 170.



Abbildung 2.32: CLAUDE SHANNON, JOHN McCARTHY, ED FREDKIN und JOSEPH WEIZENBAUM.

duktion von integrierten Schaltkreisen.

Entwicklung des *Compatible Time-Sharing System* (CTSS) am MIT; es war das erste Time-Sharing System und bot mehreren Benutzern parallelen und voneinander abgegrenzten Zugriff auf einen Mainframe. CTSS wurde Anfang der 1960er Jahre am MIT von einem Team unter der Leitung von FERNANDO CORBATO entwickelt und bis 1973 genutzt.

1962

Der Mitarbeiter am Stanford Research Institute (SRI) DOUGLAS ENGELBART erfindet die Maus. Generell untersucht man zu dieser Zeit am SRI die Interaktion zwischen Mensch und Maschine.

1963

Aus der Weiterentwicklung des MIT Compatible Time-Sharing Systems (CTSS) entstand unter der Federführung von FERNANDO CORBATO das Betriebssystem Multics. Multics wurde ab 1963 in Kooperation von MIT, General Electric und den Bell Labs von AT&T entwickelt. 1969 zogen sich die Bell Labs aus dem Projekt zurück. Die Entwicklung wurde von der ARPA finanziell gefördert. Multics gilt als Vorläufer von UNIX.⁵⁰

1964

Die ersten Anfänge der Klasse der Superrechner werden entwickelt. Die UNIVAC LARC (=Livermoore Atomic Research Center) und die IBM 7030. Diese Maschinen enthielten einfache Mechanismen zur Parallelverarbeitung.

⁵⁰Siehe [69], Chapter 5 oder [170, pp. 119–122].

2.4 Zeitalter der Rechner der 3. Generation

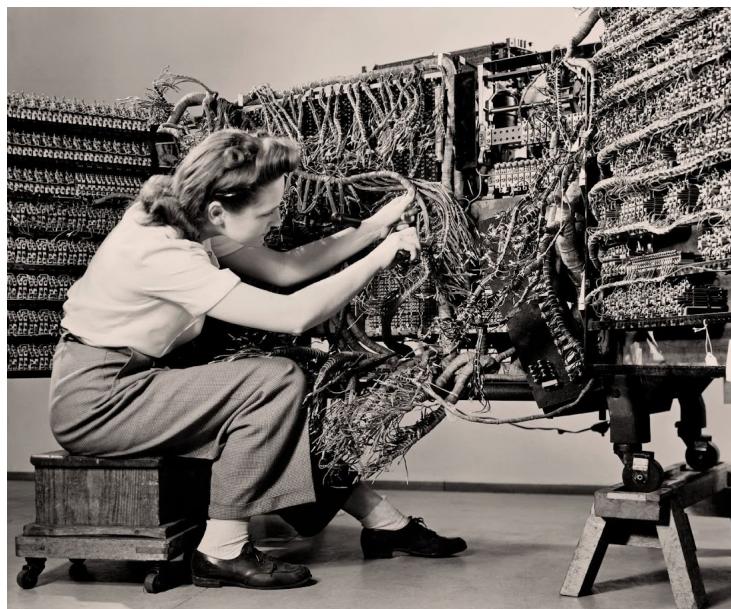


Abbildung 2.33: Das Problem beim Bau und Design von Rechnern in der Zeit vor den integrierten Schaltkreisen ist offensichtlich.

In den Rechnern der dritten Generation werden erstmals integrierte Schaltkreise — sogenannte Chips — als Bauteile verwendet. In diesen Zeitraum fallen weitere Innovationen wie

- die Einführung von Halbleiterspeichern auf IC-Basis,
- die Verwendung von *Mikroprogrammierung*,
- Techniken zur Parallelverarbeitung und Bau entsprechender Rechnerarchitekturen,
- leistungsfähige Betriebssysteme zur Verwaltung aller Betriebsmittel eines Rechners.

Ein Chip ist ein dünnes Siliziumplättchen, auf das die Transistorschaltung in einem komplexen Herstellungsprozeß aufgebracht wird. Die Fläche des Chips beträgt etwa 100 mm^2 oder weniger, seine Höhe beträgt nur etwa $1/10 \text{ mm}$. Die Höhe der aktiven Schicht ist noch erheblich geringer. In der aktiven Schicht finden sich Transistoren, Dioden, Widerstände und die Leitungen.

Zunächst waren auf den Chips nur etwa 100 Schaltungen aufgebracht, die Operationszeit der Computer, die mit diesen Chips bestückt waren, lag im Mikrosekundenbereich (10^{-6} sec).

1960 – 1970

Durch das Raumfahrtprogramm der NASA mit dem von JOHN F. KENNEDY proklamierten Ziel der Landung einer amerikanischen Raumfähre auf dem Mond, wurde die Entwicklung kleinerer und leistungsfähigerer Computer forcierter. Dies war unter anderem die Triebfeder der Entwicklung der integrierten Schaltkreise, bei denen auf einem einzelnen Chip zunächst etwa 100 Schaltungen untergebracht waren.

1962

Im Jahre 1962 beginnt DONALD E. KNUTH mit dem mehrbändigen, bis heute nicht abgeschlossenen, epochalen Werk

The Art of Computer Programming

Die bisher erschienenen drei Bände [221, 222, 223] stellen die 'Bibel' der Algorithmik dar.⁵¹ Siehe auch [46, 45].



Abbildung 2.34: DONALD KNUTH (links) mit STEVE WOZNIAK.

Die Reihe ist wie folgt geplant:

Volume 1. Fundamental Algorithms (Erstausgabe 1968)

- Chapter 1: Basic Concepts
- Chapter 2: Information Structures

Volume 2. Seminumerical Algorithms (Erstausgabe 1969)

⁵¹Siehe auch Donald E. Knuths Homepage

<http://www-cs-faculty.stanford.edu/~knuth>

- Chapter 3: Random Numbers
- Chapter 4: Arithmetic

Volume 3. Sorting and Searching (Erstausgabe 1973)

- Chapter 5: Sorting
- Chapter 6: Searching

Volume 4. Combinatorial Algorithms (Erstausgabe 2011)

- Chapter 7: Combinatorial Searching
- Chapter 8: Recursion

Volume 5. Syntactical Algorithms (geplanter Veröffentlichungstermin 2020)

- Chapter 9: Lexical Scanning
- Chapter 10: Parsing

Volume 6. The Theory of Context Free Languages

- Chapter 11: The Theory of Context Free Languages

Volume 7. Compilers

- Chapter 12: Compilers

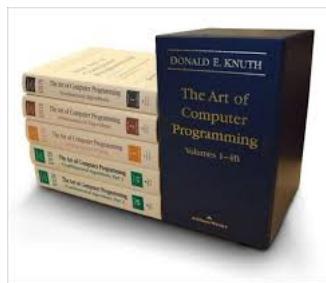


Abbildung 2.35: Die Buchreihe *The Art of Computer Programming*.

H. Ross Perot gründet die Firma *Electronic Data Systems* (EDS)

Am 10. Juli 1962 wird der Satellit Telstar 1 von Cape Canaveral aus mit einer Rakete des Typs Delta ins All geschossen. Telstar 1 war der erste aktive Kommunikationssatellit, eine gemeinsame Entwicklung der NASA und der Bell

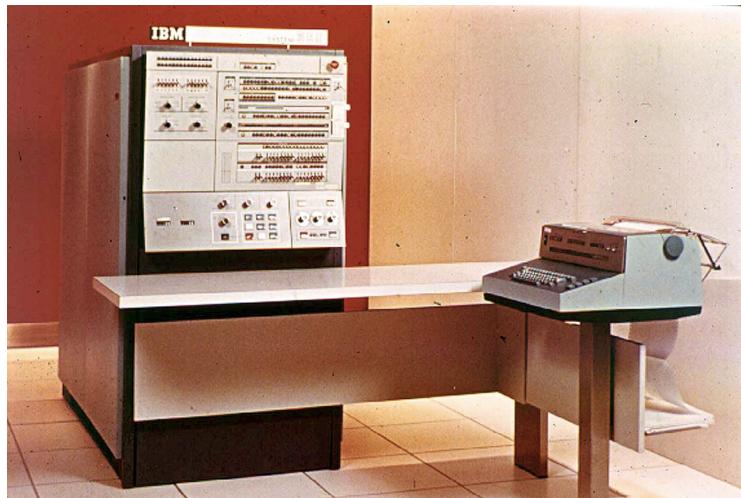


Abbildung 2.36: Das IBM Großrechnersystem /360.

Labs. Noch im selben Monat wurde mit einer Rede des amerikanischen Präsidenten JOHN F. KENNEDY die erste Live-Fernsehsendung zwischen den USA und Europa übertragen.

1963

Das *American National Standards Institute* (ANSI) akzeptiert den 7-Bit ASCII⁵² Code als Standardcodierung für den Informationsaustausch.

Das *Institute of Radio Engineers* (IRE) und das *American Institute of Electrical Engineers* fusionieren zum **Institute of Electrical and Electronics Engineers** (IEEE).⁵³.

⁵²ASCII = American Standard Code for Information Interchange.

⁵³Siehe auch die URL: <http://www.ieee.org>.

Intermezzo V: Das IEEE



Ein Schwergewicht in der Welt der Standards bildet das **Institute of Electrical and Electronics Engineers** (IEEE). Das IEEE ist die größte professionelle technische Gesellschaft und wurde im Jahre 1884 von einer Handvoll Praktiker der damals gerade aufkommenden neuen Disziplin des elektrischen Ingenieurs gegründet. Im Jahre 2021 verzeichnete diese Organisation über 400.000 Mitglieder in mehr als 160 Ländern. Neben der Publikation von Zeitschriften oder der alljährlichen Organisation zahlreicher Meetings und Symposien, unterhält das IEEE eine Reihe unterschiedlicher Standardisierungsgruppen, deren Aufgabe u.a. das Erstellen von Normen für die Computerwelt ist. Beispielsweise ist der IEEE Standard IEEE 802 die Meßlatte für lokale Netzwerke. Dieses Maß aller Dinge im Bereich lokale Netzwerke wurde von der ISO als Norm ISO 8802 übernommen.

Wenn in Computerkreisen vom IEEE die Rede ist, ist eigentlich stets die Projektgruppe 802 gemeint. Diese ist — wie erwähnt — zuständig für Standardisierung im lokalen Netzwerkbereich, aber auch in geographisch übergreifenden Netzen (*i.e.* LAN und WAN). In der Tabelle [2.3] sind wichtige IEEE-Arbeitsgruppen und ihre Tätigkeitsfelder aufgelistet.

Weitere IEEE Standards, die in der IT-Welt benutzt werden sind:

- IEEE 754 Standardformat für Gleitkommazahlen,
 - IEEE 1394 Firewire Spezifikation,
 - Verschiedene Standardisierungen von Programmiersprachen.
-

In den USA beginnt das *Semi Automatic Ground Environment* System (SAGE), ein zentralisiertes militärisches elektronisches Abwehrsystem, zu arbeiten. Die ersten Entwicklungen des SAGE Projektes gehen zurück in das Jahr 1952. Die Gesamtkosten des SAGE Projektes beliefen sich auf über 8 Milliarden US-Dollar. Das SAGE System verband Kontinent überdeckend Frühwarn-Radarsysteme direkt mit Anti-Flugkörper Raketen und Abfangjäger; dabei wurden erstmals Echtzeitdaten verarbeitet und übertragen. Viele Techniken, die für dieses Pro-

Arbeitsgruppen	Aktuelle Tätigkeit
802.1 Higher Layer LAN Protocols	–
802.2 Logical Link Control	inaktiv
802.3 CSMA/CD und 100BaseT	Standardisierung des Gigabit Ethernet für IEEE 802.3z abgeschlossen
802.4 Token Bus	Standard 802.3ad – Link aggregation
802.5 Token Ring	z. Zt. inaktiv
802.6 MAN	Standardisierung des 100 Mbit/s High Speed Token Ring (HSTR) als IEEE 802.5t abgeschlossen
802.7 Broadband Tag (BBTAG)	z. Zt. inaktiv
802.8 Fiber Optic Tag (FOTAG)	erarbeitet praktische Empfehlungen zur Glasfasertechnik
802.9 Integrated Services LAN (ISLAN)	–
802.10 Standard for Inoperative LAN Security	Abschlussaktivitäten dieser Arbeitsgruppe
802.11 Wireless LAN (WLAN)	erarbeitet Vorschläge zur Verbesserung der Übertragungsgeschwindigkeit
802.12 Demand Priority Access Method	–
802.13 nicht verwendet	Basisstandard festgelegt
802.14 Kabelmodems, Datenkommunikation über TV Kabelnetze	Im Frühjahr 1999 ins Leben gerufen – Kommunikation verschiedener Funk-Endgeräte (PC, Handy, Pager, usw.) untereinander, Bluetooth
802.15 Wireless Personal Area Network (WPAN)	Im Frühjahr 1999 ins Leben gerufen – Spezifikation des physikalischen und des MAC-Layers zur Definition von Standards für die kabellose Breitbandkommunikation.
802.16 Broadband Wireless Access	–

Tabelle 2.3: Die Projektgruppe 802 des IEEE.

jeekt entwickelt werden, zeigten sich als zukunftsweisend für die gesamte Computerindustrie.

Das SAGE System bestand aus 24 *direction centers* und drei Befehlszentren, deren Standorte über die gesamte USA verteilt waren. Die direction center waren mit zwei AN/FSQ-7 Computer ausgestattet, die ersten Mainframes von IBM. Die AN/FSQ-7 Rechner waren zum damaligen Zeitpunkt die schnellsten, größten und teuersten Computer. Jede dieser Mainframes enthielt 55.000 Vaku umröhren und hatte ein Gewicht von 275 Tonnen. Analoge Signale von Radar Frühwarnsystemen wurden in digitale Signale umgewandelt und über das AT&T Telefonnetz zu den direction centers übermittelt. Die Mainframes entschieden in Echtzeit, ob das Radarsignal das Echo eines freundlichen oder feindlichen Flugzeugs war. Falls das Radarsignal ein sich näherrnder feindlicher Bomber symbolisierte, wurden automatisch Details über die Flugbahn des Bombers zu nächstgelegenen Abwehrinheit übertragen.⁵⁴

1964

⁵⁴ Siehe dazu [59] und [324, pp. 153].

IBM stellt das Großrechnersystem System/360 der Öffentlichkeit vor, was die dritte Computergeneration einläutet (siehe [9]).

Im HNF Blog erfährt man das Folgende:

Im Frühjahr 1964 wurden Computer noch nicht in San Francisco und Umgebung enthüllt. 200 Journalisten und eingeladene Gäste bestiegen um 8.30 Uhr einen Sonderzug in New York und fuhren gut hundert Kilometer nach Norden. Dort befand sich im Ort Poughkeepsie eine Fabrik von IBM, wo am 7. April 1964 eine besondere Präsentation anstand. In 165 anderen Städten und in vierzehn Ländern außerhalb der USA fanden IBM-Termine zum gleichen Thema statt.

Das war das System/360. In Poughkeepsie, gesprochen „Pokipsi“, trat IBM-Chef Thomas Watson junior vor die Presse. Die Windrose hinter ihm deutete an, was zu jener Zahl geführt hatte: die 360 Grade des Horizonts. Ähnlich komplett sollte die neue Computerfamilie des Herstellers sein. Sie eignete sich nicht nur für Wirtschaft und Verwaltung, sondern auch für Wissenschaft und Technik und deckte die unterschiedlichsten Anforderungen ab. Wer von einer Version zu einer größeren oder schnelleren wechselte, konnte seine alten Computerprogramme problemlos weiterbenutzen.

Mit anderen Worten, IBM hatte die Kompatibilität erfunden: Software, die auf einer 360-Maschine lief, funktionierte auch auf allen anderen. Mitnehmen konnte man die neuen Rechner noch nicht; die Auslieferung an die Kunden wurde erst für das dritte Quartal 1965 angekündigt. Die Preise standen aber schon fest. Sie reichten von 133.000 Dollar für die kleinste Ausführung bis 5,5 Millionen für das Spitzenmodell. Wer eine IBM 360 nur mietete, zahlte je nach Hardware zwischen 2.700 und 115.000 Dollar im Monat.

Das Konzept für das Computersystem entsprang einer zwölfköpfigen Arbeitsgruppe von IBM-Managern und -Ingenieuren. Sie trafen sich im November und Dezember 1961 in einem Motel im US-Bundesstaat Connecticut. Ihr Bericht lag am 28. Dezember 1961 vor; er war der Ausgangspunkt für die weiteren Arbeiten. Insgesamt steckte IBM fünf Milliarden Dollar in dieses Projekt. Die Firma machte 1961 einen Umsatz von mehr als zwei Milliarden, sie ging ein immenses Risiko rein. Die Presse sprach von Glücksspiel und „betting the company“.

Die Entwicklung des Systems/360 und seiner Software leitete der dreißigjährige FREDERICK BROOKS. Er hatte Mathematik und Physik studiert; 1956 promovierte er in Harvard beim Computerpionier HOWARD AIKEN und ging danach zur IBM. Für die Mikroelektronik war der gebürtige Deutsche ERICH BLOCH zuständig. Als Junge floh er vor den Nazis in die Schweiz; 1948 emigrierte er in die USA. Ein weiterer Top-Entwickler war der Physiker GENE AMDAHL. Er wurde später durch seine eigene Computerfirma bekannt.

Die Computer der ursprünglichen 360-Familie verwendeten noch keine integrierten Schaltungen. IBM setzte stattdessen auf die Solid Logic Technology oder SLT. Die Technik ermöglichte zwischen 33.000 und 750.000 Additionen pro Sekunde. Die Schaltkreise auf Halbzoll-Keramikplättchen bildeten den Höhepunkt und Abschluss der Miniaturisierung von einzelnen Transistoren und Dioden. Ab

1968 drangen integrierte Schaltungen aber auch in IBM-Produkte ein.

Das kleinste 360-Modell, die IBM 360/20, wurde am Standort Böblingen entwickelt und gefertigt. Es sollte ältere Systeme für die Datenverarbeitung mit Lochkarten ersetzen. Die deutsche IBM war ein großer Erfolg; allein in den USA liefen mehr als 7.400 Rechner. Das Bild der Computerfamilie wurde aber durch die teuren Modelle und ihre eindrucksvollen Schaltbretter geprägt. Das eindrucksvollste zierte die IBM 360/91, die ab 1968 für die NASA arbeitete. Das war auch der Computer, der IBM einen jahrelangen Rechtsstreit mit der Konkurrenz von Control Data bescherte.

Das Risiko, das die Firma mit dem System/360 einging, zahlte sich bald aus. Vier Wochen nach der Präsentation waren tausend Bestellungen eingetroffen. Ende 1966 hatte IBM über siebentausend Anlagen installiert und 25.000 neue Mitarbeiter eingestellt. In jedem Monat verließen eintausend Systeme die Fabriken. Von 1964 bis 1970 stieg der Umsatz von 3,2 auf 7,5 Milliarden Dollar; der Gewinn übersprang die Milliardengrenze. Die Belegschaft wuchs auf 269.000 Köpfe. Noch 1989 bestritten 360-Systeme und ihre Abkömmlinge mehr als die Hälfte der IBM-Einkünfte.

Eine besondere Hinterlassenschaft der Mainframes ist das Byte. Zwar erfand der in Detmold geborenen IBM-Ingenieur WERNER BUCHHOLZ das Maß schon in den 1950er-Jahren, doch die 360-Rechner machten es weltweit populär. Ein literarisches Erbe ist das Buch *Vom Mythos des Mann-Monats* [56]; FRED BROOKS legte darin 1975 seine Erfahrungen als Projektleiter nieder; er verfasste das Werk natürlich erst nach dem Weggang von IBM. Es zählt zu den Klassikern des Software-Engineerings.⁵⁵

Das System/360 sicherte Jahrzehntlang die Vormachtstellung von Big Blue im globalen Computermarkt und prägte das Bild des Computers in der Öffentlichkeit. Brachten die großen Maschinen zunächst die Zukunft, so galten sie bald als Bedrohung von Freiheit und Privatsphäre. Heute sind die IBM-Rechner nur den Experten bekannt.

An der Dartmouth University wird die Programmiersprache BASIC (Beginner's All-purpose Symbolic Instruction Code) von **John G. Kemeny** und **Thomas E. Kurtz** entwickelt.

IBM entwickelt das erste Computer Aided Design (CAD) System.

Mit einer Geschwindigkeit von 9 MegaFlops beansprucht Control Data Corporation für ihre CDC 6600 — gebaut von Seymour Cray — den Titel des ersten kommerziellen Superrechners.

⁵⁵ Die amerikanische Originalfassung ist online verfügbar unter <https://github.com/AlexGalhardo/Software-Engineering/blob/master/Book%20-%20Brooks%201974%20-%20The%20Mythical%20Man-Month%20Essays%20on%20Software%20Engineering%20-%202nd%20Edition.pdf>.

1965

Gordon Moore formuliert das MOOREsche Gesetz, demzufolge sich die Anzahl der Transistoren auf einem Chip etwa alle 18 Monate verdoppelt [266]. Diese Gesetzmäßigkeit hat sich bis heute bewahrheitet.⁵⁶



Abbildung 2.37: GORDON MOORE

⁵⁶Einen Überblick der zukünftigen Mikroprozessorentwicklung findet man in dem Artikel von ARNDT BODE und HERBERT CORNELIUS [43].

Jahr	Prozessor	Anzahl Transistoren
1971	4004	2.300
1972	8008	3.500
1974	8080	6.000
1978	8086	29.000
1982	80286	134.000
1985	80386	275.000
1989	80486	1.200.000
1993	Pentium I	3.100.000
1995	Pentium Pro	5.500.000
1998	Pentium II	7.500.000
1999	Pentium III	9.500.000
2000	Pentium IV	42.000.000
2001	Itanium	25.000.000
2003	Pentium M	77.000.000
2003	Itanium II	220.000.000
2006	Core 2 Duo	291.000.000
2006	Core 2 Quad	582.000.000
2006	Dual Core Itanium 2	1.700.000.000
2008	Core i7	731.000.000
2011	Core i7 3930K	2.270.000.000
2013	Nvidia Grafik Prozessor	7.100.000.000
2017	SPARC64 XII (Fujitsu)	5.450.000.000
2019	AMD Ryzen	9.890.000.000
2019	AMD Epic Rome	30.540.000.000

Ein aktuelle Liste der Anzahl der Transistoren pro Chip findet man unter der URL: https://en.wikipedia.org/wiki/Transistor_count.

Ein weiteres Kriterium der fortschreitenden Miniaturisierung ist die Dichte der Leitungen, *i.e.* der Abstand der Leitungen auf einem Chip. Diesen Parameter nennt man in der Chiptechnologie **Strukturgröße**.

Jahr	Prozessor	Strukturgröße
1971	Intel 4004	10 μm
1984	Intel i386DX	1.5 μm
1992	Intel i486DX2-66	0.8 μm
1993	Intel Pentium P5	0.8 μm
1999	AMD Athlon	0.25...0.18 μm
2002	Infenion Speicherchip	140 nm
2007	Intel Core 2 Duo	45 nm
2010	Intel Core i3	32 nm
2019	AMD Ryzen	7 nm
2020	M1	5 nm
2024	M4	3 nm

Anmerkung: Es werden die Einheiten μm = Mikrometer und nm = Nanometer verwendet. Es ist

$$1\mu\text{m} = 10^{-6}\text{m}, \quad 1\text{nm} = 10^{-9}\text{m}.$$

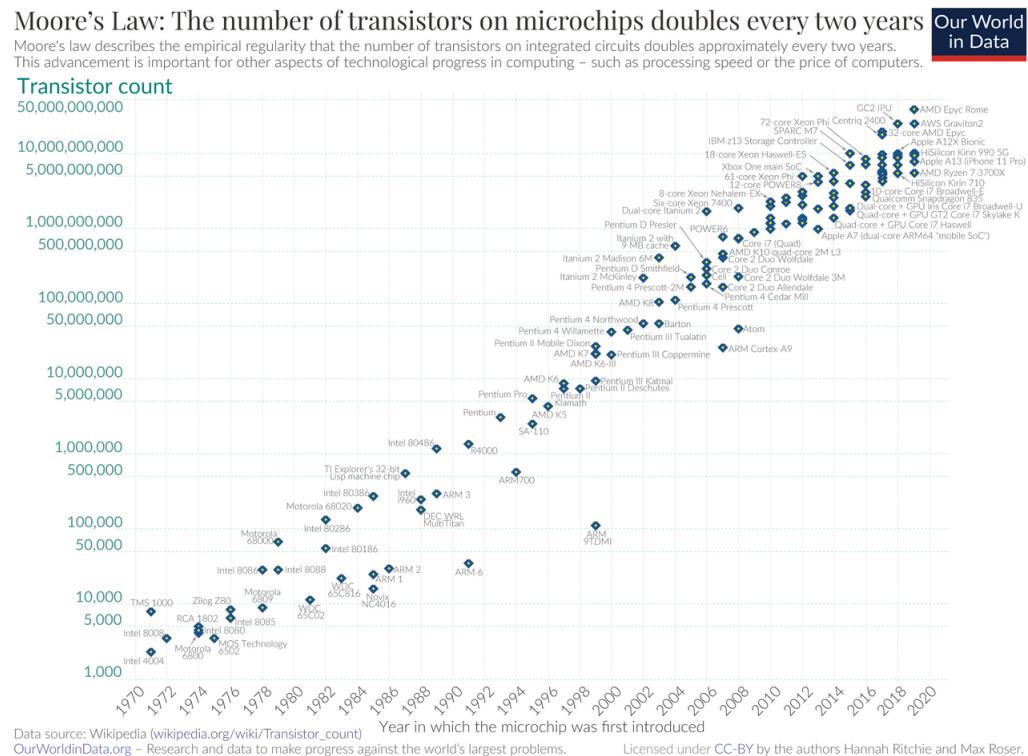


Abbildung 2.38: Anzahl der Transistoren pro Chip von Prozessoren.

Lotfi Zadeh entwickelt die **Fuzzy–Logik** ([397]).

Die Digital Equipment Corporation (DEC) stellt den ersten Prozessrechner vor, den PDP-8, der in Serie gebaut wurde. Im PDP-8 werden Transistorschaltkreise eingesetzt.

MAURICE WILKES schlägt die Benutzung von **Cache–Speichern** vor. Dies basiert auf einer Idee von GORDON SCAROTT

Im Juni 1965 wurde in den USA einer der ersten Doktortitel in Informatik an MARY KENNETH KELLER — eine US-amerikanische katholische Ordensschwester

ster — vergeben. KELLER wird eine Mitwirkung an der Entwicklung der Programmiersprache BASIC zugeschrieben, welche vor allem aufgrund eines Fotos, das sie zusammen mit einem Lerncomputer zeigt, das in den sozialen Medien kursiert, konstatiert wurde. In einem Interview erinnert sich THOMAS E. KURTZ, einer der beiden Entwickler von BASIC, allerdings nicht an KELLER und schließt ihre Mitwirkung bei der Entwicklung der Programmiersprache aus.



Abbildung 2.39: Schwester MARY K. KELLER

1966

MICHAEL J. FLYNN veröffentlicht eine Arbeit, in der die architektonische Taxonomie von Computersystemen beschrieben wird.

Am 14. Februar wird in Nürnberg die Genossenschaft DATEV gegründet. Initiatoren waren HEINZ SEBIGER und JOACHIM MATTHEUS. Die Datev eG ist ein Softwarehaus und IT-Dienstleister für Steuerberater, Wirtschaftsprüfer und Rechtsanwälte, aber auch für deren Mandanten, wie mittelständische Unternehmen, Kommunen, Vereine und Institutionen. Der Schwerpunkt liegt im Steuerberatermarkt.

Die **Association for Computing Machinery**, kurz ACM,⁵⁷ die 1947 gegründete amerikanische Vereinigung von Informatikern mit Sitz in New York City, verleiht ab 1966 jährlich den **A. M. Turing Award**, benannt nach ALAN TU-

⁵⁷ Siehe die URL: <http://www.acm.org>.

RING. In Fachkreisen wird diese Auszeichnung gleichwertig zu dem Nobel-Preis angesehen.

Intermezzo VI: Turing Award Preisträger

Seit 1966 sind die Preisträger:

1966 A. J. PERLIS (1922 — 1990)

Für seine Beiträge im Bereich der fortgeschrittenen Programmiertechniken und des Compilerbaus.

1967 MAURICE V. WILKES (1913 — 2010)

Für das Design und den Bau des EDSAC Computers.

1968 RICHARD HAMMING (1915 – 1998)

Für seine Arbeiten über numerische Methoden, automatische Codierungssysteme und Fehler-erkennende und Fehler-korrigierende Codierungen.

1969 MARVIN MINSKY, MIT (1927 – 2016)

Für seine zentrale Rolle bei der Erschaffung, Untersuchung und Verbreitung der Disziplin *Künstliche Intelligenz*.

1970 J. H. WILKINSON (1919 – 1986)

Für die Forschung auf dem Gebiet der numerischen Analysis und seine Arbeit über Berechnungen in der Linearen Algebra.

1971 JOHN MCCARTHY (1927 – 2011)

Für seine Forschungsarbeit auf dem Gebiet der künstlichen Intelligenz.

1972 EDGAR W. DIJKSTRA (1930 – 2002)

Für grundlegende Beiträge zur Programmierung als hohe, intellektuelle Herausforderung; für eloquentes Beharren und praktische Demonstration, dass Programme korrekt komponiert und nicht nur in Korrektheit verworfen werden sollten.

1973 CHARLES BACHMAN (1924 – 2017)

Für seine herausragenden Beiträge zur Datenbanktechnologie.

1974 DONALD E. KNUTH (1938 —)

Für seine wichtigen Beiträge zur Analyse von Algorithmen und dem Design von Programmiersprachen, insbesondere für seine Beiträge zur *Art of Programming* durch seine bekannten Bücher in einer fortlaufenden Serie mit diesem Titel [221, 222, 223].

1975 ALLEN NEWELL und HERBERT A. SIMON, RAND Corporation und Carnegie Mellon University

In gemeinsamen wissenschaftlichen Bemühungen über den Zeitraum von zwanzig Jahren — zunächst in Zusammenarbeit mit J. C. SHAW von

der RAND Corporation und anschließend mit zahlreichen Dozenten und Studentenkollegen an der Carnegie–Mellon–Universität, leisteten NEWELL und Co-Empfänger HERBERT A. SIMON grundlegende Beiträge zur künstlichen Intelligenz, zur Psychologie der menschlichen Kognition und zur Listenverarbeitung.

- 1976 MICHAEL O. RABIN (Princeton University) und DANA S. SCOTT (University of Chicago)

Für ihre gemeinsame Arbeit *Finite Automata and Their Decision Problems* [300]. In dieser Arbeit wird das Konzept des nicht-deterministischen endlichen Automaten eingeführt. Nicht-deterministische endliche Automaten sind ein hilfreiches Instrumentarium für viele Zwecke.

- 1977 JOHN BACKUS, IBM (1924 – 2007)

Für tiefgreifende, einflussreiche und dauerhafte Beiträge zur Gestaltung praktischer hochrangiger Programmiersysteme, insbesondere durch seine Arbeit an FORTRAN, und für die wegweisende Veröffentlichung formaler Verfahren zur Spezifikation von Programmiersprachen.

- 1978 ROBERT W. FLOYD, Carnegie Mellon University und Stanford University (1936 – 2001)

Für seinen klaren Einfluss auf die Methoden zur Erstellung effizienter und zuverlässiger Software und zur Unterstützung der Gründung der folgenden wichtigen Teilstufen der Informatik: die Theorie des Parsings, die Semantik der Programmiersprachen, automatische Programmverifizierung, automatische Programmsynthese und Analyse von Algorithmen.

- 1979 KENNETH E. IVERSON, IBM (1920 – 2004)

Für seine bahnbrechenden Bemühungen in der Programmierung von Sprachen und der mathematische Notation, die zu dem führt, was man in der Informatik APL (*A Programming Language*) nennt. Für seine Beiträge zur Implementierung interaktiver Systeme, für die pädagogische Nutzung von APL und Programmiersprachtheorie und -praxis.

- 1980 TONY HOARE, Queen's University Belfast und Oxford University (1934 —)

Für seine grundlegenden Beiträge zur Definition und zum Design von Programmiersprachen.

- 1981 EDGAR F. CODD, IBM (1923 — 2003)

Für seine grundlegenden und fortlaufenden Beiträge zur Theorie und Praxis von Datenbank-Management-Systemen.

- 1982 STEPHEN A. COOK (1939 —)

Für seine Weiterentwicklung unseres Verständnisses der Komplexität der Berechnung auf signifikante und tiefgründige Weise. Sein bahnbrechendes Papier *The Complexity of Theorem Proving Procedures* [84], das 1971 auf dem ACM SIGACT Symposium on the Theory of Computing vorgestellt

wurde, legte er den Grundstein für die Theorie der NP–Komplexität. Die anschließende Erforschung der Grenzen und der Natur der NP–vollständigen Problemklasse war in den letzten zehn Jahren eine der aktivsten und wichtigsten Forschungsaktivitäten in der Informatik.

- 1983 DENNIS M. RITCHIE und KEN THOMPSON
Zusammen mit KEN THOMPSON, für die Entwicklung der generischen Betriebssystemtheorie und speziell für die Implementierung des UNIX–Betriebssystems.
- 1984 NIKLAUS WIRTH, Stanford University und ETH Zürich (1934 – 2024)
Für die Entwicklung einer Reihe innovativer Computersprachen wie EU–LER, ALGOL–W, MODULA und PASCAL. PASCAL ist pädagogisch bedeutsam geworden und hat eine Grundlage für zukünftige Computersprachen, Systeme und Architekturforschung geschaffen.
- 1985 RICHARD M. KARP, University of California, Berkeley (1935 —)
Für seine kontinuierlichen Beiträge zur Theorie der Algorithmen, einschließlich der Entwicklung effizienter Algorithmen für den Netzwerkfluss und andere kombinatorische Optimierungsprobleme. Die Identifizierung der Polynomzeit–Berechnungsfähigkeit mit dem intuitiven Begriff der algorithmischen Effizienz und vor allem Beiträge zur Theorie der NP–Vervollständigung. KARP führte die gängige Standardmethodik ein, um Probleme als NP–vollständig zu beweisen, was zur Identifizierung vieler theoretischer und praktischer Probleme als rechnerisch schwierig geführt hat.
- 1986 JOHN HOPCROFT (1939 –) und ROBERT TARJAN (1948 –)
Für grundlegende Leistungen bei der Konzeption und Analyse von Algorithmen und Datenstrukturen.
- 1987 JOHN COCKE, IBM (1925 – 2002)
Für bedeutende Beiträge in der Konzeption und Theorie von Compilern, der Architektur großer Systeme und der Entwicklung der RISC–Technologie; zur Entdeckung und Systemisierung vieler grundlegender Operationen zur Optimierung von Compilern.
- 1988 IVAN SUTHERLAND, Stanford University, Harvard University, University of Utah, CalTech
or his pioneering and visionary contributions to computer graphics, starting with Sketchpad, and continuing after
- 1989 WILLIAM KAHAH University of Berkeley
Für seine grundlegenden Beiträge zur numerischen Analyse. Einer der führenden Experten für Gleitkommaberechnungen.
- 1990 FERNANDO J. CORBATO, MIT (1926 – 2019)
Für seine wegweisenden Arbeiten bei der Entwicklung der Konzepte für general–purpose, large–scale Time–sharing Computersysteme CTSS und Multics.

1991 ROBIN MILNER, Cambridge University und University of Edinburgh (1934 – 2010)

Für drei verschiedene Leistungen:

- LCF, die Mechanisierung von Scotts Logic of Computable Functions, wahrscheinlich das erste theoretisch basierende und dennoch praktische Werkzeug für die maschinell unterstützte Proof-Konstruktion;
- ML (Metalanguage), die erste Sprache, die polymorphe Schlussfolgerungen zusammen mit einem Typ-safe Exception-Handling-Mechanismus enthält;
- CCS, eine allgemeine Theorie der Concurrency.

1992 BUTLER W. LAMPSON, XeroxPARC, DEC und Microsoft (1943 –)

Für Beiträge zur Entwicklung verteilter, persönlicher Rechenumgebungen und der Technologie für deren Umsetzung: Workstations, Netzwerke, Betriebssysteme, Programmiersysteme, Displays, Sicherheit und Dokumentenveröffentlichung.

1993 JURIS HARTMANIS (1928 – 2022) und RICHARD E. STEARNS, General Electric Research Laboratory (1936 –)

Für die Anerkennung ihrer Arbeit, die die Grundlagen für den Bereich der Komplexitätstheorie schuf [178].

1994 EDWARD FEIGENBAUM und RAJ REDDY

1995 MANUEL BLUM, University of California, Berkeley (1938 –)

In Anerkennung seiner Beiträge zu den Grundlagen der Computerkomplexitätstheorie und ihrer Anwendung auf Kryptographie und Programmprüfung.

1996 AMIR PNUELI Courant Institute, NY (1941 – 2009)

Für wegweisende Arbeiten, die Temporale Logik in die Informatik einzuführen, und für herausragende Beiträge zur Programm- und Systemverifizierung.

1997 DOUGLAS ENGELBART (1925 – 2013)

Für eine inspirierende Vision der Zukunft des interaktiven Rechnens und der Erfindung von Schlüsseltechnologien, um diese Vision zu verwirklichen.

1998 JIM GRAY (1944 – 2007/2012)

Für wegweisende Beiträge zur Datenbanktechnologie und Transaktionsverarbeitung.

1999 FREDERICK P. BROOKS, JR., IBM und University of North Carolina at Chapel Hill (1931 – 2022)

Für bahnbrechende Beiträge zur Computer Architektur, Betriebssysteme und Software Engineering.

2000 ANDREW YAO (1946 –)

In Anerkennung seiner grundlegenden Beiträge zur Berechnungstheorie, einschließlich der komplexitätsbasierten Theorie der pseudorandomischen Zahlengenerierung, Kryptographie und Kommunikationskomplexität.

2001 OLE-JOHAN DAHL und KRISTEN NYGAARD

2002 RONALD L. RIVEST, ADI SHAMIR, und LEO ADLEMAN

2003 ALAN KAY (1940 –)

Für die Pionierarbeit zu vielen Ideen zeitgenössischer objektorientierter Programmiersprachen, der Leitung des Smalltalk–Teams und für grundlegende Beiträge zum Personal Computing.

2004 VINTON CERF (1943 –) und ROBERT KAHN (1938 –)

Für die Pionierarbeit bei der Gestaltung der Internetarchitektur, einschließlich der Gestaltung und Implementierung der grundlegenden Kommunikationsprotokolle des Internets, TCP/IP.

2005 PETER NAUR, Kopenhagen (1928 – 2016)

Für grundlegende Beiträge zum Design von Programmiersprachen und der Definition von Algol 60, zum Compilerdesign und zur Kunst und Praxis der Computerprogrammierung.

2006 FRANCES E. ALLEN

2007 EDMUND M. CLARKE, E. ALLEN EMERSON und JOSEPH SIFAKIS

2008 BARBARA LISKOW, MIT (1939 –)

Für Beiträge zu praktischen und theoretischen Grundlagen von Programmiersprachen und Systemgestaltung, insbesondere im Zusammenhang mit Datenabstraktion, Fehlertoleranz und verteiltem Rechnen.

2009 CHARLES THACKER (1943 – 2017)

Für das wegweisende Design und die Realisierung des ersten modernen Personalcomputers — des Alto bei Xerox PARC — und bahnbrechenden Erfindungen und Beiträge zu lokalen Netzwerken (einschließlich des Ethernet), Multiprozessor–Workstations, Kohärenzprotokolle und Tablet–Personalcomputer.

2010 LESLIE VALIANT (1949 –)

Für transformative Beiträge zur Theorie der Berechnung, einschließlich der Theorie des wahrscheinlich korrekten (PAC) Lernens, der Komplexität der Aufzählung und der algebraischen Berechnung und der Theorie des parallelen und verteilten Computing.

2011 JUDEA PEARL

2012 SILVIO MICALI (1954 –) und SHAFI GOLDWASSER (1959 –)

Für die Entwicklung komplexitätstheoretischer Grundlagen für die Wissenschaft der Kryptographie und die Pionierarbeit für effiziente Überprüfung der mathematischen Beweise in der Komplexitätstheorie.

2013 LESLIE LAMPORT

Für grundlegende Beiträge zur Theorie und Praxis verteilter und konkurrierender Systeme, insbesondere die Erfindung von Konzepten wie Kausalität und logische Uhren, Sicherheit und Leben, replizierte Zustandsmaschinen und sequentielle Konsistenz.

2014 MICHAEL STONEBRAKER (1943 –)

Für grundlegende Beiträge zu den Konzepten und Praktiken moderner Datenbanksysteme.

2015 WHITFIELD DIFFIE und MARTIN HELLMAN , Stanford University

Für fundamentale Beiträge zur modernen Kryptographie. DIFFIE und HELLMAN's bahnbrechende Arbeit, *New Directions in Cryptography* [119], liefert die Ideen der Public-key Kryptographie und der Digitalen Signaturen; diese bilden die Grundlagen der meist genutzten Sicherheitsprotokolle im heutigen Internet.

2016 JIM BERNERS-LEE, CERN und MIT.

Für die Erfindung des World Wide Web, die Entwicklung des ersten web browsers, und fundamentale Protokolle und Algorithmen.

2017 JOHN HENNESSY (Stanford University) (1952 –) und DAVID PATTERSON (1947 –) (University of California, Berkeley)

Für die Pionierarbeit bei der Gestaltung und Bewertung von Computerarchitekturen mit anhaltendem Einfluss auf die Mikroprozessorindustrie.

2018 YOSHUA Bengio, GEOFFRY HINTON und YANN LEcun

Für konzeptionelle und technische Durchbrüche, die tiefe neuronale Netze zu einem kritischen Bestandteil des Computers gemacht haben.

2019 EDWIN CATMULL (1945 –) und PAT HANRAHAN (1955 –)

Für grundlegende Beiträge zur 3D-Computergrafik und die Auswirkungen von computergenerierten Bildern (*computer-generated imagery* (CGI)) in der Filmherstellung und anderen Anwendungen.

2020 ALFRED AHO (1941–) und JEFFREY ULLMAN (1942 –) . beide Bell-Labs

Für grundlegende Algorithmen und Theorien, die der Programmiersprachen-Implementierung zugrunde liegen und diese Ergebnisse und die anderer in ihren sehr einflussreichen Büchern synthetisieren, die Generationen von Informatikern ausgebildet haben, [3, 4].

2021 JACK DONGARRA (1950 –)

Für seine bahnbrechenden Beiträge zu numerischen Algorithmen und Bibliotheken, die es einer Hochleistungs-Rechensoftware ermöglichen, mit exponentiellen Hardwareverbesserungen über vier Jahrzehnte Schritt zu halten.

2022 ROBERT METCALFE, MIT

Für die Erfindung, die Entwicklung, die Standardisierung und die Kommerzialisierung des Ethernets.

2023 AVI WIGDERSON (1956 –)

Für grundlegende Beiträge zur Theorie der Berechnung, einschließlich der Umgestaltung unseres Verständnisses der Rolle der Zufälligkeit in der Berechnung und Mathematik und für seine jahrzehntelange intellektuelle Führung in der theoretischen Informatik.

1967

Martin Richards (University of Cambridge) entwickelt die Programmiersprache BCPL (Basic Computer Programming Language), aus der später die Sprache 'C' weiterentwickelt wird.

Ole-Johan Dahl und **Kristen Nygaard** am Norwegischen Computing Center veröffentlichen die erste Version der Programmiersprache SIMULA, die erste objekt-orientierte Programmiersprache.

1968

Die beiden Fairchild Semiconductor Mitarbeiter ROBERT NOYCE (1912 – 1989) und GORDON MOORE (1929 – 2023) gründen zusammen mit ANDY GROVE im Silicon Valley am 18. Juli die *Integrated Electronics Corporation*, kurz Intel [206].⁵⁸

Niklaus Wirth beginnt an der ETH Zürich mit der Entwicklung der Programmiersprache PASCAL.

Auf einer NATO-Konferenz in Garmisch wird der Begriff **Software-Krise** geprägt; die Disziplin **Software-Engineering** beginnt sich zu entwickeln ([272, 62]).⁵⁹

Edsger Dijkstra (siehe Abbildung [2.40]) untersucht die verheerenden Auswirkungen der Verwendung der GOTO-Anweisung in Programmiersprachen. Ein

⁵⁸Siehe dazu auch [306] und die Biographie von ROBERT NOYCE von LESLIE BERLIN [31]. Die Story von Intel kann man in dem Buch von ANDREW GROVE [166] nachlesen.

⁵⁹Zum Themenkreis Qualität von Software siehe den Artikel von WAYT GIBBS, [155].

Letter an den Herausgeber der Zeitschrift *Communications of the ACM* beginnt mit der Feststellung ([120]):

For a number of years I have been familiar with the observation that the quality of programmers is a decreasing function of the frequency of go to statements in the programs they produce

Die **Strukturierte Programmierung** beginnt sich zu entwickeln ([62]). Unter diesem Begriff vereinheitlichen sich eine Reihe von Methoden und Techniken zur Verbesserung der Programmzuverlässigkeit.



Abbildung 2.40: EDSGER WYBE DIJKSTRA, University of Texas, Austin.

Die ersten Computer mit integrierten Schaltkreisen werden von **Burroughs** entwickelt.

Ein *Federal Information Processing Standard* (FIPS) schlägt das Datumsformat YYMMDD vor, die Ursache für das Jahr 2000 Problem.

Am 9. Dezember findet in San Francisco die *Fall Joint Computer Conference* statt. In einer 90 minütigen Demo stellt DOUGLAS ENGELBART die von ihm und seinem 17 köpfigen Team am Stanford Research Institute (SRI), Menlo Park, entwickelten revolutionären Konzepte der Interaktion zwischen Mensch und Computer vor. Unter anderem wurde erstmals die Maustechnik einer breiten Öffentlichkeit präsentiert.⁶⁰

⁶⁰Die komplette 90 minütige Demo von DOUGLAS ENGELBART ist Online unter

sloan.stanford.edu/mousesite/1968Demo.html

Im September beenden LARRY ROBERTS und JERRY ELKIND die Arbeit an einem Vorschlag für den Bau des ersten Interface Message Processors (IMP) und reichen diesen Vorschlag bei der ARPA ein. Interface Message Processors waren die Paketvermittlungsknoten, die von Ende der 1960er bis 1989 zur Verbindung von Teilnehmernetzwerken mit dem ARPANET verwendet wurden. Heute verwendet man dazu Router.



Abbildung 2.41: Bedienfeld eines Interface Message Processors

1969

Unter Federführung der *Advanced Research Project Agency* (ARPA), eine Unterabteilung des amerikanischen Verteidigungsministeriums, wird das Arpanet [168, 26, 27] in Betrieb genommen, das erste Datenübertragungsnetz nach dem Paketübermittlungssystem. Das Arpanet ist der Vorläufer des heutigen INTERNET.⁶¹ Das Arpanet verbindet zunächst die vier Knoten University of California at Los Angeles (UCLA), University of Santa Barbara, University of Utah und das SRI (Stanford Research Institute).⁶²

Der RS-232-C Standard wird veröffentlicht. Dieser erlaubt den standardisierten Datenaustausch zwischen Computern und Peripheriegeräten.

zu sehen.

⁶¹Eine sehr detaillierte Zeittafel über die Geschichte des Internets findet man im WWW unter der URL:

<http://www.heise.de/ix/raven/Web/xml/timeline>.

⁶²Eine ausführliche Beschreibung der Entwicklung des Arpanets findet man in [321].

Am 7. April erscheint das erste **RFC** (*Request for Comments*) von **Steve Crocker**, in dem die Kommunikation zwischen den sogenannten IMPs (Interface Message Processors, heutzutage so etwas wie Router) und den Hostrechnern festgelegt wurde. Bei den öffentlich zugänglichen (im WWW) RFCs⁶³ handelt es sich um technische Reports — herausgegeben von der IETF (Internet Engineering Task Force) — über Spezifikationen der Internet-Standards. Die RFCs sind sämtlich chronologisch nummeriert, gegenwärtig (Herbst 2024) ist man bei etwa 9.600 RFCs angelangt.

Intermezzo VII: RFC – Requests for Comments

Wie der Name schon ausdrückt stellt ein Request for Comments technische Sachverhalte zu Diskussion, allerdings nur während der ersten Prüfungsphase durch die Internet Engineering Task Force. Ist der RFC publiziert und durch allgemeine Anerkennung zu einem inoffiziellen Standard geworden, kann er nicht mehr verändert werden. Kleinere Fehler und Ergänzungen erscheinen als Errata..

Sind größere Änderungen notwendig, wird ein neuer RFC erarbeitet und eingereicht. Dadurch kann sich die Nummerierung des RFCs ändern. Da die alten RFCs nicht aus dem Verkehr gezogen werden, sondern auf ihnen lediglich die Nummer des neuen RFCs vermerkt wird, ist es die Regel, dass zu einem Themengebiet mehrere RFCs existieren.

Vor der Veröffentlichung werden alle RFCs ausführlich begutachtet. Wie genau der Veröffentlichungsprozess abläuft und die darin vorgegebenen Anforderungen ausfallen, hängt davon ab, ob ein Internetstandard angestrebt wird oder nicht. So müssen zukünftige Internetstandards hohe Anforderungen erfüllen und einen einheitlichen Konsens innerhalb der Internet Engineering Task Force (IETF) erreichen.

Jeder eingereichte Entwurf wird von der IETF mit der Bezeichnung Internet-Draft (I-D) markiert und veröffentlicht. Dokumente mit dieser Markierung gelten als unfertig und eignen sich daher nicht als Referenz. Wird innerhalb von sechs Monaten keine neue Entwurfsversion eingereicht oder der Publikationsprozess angestoßen, verfallen die Internet-Drafts, die daraufhin online archiviert werden.

Der **RFC-Editor**⁶⁴ gibt neue RFCs mit einer fortlaufenden Nummerierung als ASCII-Textdatei und in weiteren Dokumentenformaten heraus. Ist ein RFC erst einmal veröffentlicht, kann sein Inhalt nicht mehr verändert werden.

Wenn ein RFC durch eine neue Spezifikation abgelöst werden soll, durchläuft

⁶³Siehe zum Beispiel die URL:

<http://www.cis.ohio-state.edu/hypertext/information/rfc.html>.

⁶⁴Siehe die URL:

<https://www.rfc-editor.org>

diese den üblichen Prozess und wird anschließend unter einer neuen Nummer veröffentlicht. Inhaltlich bezieht sich das neue Dokument auf das alte, welches für hinfällig deklariert wird. Ein neuer RFC kann nur einen Teilaспект eines bestehenden RFCs aktualisieren oder ergänzen.

Für die Erstellung von Dokumenten sind auch sogenannte *independent submissions* möglich; diese umgehen die zeitaufwendige Zertifizierung durch die IETF. Daher finden sich unter den RFCs auch solche, die scherhaft gemeint sind. So beschäftigt sich zum Beispiel der RFC 2795 mit dem Infinite–Monkey–Theorem, das eine Möglichkeit zur Koordination einer unendlichen Anzahl von Affen beschreibt, die die Werke von Shakespeare reproduzieren sollen. Independent Submissions können nicht als Internetstandard veröffentlicht werden.

Die Gestaltung der RFCs unterliegt strengen Regeln. Der RFC 2223 gibt vor, wie RFCs zu schreiben sind, während im RFC 2119 die Bedeutung einzelner Begriffe festgelegt wird. Durch diese Maßnahmen sollen Fehlinterpretationen verhindert werden.

Die Bedeutung der folgende Begriffe sind wie folgt festgelegt:

- *Must* und *Must Not* bzw. *Shall* und *Shall Not* geben an, dass eine Anforderung unbedingt eingehalten werden muss.
- *Should* und *Should Not* bzw. *Recommended* und *Not Recommended* bedeuten, dass eine Anforderung zwar empfohlen ist, aber in manchen Fällen davon abgewichen werden kann.
- *May* bzw. *Optional* gibt eine Option an, über deren Umsetzung der Hersteller selbst entscheiden kann.

Jeder RFC besitzt einen bestimmten **Status**, der nachträglich geändert werden kann. Es werden die folgende Zustände verwendet:

- Informational: Der RFC enthält einen Hinweis oder eine Idee für die Netzgemeinde.
- Experimental: Der RFC ist zum Experimentieren gedacht.
- Draft Standard: Der RFC befindet sich in Begutachtung.
- Proposed Standard: Der RFC enthält einen Vorschlag für einen Standard.
- Standard: Der RFC ist bereits offiziell als Standard anerkannt.
- Historic: Der Standard wird nicht mehr genutzt.
- Required: Der RFC ist zwingend anzuwenden.
- Recommended/Suggested: Die Anwendung des RFCs wird empfohlen.
- Elective: Die Anwendung des RFCs ist freigestellt.

1969

Die erste Version des Betriebssystems UNIX⁶⁵ erblickt das grelle Licht der Software - Welt bei den Bell Laboratories. Das ist die gemeinsame Entwicklungsschmiede der AT&T Telefongesellschaft und der Firma Western Electric. Die beiden Entwickler KEN THOMPSON und DENNIS RITCHIE schrieben das Original UNIX in Assemblersprache⁶⁶ und implementierten das System auf einem DEC Kleinrechner des Typs PDP-7.

Bis dato waren die meisten Systeme sogenannte Closed Shop, Batch Systeme. Das bedeutete in der Praxis, der Programmierer gab seinen (turmhohen) Lochkartenstapel beim Operateur im Rechenzentrum ab, wartete einige Zeit (Stunden/Tage später....), und konnte erst dann das Resultat seiner Bemühungen einsehen, mit Korrekturen versehen, um dann diese mühsame, zeitaufwendige Prozedur erneut zu durchlaufen. In dieser Arbeitsweise der Stapelverarbeitung wurde also ein Auftrag nach dem anderen abgearbeitet, es gab keine Möglichkeit, interaktiv mit dem Rechner zu kommunizieren, wie es heute gang und gäbe ist. Ein weiteres Manko jener Prä-UNIX-ära war, dass es in erster Linie maschinenpezifische Software gab, das heißt, jede Maschine hatte ihre eigene, speziell auf sie zugeschnittene Software.

Ziel der Entwicklung von UNIX war, ein Betriebssystem zu schaffen, das es mehreren Programmierern gleichzeitig ermöglichte, an einem Projekt interaktiv zu arbeiten, Programme zu entwickeln, zu korrigieren, zu erweitern und diese zu dokumentieren. Ziel war es also, einen Mehrbenutzerbetrieb zu ermöglichen. Gleichzeitig – quasi als Abfallprodukt – wurde die Portabilität von Software ermöglicht.

Am 1. Mai 1969 wird von JERRY SANDERS III und ED TURNEY die Firma **Advanced Micro Devices Inc.** (AMD) gegründet.

Am 16. Juli 1969 brach Apollo 11 zur ersten Mondlandung auf, am 20. Juli landete die Mondfähre Eagle mit NEIL ARMSTRONG und BUZZ ALDRIN auf dem Mond. Wesentlich für das Gelingen dieser Mission war der **Apollo Guidance Computer** (siehe Abbildung [2.45]), ein Meilenstein der Computerentwicklung.

⁶⁵Der Name UNIX ist eine mutierte Form der Bezeichnung UNICS, was ein Akronym für *Uniplexed Information and Computing System* ist. UNICS selbst war eine abgespeckte Version des von den Bell Labs und MIT entwickelten Betriebssystems MULTICS (steht für Multiplexed Information and Computing System).

⁶⁶Die Assemblersprache ist eine Programmiersprache, die zum Entwickeln von Anwendungsprogrammen in Maschinensprache dient. Die Programmierung in einer Assemblersprache ist weitaus komfortabler als die direkte Eingabe des Maschinencodes. Die einzelnen Maschinenbefehle werden durch leicht einprägsame Kürzel (sog. Mnemoniks) umschrieben. Außerdem wird die symbolische Addressierung (und nicht die physikalische) verwendet.



Abbildung 2.42: DENNIS RITCHIE.

Dieser Rechner wog 32 Kilogramm und bildete erstmals überhaupt ein integriertes System mit IC-Technik.⁶⁷

1970

DENNIS M. RITCHIE (1948 — 2011) entwickelt zusammen mit BRIAN W. KERNIGHAN (1942 —) die Programmiersprachen 'B' und 'C' (siehe zum Beispiel [213]).

Der Mathematiker **Edgar Frank Codd** (1923 — 2003) entwickelt bei IBM das *relationale Datenbankmodell* [77].⁶⁸

WINSTON ROYCE (1929 – 1995) veröffentlicht eine Studie mit dem Titel [317]:

Managing the Development of Large Software Systems,

die die Grundlagen des Wasserfall-Modells vorstellt.

Am Stanford Research Institute (SRI) wird der erste Roboter vorgestellt, der Künstliche Intelligenz zur Navigation einsetzt.

Die Firma Xerox gründet das **Palo Alto Research Center** (XeroxPARC) an der Stanford University.⁶⁹

Das Xerox Palo Alto Research Center (Xerox PARC) wurde auf Anregung des Xerox-Cheforschlers JACK GOLDMAN gegründet. Xerox — damals füh-

⁶⁷Siehe Heise Online vom 20.07.2019.

⁶⁸Siehe auch den Artikel [98].

⁶⁹Die Entwicklung des Xerox PARCs ist sehr ausführlich in [190] beschrieben. Siehe auch [144].



Abbildung 2.43: KEN THOMPSON (links) und DENNIS RITCHIE.



Abbildung 2.44: Das System /370 von IBM aus dem Jahre 1972.

rend auf dem Kopierermarkt — verlor zu dieser Zeit den Patentschutz für die Xerographie und es war absehbar, Marktanteile an japanische Hersteller zu verlieren. Um dieser Entwicklung entgegenzuwirken, sollte PARC neue Technologien für Xerox entwickeln, mit dem Ziel der Beibehaltung ihrer marktbeherrschenden Stellung im Bereich der Bürotechnik.

Zum Zeitpunkt der Gründung wurde GEORGE PAKE zum leitenden Direktor von PARC ernannt. Im Kontext der Informatik ist PARC oft synonym gemeint mit dem *Computer Science Laboratory* gemeint, welches aber nur einen Teil von PARC bildete. Dieses Labor stand ursprünglich offiziell unter der Leitung von JEROME I. ELKIND, wurde insgeheim aber von ROBERT W. TAYLOR (siehe Abb. [2.47]) geführt, der zuvor bereits bei DARPA am ARPANET-Projekt beteiligt war.



Abbildung 2.45: Der Apollo Guidance Computer.

Auf PARC gehen zahlreiche Errungenschaften der modernen Computertechnik zurück, die auf heutigen Rechnern selbstverständlich sind:

- der erste Laserdrucker wird entwickelt,
- VLSI anhand neuer Entwurfsmethoden ermöglicht,
- Ethernet erfunden,
- eine eigene Serie von Lisp-Maschinen wird entworfen,
- mit SuperPaint wird die erste computergestützte grafische Bildbearbeitung entwickelt,
- mit Spacewar wird eines der ersten Computerspiele programmiert,
- die Programmiersprache **Smalltalk** als Vorbild vieler moderner objekt-orientierter Programmiersprachen entwickelt,
- das Konzept des Laptops wird entwickelt (ALAN KAYS Dynabook),
- die erste grafische Benutzeroberfläche⁷⁰ wird entwickelt und im Xerox-Alto-Rechner erstmals eingesetzt,

⁷⁰In der Informatik spricht man von dabei von der *Graphical User Interface*, kurz GUI.



Abbildung 2.46: Nochmals das System /370 von IBM im Einsatz.

- das WYSIWYG-Modell (*What you see is what you get*) wird als Grundprinzip für die GUI aufgestellt und umgesetzt,
- der Vorläufer von POSTSCRIPT wird entwickelt.

Mit Ausnahme des Laserdruckers, der von Xerox erfolgreich in Form des Laserkopierers vermarktet wurde, hat es Xerox nicht geschafft, diese Erfindungen erfolgreich auf den Markt zu bringen. Das Xerox-Management war so sehr auf Fotokopierer fixiert, dass es das Potential der erarbeiteten Entwicklungen nicht erkannte. Mit dem Xerox Star wurde erfolglos versucht, ein graphisches Textverarbeitungssystem auf den Markt zu bringen.

Der Erfolg blieb anderen Firmen vorbehalten, zum einen Apple und Microsoft, die Betriebssysteme mit graphischer Benutzeroberfläche auf den Markt brachten, zum anderen einer großen Reihe von Abgängern aus PARC selbst, die eigene Firmen gründeten, um ihre Erfindungen zu vermarkten. Die prominentesten Beispiele dürften ROBERT METCALFE sein, der die Firma 3Com gründete, um Ethernet vermarkten zu können, und JOHN WARNOCK, der PARC verließ, um die Firma **Adobe** zu gründen und damit seine Erfindung InterPress fortan unter dem Namen PostScript zu vermarkten.

Bekannte ehemalige PARC-Mitarbeiter sind

- Mark Weiser, der den Begriff Ubiquitous Computing geprägt hat, war leitender Wissenschaftler am Xerox Palo Alto Research Center.
- LYNN CONWAY (VLSI),
- ADELE GOLDBERG (Smalltalk),
- Neil J. Gunther (PARCbench),

- Daniel P. Huttenlocher (JBIG2),
- Butler Lampson (Alto, Laserdrucker, Ethernet, Bravo, Mesa),
- Calvin Quate, Eric Schmidt, Charles Simonyi (Bravo)
- Charles P. Thacker (Alto, Ethernet, Laserdrucker).
- Im Rahmen von Studentenprogrammen besuchten u. a. ANDREAS VON BECHTOLSHEIM,⁷¹ John Haugeland, DANA SCOTT⁷² und NIKLAUS WIRTH⁷³ Xerox PARC.



Abbildung 2.47: ROBERT W. TAYLOR.

Die Floppy Disk hat ihre Debut–Vorstellung. Entwickelt wurde sie von IBM.

Die Firma Centronics stellt den ersten Nadel–Drucker vor.

Im Juli 1970 startete unter der Leitung von NORMAN ABRAMSON (1932 – 2020) das **ALOHA**net an der University of Hawaii den operationalen Betrieb. Wie das ARPAnet wurde das ALOHAnet von der DARPA finanziert. Aufgrund der Topographie der hawaiianischen Inselwelt konnten die verschiedenen Standorte der Universität nicht mit Kabeln verbunden werden. ALOHAnet war das erste

⁷¹Später Mitgründer der Firma SUN Microsystems.

⁷²DANA SCOTT ist ein amerikanischer Mathematiker, Logiker, Informatiker und Philosoph, der bedeutende Beiträge zur Automatentheorie, Modelltheorie, axiomatischen Mengenlehre und Semantik der Programmiersprachen geleistet hat.

⁷³NIKLAUS WIRTH ist ein schweizer Informatiker, der an der ETH Zürich einen Lehrstuhl hatte und u.e. die Programmiersprache PASCAL entwickelte.

Kommunikationsnetz, das Datenkommunikation über ein Radio–Funknetz ermöglichte und dabei Datenpakete für die Übertragung nutzte. Die bei diesem Prototypen gewonnenen Erfahrungen hatten entscheidenden Einfluß auf die zukünftige Netzwerktechnologien wie das Ethernet [170, p. 151].⁷⁴

Im Jahre 1972 wurde das ALOHAnet als erstes Netz über eine Satellitenverbindung mit dem ARPAnet gekoppelt.

Der Mathematiker JOHN HORTON CONWAY (1937 – 2020) entwickelt das Spiel *Game of Life*, das auf einem zellulären Automaten beruht.⁷⁵ Dies geht zurück auf Arbeiten von STANISLAW ULAM und JOHN VON NEUMANN [323].⁷⁶

⁷⁴Einen Überblick über das ALOHAnet gibt der Artikel [226] von FRANKLIN KUO.

⁷⁵Siehe zum Beispiel die Web–Seite

<https://bitstorm.org/gameoflife/standalone/>.

⁷⁶Siehe auch den Artikel [107].

Kapitel 3

Die Jahre 1971 bis heute

Das letzte Quartal des 20. Jahrhunderts, also die Jahre seit 1971 bis 2000 und darüber hinaus bis heute, nennt man auch das

Zeitalter der Rechner der 4. Generation

Der Schaltungsaufbau der vierten Rechnergeneration beruht auf hochintegrierten Schaltkreisen (sogenannte *Very Large Scale Integration* oder kurz **VLSI**) mit mehr als 10.000 Schaltungen pro Chip. Auch die heutigen Computer gehören dieser Generation an. Da wir später auf diese Aspekte näher eingehen werden, wollen wir diesen Abschnitt der Computerentwicklung nur kurz abhandeln. Die Operationszeit hat sich nochmals um den Faktor 1.000 verbessert und liegt bei Rechner dieser Generation im Nanosekundenbereich (10^{-9} sec).

1971

Am 15.11.1971 erscheint in der Fachzeitschrift 'Electronic News' eine Anzeige mit dem Inhalt

Announcing a new area of integrated electronics. A microprogrammable computer on a chip

Dieses Inserat war von einer Firma mit dem Namen INTEL geschaltet. Dieses Unternehmen war von **Robert Noyce** gegründet und unter seiner Regie gelang die Entwicklung des ersten Mikroprozessors mit der Bezeichnung 4004. Dieser 4004 - Chip enthielt 2.300 Transistoren (auf einem Chip integriert) und war ein 4 Bit Mikroprozessor, konnte also die Information von 4 Bits gleichzeitig

verarbeiten. Zur Entwicklung der Intel-Prozessor Familie und dem IBM-PC siehe [303].

Am 23. Juni wird das RFC 172 veröffentlicht: Das **File Transfer Protocol**, FTP. Dieses RFC spezifiziert den Datei-Transfer zwischen zwei Hostrechner über das ARPANET.

RAY TOMLINSON von Bolt, Beranek and Newman (BBN) sendet die erste E-Mail über das Arpanet.

NIKLAUS WIRTH beendet die Entwicklung von Pascal.

Stephen Cook veröffentlicht eine Arbeit mit dem Titel ([84]):

The Complexity of Theorem Proving Procedures,

in dem die Grundlagen der \mathcal{NP} vollständigen Probleme gelegt werden (SAT Problem). Diese Arbeit ist ein Meilenstein in der mathematische Disziplin der **Komplexitätstheorie**, deren Ziel die Analyse von Berechnungsproblemen ist.¹

1972

Die Firma INTEL stellt den ersten 8 – Bit Prozessor mit der Bezeichnung 8008 vor. Dieser konnte also 8 Bits in einem Schritt verarbeiten und bestand aus 2.900 Transistoren.

Fünf ehemalige IBM Mitarbeiter gründen in Weinheim — später Walldorf — die Software Firma SAP Systemanalyse und Programmentwicklung GbR mit dem Ziel, standardisierte Software zur Abwicklung von Geschäftsprozessen herzustellen [254].²

Im März wird die erste Software für E-Mails von RAY TOMLINSON (BBN) freigegeben.

Im April erscheint das RFC 318: Das TELNET-Protokoll von JON POSTEL

DENNIS RITCHIE veröffentlicht die erste Version der Programmiersprache C.

Die erste Implementierung der Programmiersprache PROLOG erscheint, von ALAIN COLMENAUER und PHILLIP ROUSSEL, Universität Marseille.

¹Siehe den Artikel von UWE SCHÖNING [327].

²Diese fünf Gründungsmitglieder sind: CLAUS WELLENREUTHER, HANS-WERNER HECTOR, KLAUS TSCHIRIA, DIETMAR HOPP und HASSO PLATTNER.

Xerox PARC veröffentlicht die Programmiersprache SMALLTALK. Diese objektorientierte Programmiersprache wurde von ALAN KAY, DAN INGALS und ADELE GOLDBERG designed.

In Wimbledon, England, wird erstmals ein Computertomograph erfolgreich eingesetzt.

STEVE WOZNIAK bastelt seine erste *blue box*. Dies sind Tongeneratoren, die an ein öffentliches Telefon gekoppelt werden. Damit lässt es sich dann kostenlos weltweit telefonieren. Die Blue Boxes sind ein Verkaufsschlager an der University of Berkeley.

Die Firma CRAY RESEARCH wird gegründet, das führende Unternehmen bei der Produktion von Supercomputern.



Abbildung 3.1: SEYMOUR CRAY (1925 – 1996) mit der Cray-1 aus dem Jahre 1974.

Mit ihrem ersten Taschenrechner HP-35 (siehe Abbildung [3.2]) brachte die Firma Hewlett-Packard im Jahr 1972 den weltweit ersten technisch-wissenschaftlichen Taschenrechner mit trigonometrischen, logarithmischen und Exponential-

rechnungs-Funktionen auf den Markt. Entgegen den Erwartungen von HP wurde das Gerät zu einem großen Verkaufserfolg und leitete das Ende des damals in Wissenschaft und Industrie noch weit verbreiteten mechanischen Rechenschiebers als Standard-Rechenwerkzeug ein. Er war das erste Modell einer langen Reihe von meist programmierbaren Taschenrechnern des Unternehmens.



Abbildung 3.2: Der HP-35

Der Philosoph HUBERT L. DREYFUS veröffentlicht eine kritische Schrift über die Grenzen der Künstlichen Intelligenz. [125]

1973

XEROX PARC entwickelt einen experimentellen Personal Computer, genannt ALTO, mit Maus, Ethernet und einer graphischen Benutzeroberfläche.

Unter Leitung von VINTON CERF beginnt an der Stanford University die Arbeit am **Transmission Control Protocol** (TCP).



Abbildung 3.3: Der im XEROX PARC entwickelte Rechner Alto.

Am 30. April führte der Entwickler von Motorola MARTIN COOPER von Manhattan aus das erste Mobilfunk–Telefonat.

Die ersten Large–Scale Integration Chips mit 10.000 Transistoren pro Chip werden produziert.

ROBERT METCALFE entwickelt im XEROX PARC das **Ethernet**.³

1974

INTEL stellt den 8080 Prozessor vor, der sich als Industriestandard etablierte. Dieser Chip arbeitete mit 2 MHz Taktrate und enthielt 5.500 Transistoren.

³Siehe [190], Chap. 13.



Abbildung 3.4: VINTON CERF.

Hewlett-Packard bringt den ersten *programmierbaren* Taschenrechner, den HP-65, auf den Markt [170, p. 168].

Die Elektronikfirma MITS (Micro Instrumentation and Telemetry Systems) in Albuquerque, New Mexico, entwickelt um den INTEL 8080 Mikroprozessor Computerbausätze ('Kits') für Elektronikbastler.

AEG Telefunken stellt den ersten deutschen Mikrocomputer CPF 3 vor, bestehend aus zentraler Recheneinheit, 4 KByte Hauptspeicher, Teletype Ein-/Ausgabegerät, Lochkartenleser; Preis: 2.000,- DM.

HEINZ NIXDORF stellt das System Nixdorf 8870 vor; der Rechner besteht aus einer CPU, zwei Platteneinheiten, Nadeldrucker und Bildschirm; Mietpreis: 4.000,- DM pro Monat.

Die Unidata, eine Kooperation zwischen Siemens, Phillips und CII stellt mit der 7:720 den ersten IBM-kompatiblen Mainframe-Rechner vor. Kurze Zeit später folgen weitere Modelle. Der Arbeitsspeicher dieser Maschinen liegt zwischen 48 und 2.048 KiloBytes (*sic*).



Abbildung 3.5: Der zusammengebaute Altair - Rechner.

Das US-Justizministerium erhebt in einem Antitrust-Verfahren Anklage gegen AT & T. Gefordert wird eine Trennung zwischen AT & T und der produktionsgesellschaft Western Electric. Entweder soll sich AT & T aus dem Fernsprechgeschäft über weite Entfernung zurückziehen oder die lokalen Telefongesellschaften aufgeben. Außerdem soll sich der Gigant von der Tochter *Bell Telephone Laboratories* trennen.

ROBERT KAHN und VINCENT CERF veröffentlichen im April

A Protocol for Packet Network Internetworking

das zum ersten Mal das **Transmission Control Protocol** (TCP) darstellt. Hier auch der erste Gebrauch des Begriffes **Internet**.

Am Xerox PARC stellt CHARLES SIMONYI das erste WYSIWIG (*What you see is what you get*) Programm vor (Bravo).

IBM stellt die **Systems Network Architecture** (SNA) vor, eine Familie von Netzwerkprotokollen, die die Kommunikation von Mainframes mit angeschlossenen Terminals (Bildschirm und Tastatur) ermöglicht.

Am 26. Juni wurde in einem Supermarkt in Ohio das erste Produkt mit einem **Strichcode** oder **Barcode** gescannt. Es war eine Kaugummipackung für 67 Cent. Die Entwicklung des Barcodes geht zurück in das Jahr 1949, NORMAN JOSEPH WOODLAND und BERNARD SILVER führten erste Versuche durch, die 1952 zu einer Patentanmeldung führten.

1975

Das Deckblatt des Magazins *Popular Electronics* zeigt das MITS – Kit unter dem Namen **Altair**. Dieser erste Personal Computer wurde von ED ROBERTS und BILL YATES am Massachusetts Institute of Technology (MIT) entwickelt. Dieser Rechner wurde nach der Star-Trek-Episode *Die Reise nach Altair* benannt und basierte auf INTELS 8080 Prozessor. Damit brach eine Lawine los. Die Computerindustrie wurde ins Rollen gebracht.

Die Firma MICROSOFT wird von BILL GATES und PAUL ALLEN gegründet.

Ende April beginnt der Antitrust-Prozess gegen IBM. Die Vorwürfe:

1. Bundling von Hardware, Wartung, Software und Support zu einheitlichen Preisen bis 1969.
2. Ankündigung von sog. 'Fighting Machines' zu Niedrigpreisen, insbesondere voreilige Bekanntgabe neuer Maschinen.
3. Forcierung des Mietgeschäfts, für das die Mitbewerber nicht die notwendigen finanziellen Rücklagen haben.
4. Diskriminierende Sondervereinbarungen mit Universitäten



Abbildung 3.6: BILL GATES

Erster PC: der PET 2000 (Personal Electronic Transactor) von COMMODORE, einer der ersten PC – ähnlichen Rechner mit voll integriertem System, bestand

also bereits aus Rechner, Monitor und einem Kassettenrecorder als Speichermedium.

Seymour Cray⁴ bringt die CRAY-1 auf den Markt, der *schnellste Rechner der*

⁴

Tribut an Seymour Cray

Seymour Cray starb am 5. Oktober 1996 im Alter von 70 Jahren an den Folgen eines Verkehrsunfalles. Zum einjährigen Todestag bringen wir einen übersetzten und gekürzten Nachruf von Charles W. Breckenridge, SRC Computers, Inc., den er an der Konferenz Supercomputing '96 vortrug

Seymour Cray war der anerkannte Führer der Hochleistungsrechnerindustrie der letzten 40 Jahre und sein Name steht synonym für Hochleistungsrechner.

Seine Karriere begann 1951, als er in die Firma Electronic Research Associates (ERA) eintrat, die erste digitale Computer herstellte. Schon 1 1/2 Jahre nach seinem Eintritt war er als Experte von digitalen Computern anerkannt, und während den sechs Jahren bei ERA war er als Projektingenieur an verschiedenen Computerentwicklungen massgeblich beteiligt.

1957 verliess Cray mit vier weiteren Angestellten die ERA, um eine neue Firma zu gründen — die Control Data Corporation (CDC). Bis 1960, im Alter von 34, hatte Cray seine Reputation als Genie im Entwerfen von Hochleistungsrechnern etabliert. Er hatte die Entwicklung des ersten voll transistorisierten Computers, der CDC 1604, abgeschlossen und hatte mit der Planung der CDC 6600 begonnen, des ersten Systems, das den Namen Supercomputer verdiente. Die CDC 6600 war auch der erste grössere Computer, der dreidimensionale Packung verwendete und über einen Instruktionssatz verfügte, der später als RISC bezeichnet wurde. Auf die CDC 6600 folgte die noch schnellere CDC 7600.

Bis 1970 war Cray direkt verantwortlich gewesen für den Entwurf und die Entwicklung von Systemen, die die Hochleistungsrechnerindustrie für Jahre formen sollte.

Das letzte System, an dem Cray bei CDC arbeitete, war die CDC 8600 - Arbeit, die 1968 begann und die seine klare Vision für die Herausforderungen, mit der die Hochleistungsrechnerindustrie konfrontiert sein würde, demonstrierte. Er realisierte, dass höhere Taktfrequenzen allein seine Leistungsvorgaben nicht erreichen liessen und sah die 8600 mit vier Prozessoren, die einen gemeinsamen Speicher teilen würden, vor.

1972 gründete Seymour Cray die Firma Cray Research, Inc. Die Pläne der 8600 wurden schubladisiert, vor allem weil Cray ahnte, dass die Softwareanforderungen für die Industrie zum damaligen Zeitpunkt zu gross waren. Er kam zu der Überzeugung, dass grössere Leistung durch einen Uniprozessor mit einem neuen Konzept — der Vektorverarbeitung — erreichbar war. Dies führte zur Cray-1, dem ersten Produkt der Firma Cray Research. Diesem Rechner folgte dann die Cray-2 mit einem Hauptspeicher, der Hauptspeicher früherer Computer um eine Größenordnung übertraf.

Auf die Cray-2 folgte die Cray-3, die kommerziell zwar kein Erfolg wurde, die aber zuverlässiges Funktionieren bei 500 MHz demonstrierte. Cray's letztes System, die Cray-4, war kurz vor der Fertigstellung, als er das Projekt 1994 einstellen musste. Zu diesem Zeitpunkt funktionierte die Cray-4 mit 1 GHz, einer Taktrate, die bis heute niemand sonst erreicht hat.

Alle Systeme von Seymour Cray waren Meisterstücke der Technologie und der ästhetik in der Konstruktion. Eleganz der physischen Konstruktion war ebenso wichtig wie das Erreichen der Leistungsvorgaben. Auf diesem Gebiet war er unerrechbar.

Seymour Cray betrachtete jedes System, an dem er arbeitete, als eine Treppenstufe für das nächste System. Und die meisten waren auch grundlegend für von anderen gebaute Systeme, die auf seinen fundamentalen Konstruktionen basierten. Ironischerweise stammten die meisten Konkurrenzprodukte zu Cray's Maschinen von Firmen, denen er wesentlich geholfen hatte,

Welt.

1976

Die beiden Amerikaner **Stephen G. Wozniak** und **Steve Jobs** gründen am 1. April die Firma **APPLE**.

WHITFIELD DIFFIE und MARTIN E. HELLMAN (siehe Abb. [3.8]) veröffentlichen eine Arbeit mit dem Titel *New Directions in Cryptography* ([119]), in der die Grundlage der *Public-Key Kryptographie* gelegt wird.⁵

erfolgreich zu werden.

Niemand sonst in Cray's Gebiet hat die beständigen Erfolge gehabt, die er während seines Lebens aufzuweisen hatte. Er widmete seine ganze Karriere dem Entwurf und der Entwicklung von grossen Hochleistungssystemen für Wissenschaft und Technik. Er sagte oft er fühle, dass er für diesen Zweck auf die Erde gestellt worden sei.

Seymour Cray verhinderte Publizität. Er wurde mit vielen Auszeichnungen und Ehrungen bedacht, und es wären viele mehr gewesen, hätte es nicht in seiner Natur gelegen, sie abzulehnen, um voll auf seine Arbeit konzentriert bleiben zu können. Er mied Ablenkungen. Als einmal jemand bemerkte, dass er kein Telefon in seinem Büro hatte und fragte, wo er denn gerne eines installiert gehabt hätte, antwortete er mit Schalk in den Augen, äuf dem Baum vor meinem Büro".

Seymour Cray war sehr offen, immer bereit, seine Herausforderungen und vorgeschlagenen Lösungen zu diskutieren. Er scheute Konkurrenz nicht, sondern verfolgte stets aufmerksam, was seine Zeitgenossen erreichten. Seymour Cray hatte keine Geheimnisse.

Seymour Cray bevorzugte es, mit grundlegenden und einfachen Werkzeugen zu arbeiten - im allgemeinen einem Stück Papier und einem Bleistift. Aber er gab zu, dass gewisse Arbeiten anspruchsvollere Werkzeuge benötigten. Als er erfuhr, dass die Firma Apple Computer einen Cray Computer gekauft hatte, um ihren nächsten Apple Computer zu entwerfen, sagte er: *Komisch, ich brauche einen Apple, um die Cray-3 zu entwerfen.* Auch die Auswahl von Leuten für seine Projekte zeigte Fundamentales. Als er einmal gefragt wurde, warum er oft neue Hochschulabsolventen anstelle, um ihm bei grundlegenden Forschungs- und Entwicklungsarbeiten zu helfen, antwortete er: *Weil sie nicht wissen, dass ich von ihnen Unmögliches verlange — also versuchen sie es.*

Seymour Cray war unverwüstlich, er gab nie auf. Als 1994 die Tore der Cray Computer Corporation schliessen mussten, begann er sofort, neue Möglichkeiten zu studieren, um aus Commodity Parts Hochleistungsrechner zu bauen. Er war beeindruckt von den Fortschritten, die die Mikroprozessorhersteller gemacht hatten, und war überzeugt, dass mit einer oder zwei weiteren Iterationen die Off-the-shelf-Mikroprozessoren Leistungen erreichen würden, die zu Customprozessoren kompetitiv sein würden.

Anfang 1996, überzeugt davon, dass er wusste, wie er sehr hohe Leistung bei sehr niedrigem Preis zur Verfügung stellen konnte, stellte er einen Businessplan auf und gründete eine neue Firma - eine die seine Initialen trägt: SRC Computers, Inc. Die Firma wird den Weg, den Seymour Cray vorgezeigt hat, weiterverfolgen und ein Produkt nach seinen Ideen liefern.

⁵Siehe den Artikel von MARTIN HELLMAN[184] und ein Interview mit MARTIN HELLMAN

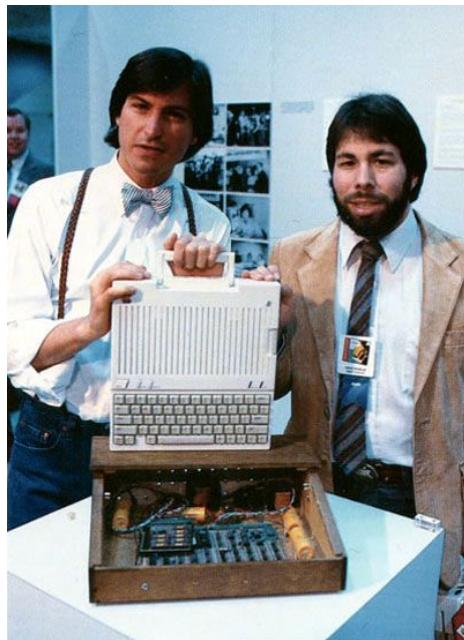


Abbildung 3.7: Die Apple Gründer STEPHEN WOZNIAK und STEVEN JOBS.

Das amerikanische National Bureau of Standards (NBS) — heute unter dem Namen National Institute of Standards and Technology NIST bekannt — verabschiedet im November die Spezifikationen des standardisierten Verschlüsselungsverfahrens *Data Encryption Standard* (DES) (siehe [325] und [96]).

Im Juli erscheint in den *Communications of the ACM* der Artikel: *Ethernet: distributed packet switching for local computer networks* von ROBERT METCALFE und DAVID R. BOGGS. In dieser Arbeit beschreiben METCALFE und BOGGS das Design des 10-BASE-T Ethernets.

IBM entwickelt den Tintenstrahldrucker.

Die **European Article Number** — kurz **EAN** — wird als Standard Barcode eingeführt.

1977

aus dem Jahr 2019 [294]. Weitere Informationen findet man in dem Buch von JOHN DOOLEY, [122], chap. 11.



Abbildung 3.8: WHITFIELD DIFFIE (links) und MARTIN E. HELLMAN.

KENNETH OLSEN — CEO der Digital Equipment Corporation (DEC) — stellt die erste VAX – 11/780⁶ vor, ein 32Bit Computersystem mit dem Betriebssystem VAX/VMS.

GARY KILDALL entwickelt CP/M, das erste PC–Standard Betriebssystem für 8–Bit PC.

RONALD RIVEST, ADI SHAMIR und LEONARD ADLEMAN (MIT) entwickeln das **RSA–Verfahren** der *asymmetrischen Verschlüsselung* ([308]). Siehe [343, 326].



Abbildung 3.9: RONALD RIVEST, ADI SHAMIR und LEONARD ADLEMAN.

⁶VAX = Virtual Addressing EXperimental.

Die Entwicklung der Datenverarbeitung in Großrechenanlagen, mittlere Daten-technik und Mini-Computer beginnt.

Die Firma Datapoint entwickelt ARC, das erste kommerzielle lokale Computer-netzwerk (engl.: *Local Area Network*, LAN).

DENNIS C. HAYES und DALE HEATHERINGTON entwickeln das PC Modem.⁷ Sie erstellen damit die kritische Technologie, die die heutige Online und Internetindustrie ermöglichte. Der von HAYES und HEATHERINGTON entwickelte AT-Befehlssatz (auch Hayes Befehlssatz genannt) zur Modemsteuerung hat sich als Industriestandard bis heute etabliert. Mit diesem Befehlssatz lassen sich Modems konfigurieren und parametrisieren.

DONALD KNUTH beginnt mit der Erstellung seines Textsatzsystems TeX. Bei der Erstellung der ersten beiden Bände seines epochalen Werks *The Art of Computer Programming* war DONALD KNUTH mit den existierenden Druckwerkzeu-gen unzufrieden. Das Layout und die Typographie, die diese Textsatzsysteme lieferten, entsprachen nicht den hohen Anforderungen.

Die Fertigstellung von TeX wurde am 21. Mai 1986 im Computer Museum, Bos-ton Massachusetts, gefeiert.

Der Honeywell-Bull Mitarbeiter MICHEL UGON meldet das Patent für Chip-karten mit integrierten Mikroprozessor an. [299].

1978

DAN BRICKLIN und BOB FRANKSTON entwickeln Visicalc, die erste elektroni-sche Tabellenkalkulation.

DEC produziert die VAX 11/780, ein 32-Bit Computer für technische und wis-senschaftliche Anwendungen.

Die erste Version von Wordstar erscheint, ein populäres Textverarbeitungspro-gramm unter dem Betriebssystem CP/M später auch auf DOS Rechner.

Am Xerox PARC wird das Ethernet durch einen Wurm lahmgelagt.⁸

BRIAN W. KERNIGHAN und DENNIS RITCHIE veröffentlichen ihren Klassi-ker[213]

⁷Modem ist ein Kunstwort aus Modulator/Demodulator. Dieses Gerät wandelt digitale in analoge Signale um und umgekehrt. Dies ist ein wesentlicher Baustein, um digitale Daten über analoge Telefonleitungen übertragen zu können.

⁸Siehe [190], Chap. 20

The C Programming Language.

INTEL bringt den 8086 Chip, einen 16–Bit Prozessor auf den Markt.

TOM DEMARCO führt die **Strukturierte Analyse** ein.



Abbildung 3.10: Das Microsoft–Team um 1978.

1979

Entwicklung von Chips mit 100.000 Schaltungen.

MOTOROLA entwickelt den 68000 Chip (Prozessor), später im Macintosh eingesetzt.

ROBERT METCALFE gründet die Firma **3Com**. Bis 2010 war 3Com ein führender Hersteller von Netzwerkkarten, Servern, Routern, Hubs, Switches und anderer Netzwerkkomponenten.

Hersteller	DV Einnahmen
IBM	17,07
NCR	2,24
Burroughs	2,21
Sperry Rand	2,02
Control Data	1,86
DEC	1,60
HIS	1,29
Hewlett Packard	0,75
Moore Bus. Forms	0,71
Memorex	0,50

Tabelle 3.1: Die zehn größten DV-Hersteller 1979, die Angaben sind in Milliarden Dollar.

Zelluläre Telephone werden in Japan und den USA getestet.

DIGITAL RESEARCH entwickelt ein *Disc Operating System* (DOS), später unter DR-DOS bekannt.

INTEL führt den 4,77 MHz 8088 Prozessor ein, einen 8-Bit Prozessor.

MICROSOFT erwirbt eine UNIX Lizenz und entwickelt daraus eine PC Version, XENIX.

Im Dezember 1979 besucht STEVE JOBS mit einem Entwicklerteam von Apple das XEROX PARC.⁹ Bei diesem Treffen demonstrieren die PARC Mitarbeiter die innovativen Entwicklungen von Benutzeroberflächen, u.a. Mausbedienung, Fenstertechnik, Icons usw. Diese Techniken wurden später bei Apple kommerziell genutzt.

1980

Im Februar trifft sich erstmals das *Local Networks Standard Committee* (LNSC) der IEEE Computer Society. Das LNSC wird als Working Group 802 etabliert.¹⁰ Ziel der Gruppe ist (zunächst) die Entwicklung von Standards für lokale Netzwerke mit Übertragungsraten von 1 bis 20 MHz.

⁹Eine detaillierte Diskussion dieses Events findet man in [190], Chap. 23.

¹⁰Die Projekt Nummer 802 war die nächste freie Nummer der Folge der IEEE Standardisierungs-Projekte.

Die Firma ORACLE stellt das erste relationale Datenbank Managementsystem vor.

Das ISO/OSI–Siebenschichtenmodell erblickt das Licht der Welt. Das *Open Systems Interconnection* (OSI) der *International Organization for Standardization* (ISO) ist das Referenzmodell für die Architektur von Computernetzwerken.

Die Firma Shugart Ass. stellt das erste Winchester Laufwerk vor.

Der Philosoph JOHN R. SEARLE publiziert einen Artikel [330], in dem er ein Gedankenexperiment durchführt. Dieses Gedankenexperiment ist das *Chinesische Zimmer*. Mit dessen Hilfe versucht SEARLE das Argument zu widerlegen, dass Computer bei Ausführung eines Programms, Bewusstsein erlangen.¹¹

Intermezzo VIII: Das chinesische Zimmer

ALAN TURING formulierte 1950 den TURING–Test als Antwort auf die Frage, ob Maschinen denken können. Laut TURING kann ein Computer genau dann denken, wenn er in einem schriftlichen Gespräch (einem Chat) einen Menschen darüber täuschen kann, dass er kein Mensch ist. Laut SEARLE reicht dieser TURING–Test nicht aus, um einem Computer Gedanken zusprechen zu können. Ein solcher Computer würde sich laut SEARLE nur einem Menschen entsprechend verhalten, selbst jedoch nichts meinen oder denken. Für derartige mentale Prozesse ist laut SEARLE *Intentionalität* notwendig, die über das Verhalten hinausgeht. Um diese kritische Perspektive zu stützen, hat SEARLE ein Argument entwickelt, das die Verfehltheit des TURING–Tests beweisen soll.

Dieses unter dem Namen *chinesisches Zimmer* bekanntgewordene Gedankenexperiment beginnt mit der Annahme einer Bibliothek. In dieser Bibliothek sitzt eine Person, die Zettel mit chinesischen Schriftzeichen gereicht bekommt. Die Person versteht kein Chinesisch. Allerdings stehen in den Büchern der Bibliothek Transformationsregeln: Die Person sucht in den Büchern nach der Zeichenfolge auf dem Zettel und schreibt die neue, im Buch angegebene Zeichenfolge auf einen neuen Zettel auf. Diesen gibt sie nun aus der Bibliothek heraus. Der Witz an dem Gedankenexperiment ist, dass in den Büchern zu den eingehenden chinesischen Sätzen passende, andere chinesische Sätze zugeordnet sind. Für einen chinesischen Beobachter außerhalb der Bibliothek entsteht so der Eindruck einer richtigen Kommunikation: Auf Zetteln, die in die Bibliothek gereicht werden, stehen korrekte chinesische Sätze, etwa Fragen. Auf den Zetteln, die aus der Bibliothek gereicht werden, stehen passende chinesische Sätze, etwa die Antworten auf die Fragen. Das chinesische Zimmer würde daher den TURING–Test bestehen.

Dennoch versteht niemand in der Bibliothek Chinesisch, weder die Person noch

¹¹Zu diesem Themenkreis siehe die Monographie von ROGER PENROSE [286], Kapitel 1 oder das Buch von SEARLE [331].

die Bibliothek. Auch Bibliothek und Person zusammen verstehen SEARLE zufolge kein Chinesisch. Dies zeigt also, dass das Bestehen des TURING–Tests nicht ausreicht, um Sprache zu verstehen. Ein Computer mache im Prinzip nichts anderes als das chinesische Zimmer: Er transformiere Zeichenfolgen nach gegebenen, rein syntaktischen Regeln in neue Zeichenfolgen, ohne ihre Semantik zu verstehen. Doch wenn dies im Falle des chinesischen Zimmers nicht hinreichend für Gedanken sei, so sei auch nicht absehbar, wie jemals ein denkender Computer entstehen sollte.

SEARLE zieht aus seinem Gedankenexperiment die Konsequenz, dass zwischen einer schwachen und einer starken KI Unterschieden werden müsse. Die schwache KI versucht menschliches Verhalten zu simulieren und Probleme zu lösen, die von Menschen nur mittels Intelligenz zu bewältigen sind. Ein solches Projekt ist nach SEARLE vollkommen legitim. Die starke KI möchte hingegen denkende Computer bauen.¹²

Die Firmen DEC, INTEL und XEROX arbeiten gemeinsam an Spezifikationen für ein lokales Computernetzwerk, das unter dem Namen *Ethernet* firmiert.

BJARNE STROUSTRUP entwickelt einen Satz von Programmiersprachen, die *C mit Klassen* bezeichnet wird. Er legt damit den Grundstein zu objektorientierten Sprache C++.

Die Programmiersprache ADA wird vom US Department of Defense (DoD) freigegeben. ADA ist eine für Prozesskontrolle und eingebettete Systeme optimierte Sprache.

WAYNE RATLIFF entwickelt dBase II, die erste Version einer PC Datenbank.

DAVID A. PATTERSON (University of Berkeley) führt den Begriff *reduced instruction set* ein [281] und entwickelt zusammen mit JOHN HENNESSY (Stanford) die Konzepte, die zu den RISC–Prozessoren führt. (RISC = Reduced Instruction Set Computing).¹³

1981

Der erste IBM–PC wird auf den Markt gebracht. Am 12. August 1981 stellte IBM den unter der Regie von DON ESTRIDGE entwickelten Ur–PC der Öffentlichkeit vor.

¹²Dies ist ein Wikipedia Beitrag.

¹³PATTERSON und HENNESSY haben zusammen zwei wichtige Monographien über diesen Prozessordesign publiziert, [185], [283]. Siehe [170] Chapter 10.

Technischer Steckbrief des Ur-PCs:

Prozessor Intel 8088 mit 4.77 MHz getaktet, intern 16 Bit, extern 8 Bit.

Arbeitsspeicher: 64 KByte, erweiterbar auf 256 KByte.

Massenspeicher: Zwei 5,25-Zoll Diskettenlaufwerke mit 160 KByte Kapazität, siehe Abbildung [3.12] (keine Festplatte).

Monitor: 12 Zoll Monochrom-Monitor.

Schnittstellen: Kassettenrecorder, Drucker, Joystick, Lichtgriffel, RS-232, Centronics parallele Schnittstelle.

Markteinführung in den USA: 12. August 1981.

Preis in der Bundesrepublik: 8.500.– DM.

Gleichzeitig bringt die Firma MICROSOFT die erste Version des PC Betriebssystems MS-DOS 1.0 auf den Markt.



Abbildung 3.11: Der IBM Ur-PC.

COMMODORE bringt mit dem VC-20 den ersten Heimcomputer auf den Markt.

NIXDORF kündigt das Programm Paket *Comet-Basis* an.

Etwa die Hälfte aller Programm amerikanischer DV-Anwender sind 1981 COBOL Programme. Bei Großanwendern liegt dieser Anteil sogar bei 57%. Den Rest teilen sich Assembler, RPG und andere.

1982



Abbildung 3.12: Eine Floppy Disk, 5,25-Zoll.

Die Firma COMPAQ wird im Februar von ROD CANION, JIM HARRIS und BILL MURTO gegründet.

INTEL bringt den 80286 Prozessor auf den Markt. Dieser 16 Bit Prozessor hat eine integrierte Speichermanagementeinheit.

Der Computerhersteller COMMODORE bringt den C64 (siehe Abbildung [3.13]) auf den Markt. Dieser Computer verfügt über 64 KB RAM, 20 KB ROM und ist mit dem Betriebssystem MS BASIC ausgerüstet. Im Laufe der folgenden Jahre werden über 7.000.000 Stück verkauft.



Abbildung 3.13: Der Commodore C64

Phillipe Kahn gründet BORLAND INTERNATIONAL in Cupertino, Silicon Valley.

LOTUS DEVELOPMENT wird gegründet und entwickelt mit Lotus 1–2–3 ein richtungsweisendes Tabellenkalkulationsprogramm.

Die Firma SUN wird gegründet.

PETER NORTON gründet *Norton Utilities*.

JOHN WARNOCK entwickelt **PostScript** eine professionelle Druckerbeschreibungssprache und gründet zusammen mit CHARLES GESCHKE die Firma **Adobe Systems**.

Die CRAY X-MP — zwei parallel geschaltete CRAY - 1 — ist dreimal so schnell wie eine CRAY 1.

JON POSTEL entwickelt das Protokoll *Simple Mail Transfer Protocol*, kurz SMTP, das zum Standard wird für das Versenden von E–Mails über der TCP/IP Protokollstapel [170, p. 149].¹⁴

Im November bringt COMPAQ einen IBM kompatiblen tragbaren PC auf den Markt.

Der amerikanische Physiknobelpreisträger RICHARD FEYNMAN formuliert die Vermutung, dass es prinzipielle Probleme geben kann, wenn man mit einem klassischen Computer versucht, quantenmechanische physikalische Systeme zu simulieren. FEYNMAN vermutete, wenn man aber Computer verwendet, die auf quantenmechanischen Prinzipien statt klassischen basieren, können Probleme berechnet werden, die auf klassischen Computern nicht umgesetzt werden können.¹⁵

PAUL BENIOFF¹⁶ zeigt auf der Grundlage der Arbeiten von LANDAUER und BENNETT, dass ein Computer, der ausschließlich nach den Gesetzen der Quantenmechanik arbeitet, theoretisch funktionieren kann.

1983

¹⁴Das ursprüngliche SMTP Protokoll ist im RFC 821 definiert, siehe [418]. Mittlerweile wurde das SMTP Protokoll durch eine Vielzahl an Eigenschaften erweitert.

¹⁵Siehe [135, 136] und RICHARD P. FEYNMAN, Feynman Lectures on Computing, Westview, Boulder Colorado 1996, page 182.

¹⁶*Quantum Mechanical Models of Turing Machines that Dissipate no Energy*, Phys. Rev. Lett. **48**, 1581 – 1585, (1982).

Am 1. Januar findet ein Protokollwechsel im ARPANET statt vom NCP (Network Control Protocol) zu TCP/IP (Transmission Control Protocol/Internet Protocol).

Am 8. März wird der IBM PC-XT vorgestellt.¹⁷ Dieser Nachfolger des Ur-PCs ist mit dem Intel 8086er Prozessor ausgestattet, der intern und extern mit 16 Bit arbeitet. Eine weitere Neuerung ist die erstmalige Verwendung eines Festplattenspeichers für Personalcomputer mit 10 MByte Speicherkapazität.¹⁸

Mit der MS-DOS Version 2.0 wird das hierarchische Dateisystem — kopiert aus der UNIX – Welt — auch in die PC-Welt eingeführt.

Weltweit sind 13 Millionen Rechnersysteme installiert.

MICROSOFT entwickelt das Textverarbeitungsprogramm MS Word 1.0.

Die Firmen *Thinking Machines* und *Ncube* werden gegründet.

Im September initiiert RICHARD STALLMAN (siehe Abbildung [3.14]) das **GNU-Projekt**.¹⁹ Ziel ist, ein Unix-ähnliches Betriebssystem zu entwickeln, das ausschließlich aus freier Software besteht. Damit lancierte er auch die Freie-Software-Bewegung (Open Source).²⁰ STALLMAN war der führende Architekt und Organisator des GNU-Projekts und entwickelte eine Reihe von weit verbreiteten GNU-Software, darunter unter anderem die GNU Compiler Collection, den GNU Debugger und den GNU Emacs Texteditor.

Im November veröffentlicht **Paul Mockapetris** die RFCs 882 und 883; diese bilden die Grundlage des Domain Name Service (DNS).

Im November veröffentlicht **BORLAND** *Turbo Pascal*.

Ende 1983 erstellt FRED COHEN, ein Doktorand von LEO ADLEMAN, an der University of Southern California den ersten Computervirus ([230]).

Apple bringt den **Lisa** auf den Markt. Der Apple Lisa war einer der ersten Personal Computer, der über eine Maus und ein Betriebssystem mit grafischer Benutzeroberfläche verfügte — grundlegende Systemeigenschaften, die aus den Entwicklungen am Xerox PARC übernommen wurden. Wegen des hohen Preises von rund 10.000 US-Dollar (in Deutschland etwa 30 000.– DM) verkaufte sich der Rechner schlecht, und Apple stellte die Produktion bereits 1984 wieder ein.

¹⁷XT steht für *eXtended Technology*.

¹⁸Zu dem Themenkreis *Personal Computer* siehe den Artikel [365] aus den 1980er Jahren.

¹⁹Das Akronym GNU steht für *GNU is not Unix*.

²⁰Siehe den Artikel *The GNU Operating System and the Free Software Movement* von RICHARD STALLMAN in [117], pp. 53.



Abbildung 3.14: RICHARD STALLMAN.

In der Computergeschichte gilt Lisa als Vorbereitung des deutlich preisgünstigeren, aber technisch ähnlichen Apple Macintosh im Jahr 1984.

Der Apple Lisa hatte als Prozessor den Motorola 68000 Chip (inkl. MMU)²¹ mit einer Taktrate von 5 MHz und einem 16-Bit-Datenbus. Standardmäßig verfügte der Lisa über 512 kB Hauptspeicher, die auf maximal 1 MB RAM aufgerüstet werden konnte. Der Lisa verfügte über zwei 51/4-Zoll-Diskettenlaufwerke mit jeweils 871 kB Kapazität. Eine externe Festplatte mit einer Maximalgröße von 10 MB konnte nachgerüstet werden.

Die britische Firma Acorn beginnt mit der Entwicklung eines RISC-Prozessors, dem *Acorn RISC Machines*²² kurz ARM. Die ARM Prozessoren sind aufgrund hoher Leistungsfähigkeit bei gleichzeitig geringem Energiebedarf heute die meistgenutzte Architektur im Bereich der eingebetteten Systeme (*embedded systems*). Insbesondere werden sie in Smartphones (Android und iPhones) eingebaut.

In den SIGACT – News wird eine Arbeit von STEPHEN WIESNER mit dem Titel

Conjugate Coding

veröffentlicht [387]. Diese Arbeit stammt aus den Jahren 1969/70, WIESNER wendet hier erstmals quantenmechanische Methoden auf Verschlüsselungsverfahren an.

In der Mitte der 1980er Jahre verbreitet sich die Vernetzung von Büroarbeits-

²¹MMU = Memory Management Unit.

²²Später wurde dieses Akronym in Advanced RISC Machines umfirmiert.



Abbildung 3.15: Der Apple Lisa, Apples gigantischer Flop.

platz Rechnern in Form von *Local Area Networks*, kurz LAN, immer mehr. Die führenden LAN Architekturen sind Ethernet, Token Ring von IBM und ab 1989 Novell Netware [170, p. 233].

1984

Am 22. Januar kündigt STEVE JOBS in einem spektakulären, legendären Werbespot,²³ der nur ein einziges Mal während des Super Bowls lief, den Apple Macintosh an [381, p. 156]. Im ersten Jahr werden mehr als 100.000 Stück verkauft.

HEWLETT–PACKARD bringt mit dem *Laserjet* den ersten PC – Laserdrucker auf den Markt. Ladenpreis: 3495,– Dollar.

Am 14. August 1984 wird der IBM–AT (Advanced Technology) als Nachfolgemodell des PC/XT vorgestellt. Der IBM–AT basiert auf 16–Bit Prozessor 80286 von Intel mit 6 MHz Taktrate. Der 80286er Prozessor kann in zwei verschiedenen Modi arbeiten, den *protected mode* und den *real mode*. Im Realmodus arbeitet der Prozessor abwärtskompatibel wie die Vorgängermodelle. Im Protected Modus ist der 80286er Prozessor in der Lage, 16 MB Hauptspeicher zu adressieren

²³Diesen Werbespot gibt es unter YouTube unter der URL:

<https://www.youtube.com/watch?v=R706isyDrqI>

und damit ist Multitasking möglich. Betriebssystem ist MS-DOS 3.0, das für die 80286er Architektur angepasst ist.



Abbildung 3.16: Der IBM AT

AT&T kauft die Bell Systems und erwirbt damit die Ursprungsrechte an UNIX.

Der Chip Hersteller HITACHI stellt im Februar den ersten MegaBit DRAM Speicher vor. Die Serienproduktion ist aber erst für 1987 geplant.

SONY und PHILIPS bringen die erste CD-ROM auf den Markt mit einer bedeutend höheren Speicherkapazität für digitale Daten als bisherige Medien.

LESLIE LAMPORT veröffentlicht L^AT_EX. Dies ist ein Softwarepaket, das die Anwendung des Textsatzsystems T_EX von DONALD KNUTH mit Hilfe von Makros beträchtlich erleichtert. Die Entwicklung von L^AT_EX hält bis heute an, L^AT_EX hat sich als Standard für die Publikation wissenschaftlicher Texte etabliert. Die Einreichung von wissenschaftlichen Arbeiten bei Wissenschaftsverlage oder Fachzeitschriften geschieht — in der Regel — in Form eines L^AT_EX Dokuments.

Im Oktober verabschiedet das CCITT²⁴ die Normen für ISDN.

WILLIAM GIBSON prägt in seinem Science Fiction Klassiker *Neuromancer* den Begriff **Cyberspace**.

Die 3,5 Zoll Diskette löst die 5,25" Diskette als Massenspeicher ab.

²⁴CCITT = Comite Consultatif International Telegraphique et Telephonique.

Der russische Programmierer ALEXEI PASCHITNOW entwickelt das Computerspiel Tetris. Die erste spielbare Version wurde am 6. Juni 1984 auf einem Elektronika-60-Rechner fertiggestellt. Tetris gilt heute als Computerspiel Klassiker, dessen Ableger sich bis heute insgesamt über 425 Millionen Mal verkauft haben.

Die Firma DELL COMPUTER wird von MICHAEL DELL in Austin, Texas, gegründet. Heute — 40 Jahre später — verkauft Dell weltweit eine Palette von Produkten über viele Vertriebswege. Die Zentrale befindet sich nach wie vor in Texas, und der Direktor heißt weiterhin MICHAEL DELL. Der Umsatz für das Jahr 2023 betrug 88,4 Milliarden Dollar, der Gewinn 5,2 Milliarden. In aller Welt arbeiten 133.000 Menschen für Dell. Die deutschen Standorte sind Frankfurt am Main, Halle an der Saale und Ismaning an der Isar.



Abbildung 3.17: MICHAEL DELL

CHARLES BENNETT und GILLES BRASSARD entwickeln ein kryptographisches Protokoll, basierend auf quantenmechanischen Prinzipien, um einen sicheren, *i.e.* nicht kompromittierbaren, Schlüsselaustausch zwischen Alice und Bob zu ermöglichen.²⁵ Dieses Protokoll heißt BB84 Protokoll und beschreibt das sogenannte quantum key exchange Verfahren [28].²⁶

1985

²⁵In der Kryptographie sind traditionell Alice und Bob die beiden Protagonisten, die eine sichere Kommunikation aufbauen möchten.

²⁶Eine ausführliche Darstellung dieses Protokolls findet man in dem Buch von MATTHIAS HOMEISTER [197], Kapitel 7.2. Empfehlenswert ist der Artikel [29] von CHARLES BENNETT *et al.*

Siemens bringt mit *Hicom* das erste ISDN–Inhouse Kommunikationssystem auf den Markt.

Die Hersteller Bull, ICL, Nixdorf, Olivetti, Phillips und Siemens gründen die *Open UNIX Group* (später *X/Open*)

IBM stoppt die Produktion des PC–Junior im März und räumt damit einen Flop ein.

Im August kommt DON ESTRIDGE bei einem Flugzeugabsturz ums Leben. Als Ursache wird ein Computer–Crash bei der Flugsicherung kolportiert.

IBM kündigt im Oktober offiziell das Token–Ring–Lan an.

Die ersten Computer–Viren werden entdeckt und zunehmend als Sicherheitsrisiko erkannt.

Supercomputer erreichen 1 Milliarde Operationen pro Sekunde mit der CRAY 2 und der Parallel–Prozessor Maschine *Connection Machine* von Thinking Machine,

Die *National Science Foundation* (NSF) gründet vier Supercomputer Center in den USA.

MICROSOFT entwickelt WINDOWS 1.0 und bringt damit Macintosh–ähnliche Eigenschaften in die DOS–Welt, Ausgabetag ist der 20. November.

INTEL führt im Oktober den 80386 Chip ein, der erste 32–Bit Prozessor mit 275.000 Transistoren für die Reihe der IBM kompatiblen PC. Dieser Chip hat eine integrierte Speicherverwaltungseinheit (Memory Management Unit, MMU) und kann 4 GByte Arbeitsspeicher verwalten.

Die erste mit dem RSA Verfahren (Public Key Verfahren) versehene Software — die Groupware *Lotus Notes* — erscheint auf dem Markt ([231]).

Pagemaker — ein Desktop Publishing Programm — wird herausgegeben.

Das IEEE publiziert den ersten Ethernet Standard für eine Datenrate von 10 Megabit pro Sekunde unter dem Titel:

IEEE 802.3 Carrier Sense Multiple Access with Collision Detection (CSMA/CD) Access Method and Physical Layer Specifications.

STEVE JOBS verläßt nach einem internen Machtkampf die Firma Apple und

gründet das Unternehmen NEXT Incorp. in Redwood City, California.

Der englische Physiker DAVID DEUTSCH untersucht die quantenmechanische Erweiterung des Konzepts der klassischen universellen TURING Maschine [110].²⁷

Am 12. Oktober wird vom ANSI und der IEEE der Standard IEEE 754 publiziert. Die Norm IEEE 754 definiert Standarddarstellungen für binäre und dezimale Gleitkommazahlen in Computern und legt genaue Verfahren für die Durchführung mathematischer Operationen fest. Dies gilt insbesondere auch für Rundungen. Entwickelt wird dieser Standard von dem kanadischen Mathematiker WILLIAM KAHAN.

1986

Erstmals wird die Hannover-Messe in die CeBIT und Hannover-Messe-Industrie aufgeteilt.

HEINZ NIXDORF verstirbt auf der CeBIT 86..

COMPAQ, OLIVETTI & Co. stellen den 386er PC vor, der den IBM AT ablöst. Gleichzeitig verabschiedet sich IBM als Marktführer und versucht die verlorenen Marktanteile durch Einführung der PS/2 – Reihe wieder gutzumachen.

HEWLETT-PACKARD bringt seine erste RISC-Workstation auf Basis der eigenen HP Precision Architecture (PA-RISC) heraus. Die Maschinen heißen HP 3000, Serie 900.

Larry Wall entwickelt die Scriptsprache PERL.

Die Vier-Prozessormaschine CRAY XP erreicht 713 Millionen Floating Point Operations pro Sekunde (FLOPS).

Burroughs fusioniert mit Sperry zur *Unisys Corporation*.

MICROSOFT wird an der New Yorker Wallstreet notiert. Emissionspreis der Aktie: 21 Dollar.

1987

²⁷Zum Themenkreis der deterministischen, nicht-deterministischen, probabilistischen und quantenmechanischen Erweiterung von TURING Maschine findet man einen guten Überblick in YANOFSKY and MANNUCCI, [396], Chapt. 8.

IBM und eine Reihe weiterer Softwarehersteller verabschieden den SAA Standard, SAA steht dabei für *System Application Architecture*, ein Versuch, eine einheitliche Benutzeroberfläche für PC – Anwendungsprogramme zu schaffen.

Verteilte Datenbanken verbreiten sich immer mehr.

Am 1. August wird das RFC mit der Nummer 1.000 veröffentlicht.

IBM bringt die Serie PS/2 auf den Markt mit dem proprietären 32 – Bit Bus MicroChannel.

Experimentelle 4– und 16 Mbit Speicherchips werden vorgestellt.

WATTS HUMPHREYS und WILLIAM SWEET vom *Software Engineering Institute* (SEI) veröffentlichen das **Capability Maturity Model** (CMM), mit dessen Hilfe die Fähigkeit von Softwareentwickler eingeschätzt werden kann, zuverlässige Software zu entwickeln.

Microsoft bringt am 9. Dezember die Betriebssystemerweiterung Windows 2.0 auf den Markt.

DAVID PATTERSON, G. GIBSON und R. KATZ publizieren eine Arbeit [282], in der RAID Systeme vorgestellt werden. RAID steht ursprünglich für *redundant array of inexpensive disks*, aus marketingtechnischen Gründen wurde später aus *inexpensive* das sympatischere Wort *independent*. Ein RAID–System dient zur Organisation mehrerer physischer Massenspeicher — üblicherweise Festplattenlaufwerke oder Solid–State–Drives — zu einem logischen Laufwerk, das eine höhere Ausfallsicherheit oder einen größeren Datendurchsatz erlaubt als ein einzelnes physisches Speichermedium.

1988

IBM, DEC und HEWLETT PACKARD gründen die *Open System Foundation*, ein Gegenstück zur Open UNIX Group.

Am 21. Juni stellt IBM den Midrange Rechner *Application System/400 AS/400* vor.



Abbildung 3.18: Ein Hardware RAID–System.

MOTOROLAS 32–Bit RISC Prozessorfamilie bietet Verarbeitungsgeschwindigkeiten von 17 Millionen Instruktionen pro Sekunde.

Die DARPA gründet das **Computer Emergency Response Team** (CERT) an der Carnegie Mellon University als Reaktion auf das Aufkommen von ersten Internet Würmern. Aufgabe des CERTs ist die Erkennung neuer Gefahren für das Internet und die Entwicklung geeigneter Gegenmaßnahmen. Mittlerweile existieren eine Vielzahl von CERTs in verschiedenen Ländern. Aufgaben rund um die Computersicherheit in den Institutionen der Bundesrepublik Deutschland übernimmt seit dem 1. September 2001 das eigens hierfür gegründete **CERT–Bund** des *Bundesamts für Sicherheit in der Informationstechnik* – BSI.²⁸ Das BSI bietet darüber hinaus mit dem *Bürger–CERT* auch einen entsprechenden Dienst für Privatpersonen an.

BARRY W. BOEHM veröffentlicht das **Spiralmodell** der Software Entwicklung [44]. Das Spiralmodell fasst den Entwicklungsprozess im Software–Engineering als iterativen Prozess auf, wobei jeder Zyklus in den einzelnen Quadranten folgende Aktivitäten enthält:

- Festlegung von Zielen, Identifikation von Alternativen und Beschreibung

²⁸Siehe dazu die Webseite

<https://www.bsi.bund.de/>.



Abbildung 3.19: Eine AS/400, heute IBM i-Series.

von Rahmenbedingungen

- Evaluierung der Alternativen und das Erkennen, Abschätzen und Reduzieren von Risiken, z. B. durch Analysen, Simulationen oder Prototyping
- Realisierung und Überprüfung des Zwischenprodukts
- Planung des nächsten Zyklus der Projektfortsetzung.

Die Risikobetrachtung ist der wesentliche Aspekt, der das Spiralmodell von anderen, zuvor entwickelten Vorgehensmodellen unterscheidet. Dabei werden zunächst alle Risiken, die das Projekt bedrohen, identifiziert und anschließend bewertet. Dann sucht man einen Weg, um das größte Risiko zu beseitigen. Das Projekt gilt als gescheitert, wenn die Beseitigung fehlschlägt. Wenn hingegen keine Risiken mehr existieren, so ist das Projekt erfolgreich abgeschlossen.

Das Spiralmodell gehört zu den inkrementellen oder iterativen Vorgehensmodellen. Es ist eine Weiterentwicklung des Wasserfallmodells, in der die Phasen mehrfach spiralförmig durchlaufen werden.

Das inkrementelle und iterative Vorgehensmodell sieht daher eine zyklische Wiederholung der einzelnen Phasen vor. Dabei nähert sich das Projekt langsam den Zielen an, auch wenn sich die Ziele während des Projektfortschrittes verändern. Durch das Spiralmodell wird das Risiko eines Scheiterns bei großen Softwareprojekten entscheidend verringert.

1989



Abbildung 3.20:

Am 21. April 1989 wurde der erste *Game Boy* von Nintendo auf den Markt gebracht. In Deutschland war er ab Herbst 1990 erhältlich. Obwohl die Technologie zunächst kritisiert wurde, avancierte der *Game Boy* mit Spielen wie Super Mario und Pokemon zum Kultobjekt. Weltweit wurden 119 Millionen Einheiten des Game Boy verkauft.

Im April bringt INTEL den 80486 Chip mit 1.2 Millionen Transistoren auf den Markt.

Im März veröffentlicht TIM BERNERS-LEE [32] am CERN eine Arbeit mit dem Titel

Information Management: A Proposal

Aus diesen Anfängen entwickelt sich die Seitenbeschreibungssprache *Hypertext Markup Language* (HTML).

Die ANSI C Spezifikation wird veröffentlicht.

SEYMOUR CRAY gründet die *Cray Computer Corporation* und beginnt mit der Arbeit an der CRAY 3 auf der Basis von Gallium Arsen Chips.

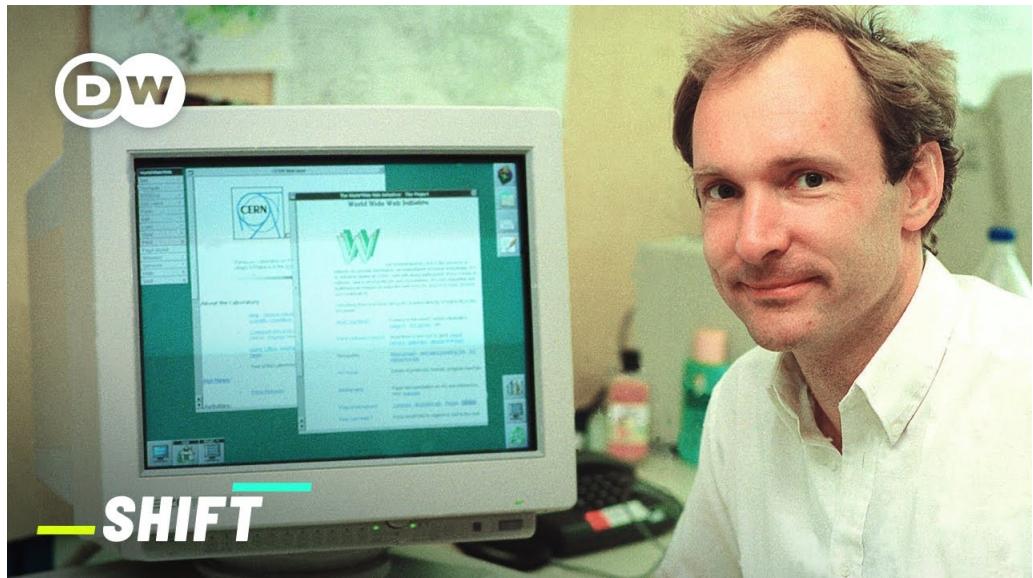


Abbildung 3.21: TIM BERNERS-LEE, der 'Erfinder' des WWW.

Die erste SPEC Benchmark Suite wird verabschiedet. Dies erlaubt den Vergleich der Leistungsfähigkeit von unterschiedlichen Rechnern. SPEC steht für *Standard Performance Evaluation Corporation*.

Die Firma Quantum Computer Services, die in den 1980er Jahren grafische Online Dienste für den Commodore 64 bereitstellte, wird zu **America Online** — kurz AOL — umfirmiert [170, p.330]. Im Jahr 2000 war AOL der größte Internetanbieter weltweit.

Der Physiker JOHN A. WHEELER untersucht in einem Vortrag [384] den Zusammenhang von physikalischen Objekten und Information. WHEELER fasst diesen Zusammenhang in der Phrase

It from Bit

prägnant zusammen.

It from bit symbolises the idea that every item of the physical world has at bottom — at a very deep bottom, in most instances — an immaterial source and explanation; that what we call reality arises in the last analysis from the posing of yes-no questions and the registering of equipment-evoked responses; in short, that all things physical are information-theoretic in origin and this is a participatory universe.²⁹

²⁹Zitat aus [384]; siehe die Monographie [373] Seite 233 oder den Beitrag von DAVID DEUTSCH in [111].

1990

Am 1. Januar 1990 werden die Lizenzen für den Mobilfunk der zweiten Generation — das ist der heutige **GSM** – Standard³⁰ — vergeben.

Der finnische Informatikstudent LINUS TORVALDS beginnt mit der Erstellung eines UNIX Derivates für die INTEL 80x86 Prozessoren (LINUX)[366, 302, 117].



Abbildung 3.22: LINUS TORVALDS.

MICROSOFT führt im Mai die Betriebssystemerweiterung Windows 3.0 ein.

IBM bringt die RS/6000 mit RISC Technologie auf den Markt (siehe Abb. [3.23]).³¹ Diese skalierbare Rechnerfamilie wurde als Desktop–Computer bis zu einem Rechnercluster ausgeliefert. Standard Betriebssystem war die IBM Unix Variante AIX. Die RS/6000 Reihe wurde Ende der 90er Jahre durch die *p*–Series abgelöst, diese wiederum wurde 2004 in System *p* umbenannt.

Im Oktober beginnt TIM BERNERS-LEE mit der Arbeit am WWW–Browser/-Editor.

Das ARPANET wird abgeschaltet und geht in das INTERNET über.

³⁰GSM = *Global System for Mobile communications*.

³¹RISC = Reduced Instruction Set Computing



Abbildung 3.23: Eine RS/6000 Server Farm.

1991

Die MS-DOS Version 5.0 erscheint, sie enthält eine bessere Speicherverwaltung.

IBM führt das Betriebssystem OS/2 Version 2.0 ein.

INTEL führt den 486SX Prozessorchip mit 1.18 Millionen Transistoren ein.

Die Walldorfer SAP AG bringt das Standardsystem R/3 für die Abwicklung betriebswirtschaftlicher Vorgänge auf den Markt.

Phil Zimmermann erstellt das Programm **PGP** (=Pretty Good Privacy), mit dessen Hilfe email-Nachrichten verschlüsselt werden können (siehe [343, 82]). Dieses Programm verschlüsselt die Nachrichten mit Hilfe der RSA-Methode und ist derart effektiv, dass die amerikanische Regierung ein Exportverbot dieses Programms verfügte. Hintergrund dessen ist, dass die verschlüsselten Nachrichten nicht dechiffriert werden können, selbst CIA, NSA, FBI oder wer auch immer ist nicht dazu in der Lage³².

³²Siehe zum Beispiel [57], pp. 160, über die restriktiven US-Exportbedingungen von Verschlüsselungssoftware.



Abbildung 3.24: PHIL ZIMMERMANN.

IBM, MOTOROLA und APPLE kündigen eine Gemeinschaftsproduktion des PowerPC Prozessors an. PowerPC ist ein Akronym für *Performance optimization with enhanced RISC*.

Die Firma MIPS Computer Systems bringt den RISC-Prozessor MIPS R4000 auf den Markt, dies ist der erste 64-Bit Prozessor. Das Akronym MIPS steht für *Microprocessor without Interlocked Pipeline Stages*.

Im Septemberheft des *Scientific American* veröffentlichte MARK WEISER — damals Head des Computer Science Laboratory am XEROX PARC — eine Arbeit mit dem Titel [382]

The Computer for the 21st Century

in dem der Begriff **ubiquitous computing** geprägt wurde. Diese Arbeit wird als eine der Ursprünge des heutigen *Internet of Things* angesehen.³³

Am 17. September erscheint das erste Release von LINUX mit Versionsnummer V 0.01 ([366]).

³³Diese Arbeit findet man Online unter
<https://www.iri.fr/~mbl/Stanford/CS477/papers/weiser-SciAm.pdf>

CRAY Research gibt die CRAY Y-MP C90 frei mit 16 Prozessoren und einer Leistung von 16 GigaFLOPS.

Im Oktober 1991 wurde nach mehrjähriger Entwicklungszeit die Version 1.0.0 des Unicode-Standards veröffentlicht. Die erste Version kodierte die europäischen, nahöstlichen und indischen Schriften. Acht Monate später erschien die Version 1.0.1, die erstmals ostasiatische Zeichen kodierte. Mit der Unicode Version 1.0.0 konnten 7161 Zeichen dargestellt werden, dies ist eine wesentliche Erweiterung der bis dato in Gebrauch befindlichen Zeichensätze wie ASCII.

Gründung des Bundesamtes für Sicherheit in der Informationstechnologie in Bonn (BSI).

Am Fraunhofer-Institut für integrierte Schaltungen wird das mp3-Format vorgestellt. Unter der Leitung von KARLHEINZ BRANDENBURG und in Kooperation mit der Universität Erlangen-Nürnberg, den AT&T Bell Labs und Thomson wurde dieses Verfahren zur verlustbehafteten Kompression digital gespeicherter Audiodaten entwickelt.³⁴

1992

Im März treibt der *Michelangelo Virus* sein Unwesen.

Ende Juni: Mannesmann Mobilfunk — heute Vodafone — verkauft die ersten GSM-Handys (GSM=Global System for Mobil Communications).

Im Juli stellt APPLE den Newton vor.

DEC entwickelt die 64-Bit RISC Alpha Architektur.

IBM stellt die *Power-RISC-Architecture* vor.

Im September 1992 gründen Roland Dyroff, Burchard Steinbild, Hubert Mantel und Thomas Fehr die 'Gesellschaft für Software und Systementwicklung mbH'. Der Name S.u.S.E. stand dabei als Akronym für Software- und System-Entwicklung. Als erstes eigenes Linux-Produkt wurde dabei eine Erweiterung der Linux-Distribution *Slackware* vertrieben, die auf 40 Disketten ausgeliefert wurde. Das Unternehmen übersetzte die Distribution in einer Kooperation mit dem Slackware-Gründer Patrick Volkerding ins Deutsche. Der Kern der Distribution blieb jedoch Slackware, bis SuSE im Mai 1996 die erste eigene Distribution, basierend auf der Jurix-Distribution von Florian La Roche, veröffentlichte.

³⁴Siehe die ausgezeichnete Monographie von FRANZ MILLER [263].

Am 3. November erscheint der erste Entwurf der Seitenbeschreibungssprache HTML (Hypertext Markup Language).

Am 3. Dezember wurde die erste SMS (Short Message Service) Nachricht über das Vodafone GSM Netzwerk übermittelt. Der Ingenieur NEIL PAPWORTH (Sema Group, heute Mavenir Systems) schrieb die SMS mit dem Inhalt *Merry Christmas* auf einem Personal Computer an seinen Kollegen RICHARD JARVIS, der die Nachricht auf einem Orbitel 901 Mobilphone empfing.

1993

Im Januar wird das Unternehmen Nvidia von JEN-HSUN HUANG, CURTIS PRIEM und CHRIS MALACHOWSKY gegründet. Die Nvidia Corporation ist heute einer der größten Entwickler von Grafikprozessoren und Chipsätzen für Personal Computer, Server und Spielkonsolen. Der Hauptsitz des Unternehmens liegt in Santa Clara, Kalifornien.

Der Pentium-Prozessor von INTEL erblickt am 22. März auf der CeBIT das Licht der Welt. Der Pentium Prozessor war der erste superskalare Prozessor von Intel, der die Befehle in Pärchen aufteilen und in zwei Pipelines mit eigenen Rechenwerken ausführen konnte. Der Pentium hatte eine Sprungvorhersageeinheit (Branch Prediction Unit), für die Intel bis zu 25 Prozent Leistungsgewinn versprach.

Der Prozessor hatte, wie seitdem alle Intel-Prozessoren, getrennte L1-Caches für Instruktionen und Daten sowie maschinenspezifische Register. Diese haben bis heute überlebt. Nach außen kommunizierte der Pentium Prozessor über einen 64-Bit Datenbus.

APPLE bringt den *Newton* auf den Markt, den ersten populären *Personal Digital Assistant* (PDA).

Im März wird von MICROSOFT die MS-DOS Version 6.0/6.2 freigegeben, sie enthält gegenüber dem Vorgänger zahlreiche Zusatzttools.

Im April gibt das CERN die WWW-Technologie an die Public Domain frei.

Im Juli erscheint die erste Vorabversion des *Hypertext Transfer Protocols*, das zur Übertragung von HTML Seiten dient (HTTP).

Am 27. Juli bringt MICROSOFT das neue Server-Betriebssystem **Windows NT 3.1** (NT = New Technology) auf den Markt.



Abbildung 3.25: Der erste Web–Server am CERN.

Studenten und Mitarbeiter des National Centers for Supercomputing Applications der University of Illinois entwickeln eine graphische Benutzerschnittstelle für die Navigation im Internet, die **NCSA Mosaic** getauft wird.

1994

Es wird entdeckt, dass der Pentium–Prozessor falsch rechnet, dies bezeichnet man als FDIV–Bug. Der FDIV–Bug bezeichnet einen Hardwarefehler des Pentium–Prozessors von Intel. Der Fehler wurde im November 1994 anderthalb Jahre nach der Markteinführung bekannt und führt bei Gleitkomma–Divisionen mit bestimmten, relativ wenigen Wertepaaren zu ungenauen Ergebnissen. Kein anderer Fehler in einem CPU–Design hat so viel Wirbel und Aufregung bei Anwendern und Fachleuten ausgelöst. In der Folge werden entdeckte Hardwarefehler von vielen Herstellern veröffentlicht. Vielen Anwendern ist dadurch bewusst geworden, dass komplexe Hardware, ebenso wie Software, typischerweise zahlreiche Fehler hat.³⁵

MICROSOFT implementiert Visual Basic for Applications (VBA) in Excel.

LEONARD ADLEMAN (University of Southern California) zeigt, dass die DNA

³⁵Siehe dazu das Buch von TIM JACKSON [206].

als Computer benutzt werden kann.

Im März gründen MARC ANDREESSEN und JIM CLARK die Firma *Mosaic Communications Corp.*, die später in **Netscape** umfirmierte.

Am 1. Oktober wird das **World Wide Web Consortium** (W3C) am Computer Science Laboratory am MIT gegründet.

Am Goddard Raumflugzentrum der NASA wird der erste PC Cluster aufgebaut und zum Laufen gebracht (Siehe [177]).

Am 15. Dezember wird der Browser Navigator 1.0 freigegeben. Parallel dazu wird im TCP/IP Protokoll-Stack das Protokoll **https** implementiert — dieses Akronym steht für **Hypertext Transfer Protocol Secure**. Dies ermöglicht eine abhörsichere Übertragung von Informationen über das Internet. Technisch wird dies realisiert durch eine Verschlüsselungsschicht im Protokollstapel TCP/IP zwischen der Transport- und der Anwendungsschicht. Die Protokolle sind SSL — für Secure Socket Layer — und TLS — für Transport Layer Security.³⁶

PETER SHOR publiziert eine Arbeit ([339]), in der er einen Algorithmus präsentiert, der in polynomialer Laufzeit sehr große Zahlen faktorisiert. Dieses Verfahren basiert auf Quantum Computing und nutzt die enorme Parallelität eines Quantencomputers.³⁷

Das Unternehmen Denso in Japan entwickelt den QR-Code — ein Akronym für *Quick Response*. Ursprünglich wurde der QR-Code zur Markierung von Baugruppen und Komponenten für die Logistik in der Automobilproduktion des Toyota-Konzerns entwickelt. Das den QR-Code entwickelnde Unternehmen Denso kooperierte bereits seit seiner Ausgliederung aus dem Konzern 1949 als Zulieferer unter anderem für sämtliche elektrischen und elektronischen Baugruppen mit Toyota. Die Entwicklung des zweidimensionalen Codes übernahm die Tochterfirma Denso Wave, die auch Identifikationssysteme und Geräte zur mobilen Datenerfassung entwickelt. Entwickelt wurde der QR-Code ab 1992 von MASAHIRO HARA und den Teammitgliedern TAKAYUKI NAGAYA, MOTOAKI WATABE, TADAO NOJIRI und YUJI UCHIYAMA.³⁸

Seit den späten 1980er Jahren gab es eine Reihe von Bestrebungen, das Kabelgewirr rund um eine Computerinstallation durch Funkperipherie (z. B. Funktastaturen, Drucker mit Infrarotschnittstelle etc.) zu esetzen.

Damals war neben der Funktechnik die Infrarottechnik sehr beliebt, und es sah so aus, als ob sich diese durchsetzen würde. Um ein herstellerübergreifendes Pro-

³⁶Siehe dazu RFC 2818 [418].

³⁷Siehe den Artikel von SETH LLOYD, [237]. Siehe den Artikel von TIM FOLGER [138].

³⁸Siehe den Artikel [241].

tokoll zu entwickeln, schlossen sich im August 1993 ca. 30 Unternehmen zusammen (darunter HP, IBM, Digital) und gründeten die *Infrared Data Association* (IrDA). Ziel war es, ein einheitliches Protokoll für die Datenübertragung per Infrarot zu schaffen. Zahlreiche Erkenntnisse aus der IrDA-Entwicklung flossen später auch in den neugewonnenen Bluetooth-Funkstandard ein. Die IrDA-Technik hat jedoch einen zentralen Nachteil: Sichtkontakt zwischen Sender und Empfänger.

Aus diesem Grund wurde 1994 die Firma *Ericsson* mit einer Machbarkeitsstudie beauftragt, einen funkbasierten Ersatz für Kabelverbindungen zu erarbeiten. Die Studie lieferte ein positives Ergebnis, und 1998 gründeten Ericsson, Nokia, IBM, Toshiba und Intel die **Bluetooth Special Interest Group** (SIG) zur Ausarbeitung eines Standards, der verbindliche Spezifikationen festlegte. Als erste endgültige Spezifikation veröffentlichte die SIG Version 1.0a im Juli 1999, Version 1.0b folgte im Dezember desselben Jahres. Erst im Februar 2001 wurde der Standard in der Version 1.1 vorgelegt. Dieser galt als die erste solide Basis für marktgerechte Produkte, da die Vorversionen eine Reihe von Ungenauigkeiten und Fehlern aufwiesen.

1995

Die Programmiersprache JAVA, entwickelt von JAMES GOSLING und seinem Team von SUN, wird freigegeben.

Am 17. Juli wird das **Global Positioning System** (GPS) offiziell in Betrieb genommen [170, p. 392]. Das GPS wurde in den 1970er Jahren vom amerikanischen Verteidigungsministerium entwickelt und löste in den 1980er Jahren nach und nach ältere Systeme der US Marine ab.³⁹

Am 24. August wird mit einer großen Presse- und Werbekampagne das Betriebssystem WINDOWS 95 von MICROSOFT auf den Markt gebracht.

Der MICROSOFT Internet Explorer 1.0 erblickt das Licht der Software-Welt

Am Labour Day, 3. September, geht das *Auction Web* in San Jose online, eine Auktionsplattform, die von dem Amerikaner — mit französisch-iranischen Wurzeln — PIERRE OMIDYAR entwickelt wurde. Später wurde diese Plattform in eBay umfirmiert [381, p. 193].

Am 1. Dezember Freigabe des Apache-Releases 1.0 (Internet Server)

Das IEEE publiziert den LAN Standard für **Fast Ethernet** mit einer Datenübertragungsrate von 100 Megabit pro Sekunde für Twisted Pair Kabel und

³⁹ Siehe MISRA and ENGE, [265].

Glasfaser.

1996

Im Februar gelingt es dem Schach-Computer Deep Blue — entwickelt von IBM — gegen den amtierenden Schachweltmeister GARRY KASPAROW zu gewinnen.

Der erste ANSI C++ Standard wird veröffentlicht.

Der INTEL PentiumPro wird angekündigt.

Ein Firmenkonsortium, bestehend aus Compaq, Hewlett-Packard, IBM, Microsoft, NEC und Intel, entwickelt den Universal Serial Bus, kurz USB 1.0. Der USB Standard dient zur Anbindung beliebiger Peripheriegeräte an einen Personal Computer und löst eine Reihe unterschiedlicher externer Bussysteme ab.

Im Juni 1996 zerstörte sich die europäische Rakete Ariane 5 weniger als eine Minute nach ihrem Start selbst.⁴⁰ Der Fehler lag in einer einzigen Zeile des Programmcodes, die Anweisung versuchte eine 64-Bit Zahl auf eine 16-Bit Speicherstelle zu laden. Dies führte zu einem Überlauf, als Folge davon schaltete sich die Steuerung ab. Verlust: vier Satelliten mit einem Wert von über mehrere Millionen Euro.

Das IEEE⁴¹ feiert ihr 50jähriges Bestehen.

1997

Im Januar 1997 wird die Generation der MMX Prozessoren (Multi Media Extension) von INTEL auf den Markt gebracht.

Auf der CeBIT 97 werden Pentium II Rechner vorgeführt.

Das IEEE publiziert den ersten Wireless LAN (WLAN) Standard, bekannt unter IEEE 802.11.

⁴⁰Der offizielle Bericht findet man unter der URL:

sunnyday.mit.edu/nasa-dass/Ariane5-Report.html

⁴¹IEEE ist ein Kürzel für *Institute of Electrical and Electronic Engineers* und bezeichnet eine weltweit agierende Organisation, die eine Vielzahl von IT-Standards — insbesondere im Netzwerkbereich — entwickelt hat. Siehe auch die URL: <http://www.ieee.org>.

Am 29. August 1997 wird im kalifornischen Scotts Valley die Firma Netflix von MARC RANDOLPH und REED HASTINGS gegründet.

1998

Im Januar stirbt RICHARD W. HAMMING in Monterey, California, USA, im Alter von 83 Jahren.

Im Januar wird die DIGITAL EQUIPMENT CORPORATION (DEC) von COMPAQ für 9.6 Milliarden US-Dollar übernommen.

Das World Wide Web Consortium (W3C) verabschiedet im Februar den endgültigen Standard für die Syntax der *Extensible Markup Language* (XML).

Am 6. Mai kündigt STEVE JOBS den **iMac G3** Rechner von Apple an.



Abbildung 3.26: Der iMac G3

Am 8. Juni wird SETIHome eingeführt.

MICROSOFT setzt das PC – Betriebssystem WINDOWS 98 am 24. Juni in die Software-Welt.

Die Walldorfer SAP AG geht an die New Yorker Börse.

Am 27. September geht die Suchmaschine **Google** online. Der Name ist abgeleitet von dem Wort *Googol*, dies bezeichnet die gigantische Zahl 10^{100} , i.e. eine 1 mit 100 Nullen.

Im Heinz Nixdorf Museum, Paderborn, werden in der Nacht vom 5. zum 6. Dezember insgesamt 512 autonome Linux Rechner zu einem Cluster zusammeneschaltet.

Das IEEE gibt den Standard für das **Gigabit Ethernet** frei, eine LAN Spezifikation für Datenübertragungsraten mit 1 Milliarde Bits pro Sekunde. Einsetzbares Übertragungsmedium ist entweder Glasfaser oder Twisted Pair Kabel. Gigabit Ethernet ermöglicht sehr leistungsfähige Backbone Netze und Verbindungen zu hoch-performanten Servern.

BRUCE SCHNEIER und JOHN KELSEY publizieren eine Arbeit über kryptografisch abgesicherte Verkettung von einzelnen Datenblöcken. [328] Diese Arbeit — sowie andere — bildeten die Grundlage von Blockchain Methoden und der digitalen Währung **Bitcoin**.

1999

INTEL bringt am 26. Februar den Pentium III auf den Markt, eine Woche zuvor lanciert das Konkurrenzunternehmen AMD seinen K6-III.

Das Internet-Protokoll **IPv6** wird vom *Internet Architecture Board* (IAB) offiziell freigegeben. Damit wird dem drohenden Engpaß an verfügbaren Internet-Adressen vorgebeugt. Dennoch werden einige Jahre vergehen, bis das alte IPv4 abgelöst wird.

Das Jahr-2000-Problem, auch als *Millenium-Bug* bezeichnet, rückt immer näher. Es handelt sich dabei um ein Computerproblem, das im Wesentlichen durch die Behandlung von Jahreszahlen als zweistellige Angabe innerhalb von Computersystemen entstanden ist.

In den 1960er und 1970er Jahren war Speicherplatz knapp und teuer. Zum Beispiel konnten Lochkarten nur 80 Stellen speichern, Computer hatten Arbeitsspeicher mit z. B. 64 KB Kapazität. Programmierer sparten daher so viel wie möglich an Speicherbedarf ein. Häufig wurden deshalb zur Speicherung und Verarbeitung von Jahreszahlen (in Dezimaldarstellung) nur die letzten beiden Ziffern (Jahr und Jahrzehnt, etwa im Format TTMMJJ) benutzt, so unter anderem von der Computerpionierin GRACE HOPPER bei der Entwicklung von

COBOL. Das Problem betraf Betriebssysteme, Anwenderprogramme und Datenbestände. Die ersten beiden Ziffern (die das Jahrhundert nennen) wurden nicht berücksichtigt und man bedachte nicht, dass bzw. ob die Programme über das laufende Jahrhundert hinaus in dieser Weise benutzt werden. Viele Programme und die dazugehörigen Datenbestände — insbesondere Datenbanksysteme — wurden im Laufe der Jahre immer wieder auf vorangegangenen Versionen aufbauend erweitert, ohne dass dieser Mangel korrigiert wurde. Je näher die Jahrhundertwende kam, desto deutlicher wurde, dass diese Programme die Jahreszahl 00 und die folgenden in vielen Fällen nicht korrekt verarbeiten können; zum Beispiel werden bei einem Vergleich zweier Jahreszahlen (z. B. mit Werten ≥ 00 gegen Werte ≤ 99) erstere als kleiner — also früher — behandelt werden.⁴²

Der Interessensverband **Bitkom** wird im Oktober 1999 in Berlin gegründet. Gründungsverbände des Bitkom waren der Bundesverband Informations- und Kommunikations-Systeme (BVB), der Bundesverband Informationstechnologien (BVIT) sowie die Fachverbände Informationstechnik im VDMA und Kommunikationstechnik im ZVEI.

2000

Am 13. Januar 2000 gibt BILL GATES den Vorstandsvorsitz von MICROSOFT an die Nummer zwei des Unternehmens STEVE BALLMER ab.

In der Zeitschrift *Computing in Science and Engineering* [121] veröffentlichen die Gasteditoren JACK DONGERRA und FRANCIS SULLIVAN eine Liste von zehn Algorithmen, die den größten Impakt für die Entwicklung und den Fortschritt in Wissenschaft und Technik im 20. Jahrhundert hatten.

- > METROPOLIS Algorithmus für das Monte-Carlo Verfahren (JOHN VON NEUMANN, STAN ULAM und NICK METROPOLIS)
- > Simplex Algorithmus für die Lineare Programmierung (GEORGE DANTZIG)
- > Die KRYLOV Unterraum Iterations Methode
- > Der dekompositionelle Ansatz für Matrixberechnungen
- > Der Fortran-Optimierungscompiler (JOHN BACKUS)
- > QR-Algorithmus zur Berechnung von Eigenwerten
- > Quicksort-Algorithmus für Sortierprobleme (TONY HOARE)

⁴²Zu der Thematik Millennium-Bug siehe den Artikel von PETER DE JAGER [105].

-
- > Schnelle FOURIER Transformation
 - > Entdeckung ganzzahliger Beziehungen
 - > Schneller Multipol Algorithmus

Auf der CeBIT 2000 (Ende Februar) erblickt WINDOWS 2000 das offizielle Licht der Software-Welt.

Anfang Mai 2000 legt ein Internet-Wurm (Virus) mit dem Namen *ILOVEYOU* das Netz der Netze lahm und verursacht Schäden in Milliardenhöhe.

2. Oktober 2000: Der von JOAN DAEMEN und VINCENT RIJMEN entwickelte symmetrische Verschlüsselungsalgorithmus **Rijndael** wird offiziell vom National Institute of Standards and Technology (NIST) zum **Advanced Encryption Standard** (AES) deklariert (siehe [2]).

Oktober 2000: JACK KILBY erhält anteilig den Nobelpreis für Physik für seine bahnbrechenden Entwicklungen der integrierten Schaltkreise.

November 2000: INTEL bringt den Pentium IV auf den Markt mit Taktraten jenseits der GigaHertz Schallmauer.

15. November 2000: Das Internet Domain Name System (DNS) wird um weitere Top-Level Domains erweitert. Die ICANN (*Internet Corporation for Assigned Names and Numbers*) lässt sieben neue Adress-Endungen zu, beispielsweise **.biz** für Business, **.aero** Luftverkehr, Reiseindustrie oder **.pro** für Computerbranche.

Betriebssystem	Jahr	Quellcodezeilen
Windows 3.1	1992	3 Millionen
Windows NT	1992	4 Millionen
Windwos 95	1995	15 Millionen
Windows NT 4.0	1996	16.5 Millionen
Windows 98	1998	18 Millionen
Windows 2000	2000	35 - 60 Millionen

Tabelle 3.2: Wachsende Komplexität des Quellcodes (aus [326]).

Das **Clay Mathematics Institute** in Cambridge (Massachusetts) stellt die als Millennium-Probleme bezeichnete Liste ungelöster Probleme der Mathematik vor. Das Institut hat für die Lösung eines der sieben Probleme ein Preisgeld

Hersteller	Umsatz in Mrd, Dollar
Intel	29.8
Toshiba	11.2
NEC	11.1
Samsung	10.8
Texas Instruments	9.1
Motorola	8.0
STMicro	7.9
Hitachi	7.3
Hyundai	6.9
Infinion	6.7

Tabelle 3.3: Die weltgrößten Chiphersteller, Umsätze im Jahre 2000.

von jeweils einer Million US-Dollar ausgelobt. Diese Liste enthält die folgenden sieben Probleme.⁴³

1. der Beweis der Vermutung von BIRCH und SWINNERTON–DYER aus der Zahlentheorie,[253]
2. der Beweis der Vermutung von HODGE aus der algebraischen Geometrie,
3. Analyse von Existenz und Regularität von Lösungen des Anfangswertproblems der dreidimensionalen inkompressiblen NAVIER–STOKES–Gleichungen, [351],
4. die Lösung des P–NP–Problems der Informatik,, [357],
5. der Beweis der POINCARE–Vermutung in der Topologie (2002 gelöst von GRIGORI JAKOWLEWITSCH PERELMAN, die Vermutung trifft zu),⁴⁴
6. der Beweis der RIEMANNSchen Vermutung der Zahlentheorie, [252]
7. die Erforschung der Gleichungen von Yang–Mills, [17].

2001

Crash der Kurse an den Wachstumsbörsen für viele *dot.com* Companies.

Apple bringt den iPod auf den Markt und revolutioniert damit die Musikbranche [232].

⁴³Siehe dazu auch die dazu thematisch relevante Artikel [42], [210] und [106] und das Buch von KEITH DEVLIN [114].

⁴⁴Siehe dazu [363] oder den Artikel [79].

Die Version 2.0 des Universal Serial Bus (USB 2.0) wird freigegeben.

Am 23. Februar stirbt CLAUDE E. SHANNON im Alter von 84 Jahren in Medford, Massachusetts, USA.

Im Februar wird bei einem Meeting von Programmierern in Utah das **Agile Manifest**⁴⁵ verfasst.

Im Juni bringt INTEL den Prozessor Itanium, der auf der 64-Bit IA-64 Architektur basiert auf den Markt. Der Itanium Prozessor basiert auf der zusammen mit HP entwickelten IA-64 RISC-Architektur. Der Prozessor verfügt unter anderem über 128 64-Bit Allzweckregister und 128 82-Bit Floating Point Register. INTEL bringt zur Konstruktion des Itanium Prozessor über 25 Millionen Transistoren auf einem Chip unter.

Im September übernimmt der US-Computerkonzern HEWLETT-PACKARD den ehemaligen PC-Weltmarktführer COMPAQ für die stolze Summe von 25 Milliarden US-Dollar ([49]). Durch die Fusion entsteht ein Unternehmen mit einem Jahresumsatz von 87 Milliarden US-Dollar, annähernd so hoch wie der Computerkonzern IBM.

Im Oktober bringt MICROSOFT das Betriebssystem **Windows XP** auf den Markt.

Der PowerPC 7450 Prozessor mit 1 GHz Taktrate und 33.000.000 Transistoren wird eingeführt.

Das *Computer Emergency Response Team* (CERT) verzeichnet 52.658 verschiedene Computerviren.

Wikipedia wird gegründet

2002

EDSGER W. DIJKSTRA stirbt im Alter von 72 Jahren.

Ende des Jahres verkauft IBM sein gesamtes Speichermedien Geschäft an Hitachi (siehe [180]).

Dell erreicht den ersten Platz unter den PC Herstellern und löst damit den bisherigen Marktführer Compaq ab.

⁴⁵Siehe die URL: <http://agilemanifesto.org>.

Das IEEE gibt die Standards 802.3ae, 802.3ak und 802.3an frei. Dies sind Spezifikationen für 10Gigabit Ethernet über Glasfaser und Kupferkabel.

Einer Arbeitsgruppe der Universität Genf gelingt die *quantum key distribution* mit einer Plug&Play System auf einer Teststrecke von Genf nach Lausanne (67 km) (siehe die Abbildungen [3.27] und [??]).

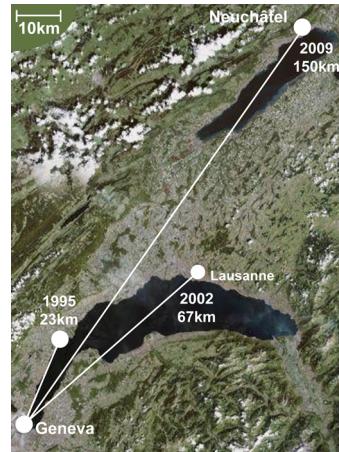


Abbildung 3.27: Die Teststrecke für den Schlüsselaustausch zwischen Genf und Lausanne.

Die Plattform *Friendster* wird gegründet. Friendster war ein durch die Friendster Inc. betriebenes, vor allem im englischsprachigen und asiatischen Raum beliebtes, webbasiertes soziales Netzwerk.⁴⁶ Die Website galt bis April 2004 als größtes soziales Netzwerk im Internet, wurde dann aber durch das ebenfalls 2002 gegründete Myspace überholt.

2003

Im September bringt AMD den ersten 64 Bit Prozessor für Desktops auf den Markt.

ANDY RUBIN gründet das Unternehmen **Android**. Die ursprünglichen Ziele des Unternehmens Android war die Entwicklung von Software für Digitalkameras. Android wird 2005 von Google übernommen.

⁴⁶Siehe z.B. das Buch [238].

2004

Am 4. Februar wird von DUSTIN MOSKOVITZ, CHRIS HUGHES, EDUARDO SAVERIN und MARK ZUCKERBERG das soziale Netzwerk **Facebook** veröffentlicht.

Die Queen adelte im Januar TIM BERNERS-LEE zu Ritter.

Am 9. November wird der Browser Firefox 1.0 freigegeben.

Am 8. Dezember IBM verkauft seine PC Sparte an den chinesischen Konzern **Levono**.

MICROSOFT unterliegt der EU in einem Rechtsstreit.

Die europäische Justiz hat die Auflagen der EU Kommission im Kartellrechtsstreit mit Microsoft bestätigt. Microsoft muss nun sein Betriebssystem Windows ohne das Musik- und Videoprogramm Media Player anbieten und bislang gehaltene Schnittstellen offenlegen.

2005

Im Februar kündigen IBM und Sony die Gemeinschaftsproduktion eines neuen Prozessorschips namens **CELL** mit Multicore Technologie an.

Google Maps startet am 8. Februar.

YouTube wird gegründet und ist ab 15. Februar online.

STEVE JOBS, Firmenchef von APPLE kündigt im Juni an, die zukünftigen Macintosh Rechner nicht mehr mit IBMs PowerPC Prozessor auszurüsten sondern mit INTEL Prozessoren.

Am 14. Juli kündigt IBM offiziell an, jeglichen Support des Betriebssystems OS/2 aufzugeben

Google kauft das Unternehmen Android. Die Weiterentwicklung von Android zu einem Betriebssystem erfolgte durch die neue Zusammenstellung von Open-Source Komponenten wie einen Linux Kernel, Java, C-Bibliotheken und Komponenten des GNU Projektes.

2006

Im Januar wird auf der Consumer Messe CES die **Blu-Ray Disc** vorgestellt. Blu-Ray ist eine gemeinsame Entwicklung von 13 Unternehmen der Computer- und Unterhaltungselektronik-Industrie wie Dell, Hitachi, HP, LG, Mitsubishi, Panasonic, Sony und anderen als Nachfolger der DVD. Die Kapazität einer Blu-Ray Disk beträgt 25 GB auf einer Layer bzw. 50 GB auf einer Double-Layer Disk.⁴⁷⁴⁸

Am 21. März wird in San Francisco die Kommunikationsplattform Twitter gegründet.

Am 27. Juli gibt Intel den Core Duo Pentium Prozessor frei.

Der Australier JULIAN ASSANGE startet die Internet Plattform **WikiLeaks**. Auf WikiLeaks können anonym Dokumente veröffentlicht werden, bei denen ein öffentliches Interesse angenommen wird.

2007

Im Frühjahr bringt Microsoft MS Vista als Nachfolger des Betriebssystems **WINDOWS XP** auf den Markt.

Apple bringt am 29. Juni das iPhone auf den Markt [170, p. 394]. Das erste iPhone hatte bis 8GB Speicher, einen 400 MHz getakteten ARM Prozessor und das Betriebssystem iOS.

Am 19. November bringt **amazon.com** das erste elektronische Buch **kindle** auf den Markt.

Apple bringt am 26. Oktober das Betriebssystem Mac OS X 10.5, Codename *Leopard* auf den Markt.

⁴⁷ Die offizielle Site ist <http://www.blu-ray.com>.

⁴⁸ Der Name Blu-ray Disc ist natürlich englischen Ursprungs. Blue ray bedeutet wörtlich blauer Strahl, was sich auf den violetten Lichtstrahl des verwendeten Lasers (405 nm) bezieht. Die Schreibweise ohne 'e' im Namen wurde gewählt, um diesen als markanten Markennamen eintragen zu können.

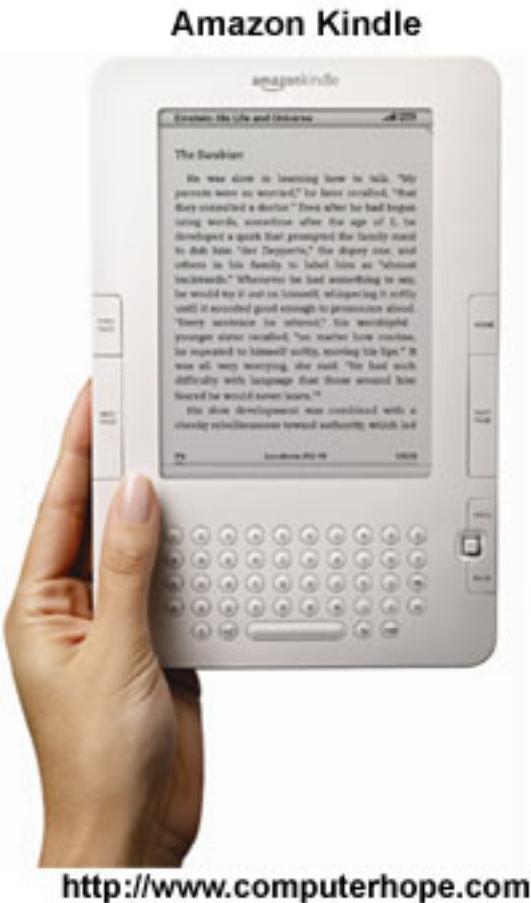


Abbildung 3.28: Kindle von Amazon.

Anlässlich der Abstimmung über den Nationalrat in der Schweiz verbinden in Genf Wissenschaftler der örtlichen Universität erstmals zwei Wahlzentren über Glasfaser miteinander. Die darüber laufenden Daten sind mit einem quantenkryptographischen Verfahren verschlüsselt.

Am 5. November gibt Google bekannt, ein Mobiltelefon-Betriebssystem in Kooperation mit der *Open Handset Alliance* zu entwickeln, der Name des Betriebssystems wird Android lauten.

Im englischen Bletchley Park wird ein Nachbau des Elektronenrechners Colossus fertig.

2008

Am 19. Februar ist die Auseinandersetzung um den Nachfolger des DVD–Formats zu Ende, Toshiba — der Vertreter der HD DVD Linie — gibt den Kampf auf, der Sieger ist das Format **Blue–ray**.

Am 22. Oktober wird das erste Gerät mit Android als Betriebssystem ausgeliefert, das HTC Dream (T-Mobile G1) ausgestattet mit Zugriff auf das Global Positioning System GPS und Beschleunigungssensoren.

Das Konzept der **Blockchain** als verteiltes Datenbankmanagementsystem wurde erstmals 2008 von einer Person oder Personengruppe unter dem Pseudonym SATOSHI NAKAMOTO im White Paper zu Bitcoin beschrieben [269]. Im Jahr darauf veröffentlichte SATOSHI NAKAMOTO die erste Implementierung der **Bitcoin**–Software und startete dadurch die erste öffentlich verteilte Blockchain.⁴⁹

2009

In Santa Clara, California, gründen JAN KOUM und BRIAN ACTON die Firma *WhatsApp Inc.* und vertreiben den Messenger WhatsApp.

Im Oktober bringt Microsoft WINDOWS 7 als Nachfolger des Betriebssystems WINDOWS VISTA auf den Markt.

2010

Ende Januar bringt APPLE seinen **iPad** in den USA auf den Markt.

Die Firma Oracle übernimmt SUN Microsystems.

Am 12. April übernimmt Hewlett Packard das Unternehmen 3Com für 2.7 Milliarden US–Dollar.

Im Mai ist der **APPLE iPad** auch in Deutschland zu haben.

⁴⁹ Siehe dazu die Artikel [284, 109] und [236].

Das IEEE gibt den Standard 802.3ba frei. Dies ist die Spezifikation für ein 100 Gigabit Ethernet über Glasfaser.

2011

Ende August gibt STEVE JOBS der Vorsitz von APPLE aus Gesundheitsgründen ab.

STEVE JOBS verstirbt am 5. Oktober.

DENNIS RITCHIE verstirbt am 12. Oktober.

2012

Der Raspberry Pi ist ein Einplatinencomputer, der von der britischen Raspberry Pi Foundation entwickelt wurde. Der Rechner enthält ein Ein-Chip-System mit einer ARM-CPU. Die Platine hat das Format einer Kreditkarte. Der Raspberry Pi kam Anfang 2012 auf den Markt; sein großer Markterfolg wird teils als Revival des bis dahin weitgehend bedeutungslos gewordenen Heimcomputers zum Programmieren und Experimentieren angesehen. Der im Vergleich zu üblichen Personal Computern sehr einfach aufgebaute Rechner wurde von der Stiftung mit dem Ziel entwickelt, dem Nachwuchs den Erwerb von Programmier- und Hardware-Kenntnissen zu erleichtern. Entsprechend niedrig wurde der Verkaufspreis angesetzt, der je nach Modell etwa 5 bis 100 Euro beträgt.

Am 13. März stellt die *Enzyklopädie Britannica* nach 244 Jahren die Druckausgabe ein. Das weltweit führende Nachschlagewerk ist nur noch digital zu erhalten.

2013

März: SIR TIM BERNES-LEE erhält zusammen mit MARC ANDREESSEN, VINCENT CERF, ROBERT KAHN und LOUIS POUZIN den erstmals vergebenen, mit 1 Million britischen Pfund dotierten *Queen Elizabeth Prize of Engineering*.



Abbildung 3.29: Eine Raspberry Pi Platine

Der NSA Mitarbeiter EDWARD SNOWDEN enthüllt, dass der US-amerikanische Geheimdienst NSA (National Security Agency) und der britische Geheimdienst GCHQ (Government Communication Headquarters) weltweit die Internetkommunikation abhört.

Am 2. Juli verstirbt DOUGLAS ENGELBART im Alter von 88 Jahren.

Microsoft übernimmt die Handy-Sparte von Nokia.

Google eröffnet am NASA Ames Research Center in Zusammenarbeit mit der NASA und verschiedenen Universitäten das *Quantum Artificial Intelligence Lab* (Quantum AI Lab oder QuAIL). Das Ziel dieser Forschungseinrichtung ist Grundlagenforschung im Bereich des *Quantum Computings*, vorrangig besteht höchstes Interesse am Bau eines Quanten Computers.

2014

Am 4. Februar wird SATYA NADELLA Chief Executive Officer (CEO) von Microsoft.

Am 19. Februar übernimmt Facebook für die Summe von 19 Milliarden US-Dollar den WhatsApp Instant Messenger Dienst.

Im September stellt Apple auf einer Produktshow die Apple Watch vor.

Im Oktober werden bei einer Auktion im Auktionshaus Bonhams für einen funktionsfähigen Apple 1 (siehe Abbildung [3.30]) aus dem Jahre 1976 die stolze Summe von 905.000 Dollar bezahlt.



Abbildung 3.30: Der Apple 1 für 900 000 Dollar.

2015

Im März wird die Markteinführung der Apple Watch angekündigt (siehe Abbildung [3.31]).

Am 8. Dezember wurde in einem Blog Post von Google bekanntgegeben, dass auf dem 2013 erworbenen Quantencomputer bestimmte Rechnungen (Quantum Annealing) 100 Millionen mal schneller als auf herkömmlichen Computern sein.⁵⁰

Das US—amerikanisches Softwareunternehmen OpenAI wird etabliert. Ziel ist die Erforschung von künstlicher Intelligenz (KI, englisch Artificial Intelligence,

⁵⁰ <http://googleresearch.blogspot.ca/2015/12/when-can-quantum-annealing-win.html>



Abbildung 3.31: Die Apple Watch.

AI). Anfänglich war das Ziel von OpenAI, KI auf Open-Source-Basis zu entwickeln. Das Unternehmen wurde vorerst als Non-Profit geführt. Im Jahre 2019 wurde die gewinnorientierte Tochtergesellschaft OpenAI Global, LLC gegründet. OpenAI ist vor allem bekannt für Softwareprodukte wie ChatGPT oder DALL-E aus dem Bereich der Generativen Künstlichen Intelligenz kurz GenAI. Das Fernziel von OpenAI ist die Entwicklung einer künstlichen allgemeinen Intelligenz (Artificial General Intelligence (AGI)), einer fortgeschrittenen Form der KI, die in der Lage sein soll, intellektuelle Aufgaben nicht nur auf einem menschenähnlichen, sondern potenziell darüber hinaus gehenden Niveau zu bewältigen.

2016

Im Januar verstirbt MARVIN MINSKY (1927 – 2016).

Am 6. März verstirbt 74 jährig der Informatiker RAY TOMLINSON, der im Jahre 1971 das e-Mail Format entwickelt hat — insbesondere das – Zeichen — und die erste e-mail versendete.

Das NIST⁵¹ initialisiert ein Programm und einen Wettbewerb mit der Bezeichnung *Post-Quantum Cryptography Standardization*. Ziel dieser Initiative ist die Entwicklung kryptographischer Verfahren, die resistent gegen Angriffe sind, die auf der Quantencomputer Technologie basieren [39].⁵²

Das Videoportal TikTok kommt in China auf den Markt.

2017

IBM stellt ihren 5–Qubit Quantenrechner online der Allgemeinheit zur Verfügung. IBM kündigt im März an, dass geplant ist, in den kommenden Jahren einen 50–Qubit Quantenrechner zu bauen.

LOTFI A. ZADEH, der die Fuzzy–Logik entwickelt hat, verstirbt am 6. September in Berkeley, Kalifornien.

2018

Am 25. Mai tritt das Europäische Datenschutzgesetz in Kraft.

Am 15. Oktober verstirbt der Microsoft Gründer PAUL ALLEN.

Das Ende der CeBIT in Hannover nach 32 Jahren wird angekündigt. Die in den 1980 und 1990er Jahren größte Computermesse der Welt in Hannover hat 2018 zum letzten Mal stattgefunden.

Die EU investiert eine Milliarde Euro in ein 10jähriges Projekt mit dem Namen *Quantum Flagship*. Ziel des Quantenflaggschiffs ist, bizarre Phänomene aus dem Mikrokosmos technisch nutzbar zu machen. Das könnte langfristig zu ultraempfindlichen Sensoren, abhörsicheren Kommunikationsnetzwerken und kommerziell einsetzbaren Quantencomputern führen.⁵³

2020

⁵¹Das Akronym NIST steht für *National Institute of Standards and Technology*.

⁵²Siehe dazu auch den Artikel [138].

⁵³Siehe dazu den Artikel [63].

Am 1. April wird `seti home` eingestellt.

Im November stellt Apple den neuen M1-Prozessor vor. Der Apple M1 ist das erste ARM-basierte System-on-a-Chip (SoC) von Apple für seine Mac-Computer.⁵⁴ Es wird seit Ende 2020 im MacBook Air der 4. Generation, im Mac mini der 5. Generation und im MacBook Pro mit 13-Zoll-Display verbaut. Seit Mai 2021 wird es auch im iPad Pro und im iMac und seit März 2022 auch im iPad Air der 5. Generation verbaut. Der M1 ist der erste Chip für einen Personal Computer, der in einem 5-nm-Prozess gefertigt wird. Hersteller ist das taiwanische Unternehmen TSMC.

Das Akronym SoC steht für System-on-a-Chip, also, ein (komplettes) System auf einem Chip. Auf einem Mainboard eines Rechners sind üblicherweise viele Komponenten und Schaltkreise wie Grafik- und Soundkarten getrennt von dem CPU-Chip ausgelagert, *i.e.* diese Komponenten sind über den Systembus, der im Mainboard integriert ist, mit der CPU verbunden. Dagegen hat ein SoC sämtliche wesentliche Hardware-Bausteine und Funktionen auf einem einzigen Chip integriert.

2021

Chinesische Wissenschaftler etablieren das weltweit erste Quanten-Kommunikationsnetzwerk zwischen Peking und Shanghai. Dieses Netzwerk kombiniert mehr als 700 Glasfaserleitungen mit zwei Boden-Satelliten Links, um quantum key distribution über eine Gesamtdistanz von 4.600 km zu realisieren. Hierbei findet das BB84 Protokoll von BENNETT und BRASSARD Anwendung.

Februar: Amazon Chef JEFF BEZOS kündigt an, nach 27 Jahren seinen Vorsitz abzugeben.

IBM präsentiert den ersten 2 Nanometer Chip.

Im Juni wird JOHN McAFFEE in eine Zelle in einem spanischen Gefängnis tot aufgefunden.

Im Oktober kündigt Microsoft die Betriebssystemversion Windows 11 an.

Japans Fugaku System ist der aktuell schnellste Supercomputer, [417]. Er basiert auf ARM Prozessoren mit mehr als 4.000.000 Prozessorkernen und hat eine Leistung von 415,5 Petaflops. Die Einheit Petaflop bedeutet, 10^{15} Gleitkomma-

⁵⁴ARM = Advanced RISC Machine



Abbildung 3.32: Timeline von Windows von 1985 bis zur neusten Version 2021.

operationen pro Sekunde.⁵⁵ Zum Vergleich, typische Personalcomputer haben Leistungen, die im GigaFlop Bereich liegen, das sind 10^9 Gleitkommaoperationen pro Sekunde.

Im November gibt IBM bekannt, dass der erste Quantencomputer aus der Eagle-Generation lauffähig ist.⁵⁶ Dieser Quantencomputer rechnet mit 127 Qubits und ist damit das erste System, das mehr als 100 Qubits aufweist.⁵⁷

Im November wird vom Bundesministerium für Bildung und Forschung entschieden, dass Gelder bereitgestellt werden für den Bau eines Quantencomputers am

⁵⁵Flop = Floating point operation.

⁵⁶Siehe dazu auch den Artikel [18] und MICHAEL SPRINGERS Einwurf vom Januar 2018 [354].

⁵⁷Siehe heise-online <https://www.heise.de/~6268957>.

Leibniz-Rechenzentrum in Garching.⁵⁸

2022

Im April erwirbt ELON MUSK den Nachrichtendienst Twitter für die stolze Summe von 44 Milliarden US-Dollar.

Im Mai verkündet Apple, dass die Produktion des iPods nach 20 Jahren eingestellt wird.

Der leistungsstärkste Supercomputer 2022 überschreitet erstmals die ExaFlops Grenze [417], das sind 10^{18} Gleitkommaoperationen pro Sekunde.⁵⁹ Der in Oak Ridge stehende Supercomputer *Frontier*, ein HPE Cray EX235, hat mehr als 9.000 AMD Prozessoren mit jeweils 64 Kernen.

ELON MUSK tritt im Juli von seiner Kaufentscheidung des Nachrichtendiensts Twitter zurück.

ELON MUSK wird im Oktober doch Besitzer des Nachrichtendiensts Twitter. Seine erste Amtshandlung besteht darin, die Hälfte der Mitarbeiter zu entlassen.

Am 17. November verstirbt FREDERICK BROOKS. Bekannt wurde BROOKS zunächst als Verantwortlicher für die Entwicklung des Betriebssystems OS/360 bei IBM und später für die offene und ehrliche Beschreibung des Entwicklungsprozesses in seinem Buch *The Mythical Man-Month* [56]. Dieses Buch enthält auch eine viel zitierte Aussage, die als Brookssches Gesetz bekannt wurde.

Adding manpower to a late software project makes it later.

Das US-amerikanische Unternehmen OpenAI veröffentlicht im November den Chatbot ChatGPT, der auf maschinellem Lernen basiert.

Die Deutsche Post stellt zum Ende des Jahres den nationalen Telegramm-Dienst ein. Bereits Ende 2018 wurde das internationale Telegramm-Geschäft mangels Nachfrage eingestellt.

2023

⁵⁸Siehe heise-online <https://www.heise.de/~6266928>.

⁵⁹Zum Vergleich, ein i9 Prozessor von Intel hat eine Leistung von etwa 600 GigaFlops, das ist im Bereich von 10^9 Gleitkommaoperationen pro Sekunde.



Abbildung 3.33: FREDERICK BROOKS

Im März installiert IBM einen Quantencomputer — den Quantum System One — an der Cleveland Clinic. Es ist der weltweit erste Quantencomputer, der die medizinische Forschung unterstützt. Es ist auch die erste Installation eines IBM Quantencomputers für einen privaten Auftraggeber in den USA.

Am 24. März verstirbt der Intel Mitbegründer GORDON MOORE im Alter von 94 Jahren auf Hawaii.

Ende Oktober stellt Apple den neuen M3-Prozessor vor.

Das Softwareunternehmen OpenAI kommt in die Schlagzeilen, CEO SAM ALTMAN wird vom Verwaltungsrat des Unternehmens entlassen. Wenige Tage später wird ALTMAN auf Druck von Mitarbeitern und Investoren wieder als CEO eingestellt, wobei zwischenzeitlich Microsoft Interesse an ALTMAN bekundete.

2024

Am Neujahrstag verstirbt 89jährig NIKLAUS WIRTH.

Einem US-amerikanisch-chinesischen Team gelang es, Graphen auf Wafern aus Siliziumkarbid wachsen zu lassen, also auf einer Verbindung zwischen Silizium- und Kohlenstoffatomen. Das Material hat die Gruppe über zehn Jahre hinweg verbessert. Mit dem richtigen Verfahren entstand in kontrollierter Umgebung eine chemische Bindung zwischen Graphen und Siliziumkarbid — diese Kombination hat die Eigenschaften eines Halbleiters.

Am 7. Mai stellt Apple den M4-Prozessor vor. Der M4-Prozessor ist bereits die vierte Generation der ARM-basierten System-on-a-Chip (SoC) von Apple für seine Mac-Computer. Es wird seit Mai 2024 im iPad Pro verbaut. Der Chip wird im 3-nm-Verfahren von dem taiwanischen Unternehmen TSMC gefertigt.

Das NIST hat am 13. August im Rahmen des *NIST Post-Quantum Cryptography Standardization process* drei kryptografische Standards veröffentlicht, die auch Angriffen von Quantencomputern standhalten sollen.⁶⁰

Am 8. Oktober wird der Nobelpreis für Physik an den US-Amerikaner JOHN HOPFIELD und den kanadischen Forscher GEOFFREY HINTON verliehen. Sie wurden für grundlegende Entdeckungen und Erfindungen ausgezeichnet, die maschinelles Lernen mit künstlichen neuronalen Netzen ermöglichen.

2025

Im Januar mischt ein chinesisches Start-Up Unternehmen mit dem Namen **DeepSeek** die Künstliche Intelligenz Hype in den Staaten auf. Der bis dato wertvollste Chipkonzern Nvidia verliert an einem Tag über 600 Millarden Dollar an Börsenwert, so viel wie noch kein Unternehmen zuvor. Der US-Tech-Gigant Meta beruft Krisensitzungen ein. Der neue Star und Schreck der KI-Welt Deepseek aus Hangzhou in China. Das Start-up stellte vor wenigen Tagen ein Sprachmodell vor, das sogar besser sein soll als die Technologie hinter dem Branchenführer ChatGPT. Im Gegensatz zu den US-Rivalen wollen die Chinesen ihr Modell mit kleinem Budget und ohne Hightech-Chips trainiert haben. Damit stellt Deepseek die Milliardeninvestitionen der US-Konzerne infrage.

Seit OpenAI mit seinem Chatbot vor gut zwei Jahren den Hype um Künstliche Intelligenz erzeugt hat, galt die Vorherrschaft der USA bei der neuen Technologie als sicher. Zudem haben die USA mit Exportbeschränkungen für Hochleistungsships alles versucht, um den Rivalen China aufzuhalten. Dass Deepseek aus dem Nichts kommend trotzdem zu den Branchenführern aus dem Silicon Valley aufschließen konnte, stellt vermeintliche Gewissheiten bei Investoren, Tech-Managern und Politkern infrage. In der IT-Branche spricht man von einem Sputnik-Effekt.

Im Februar bietet eine Investorengruppe hinter ELON MUSK 100 Milliarden US-Dollar für OpenAI.

⁶⁰Diese neuen Standards findet man in den Dokumenten FIPS 203, FIPS 204 und FIPS 205. Die Dokumente findet man in:

<https://nvlpubs.nist.gov/nistpubs/FIPS/NIST.FIPS.203.pdf>
<https://nvlpubs.nist.gov/nistpubs/FIPS/NIST.FIPS.204.pdf>
<https://nvlpubs.nist.gov/nistpubs/FIPS/NIST.FIPS.205.pdf>

Im September geht der Supercomputer *Jupiter* im Forschungszentrum Jülich in Betrieb. Jupiter ist ein Exascale-Rechner mit mehr als 10^{18} Operationen pro Sekunde. Er ist damit der viertschnellste Rechner im Ranking der Supercomputer.⁶¹

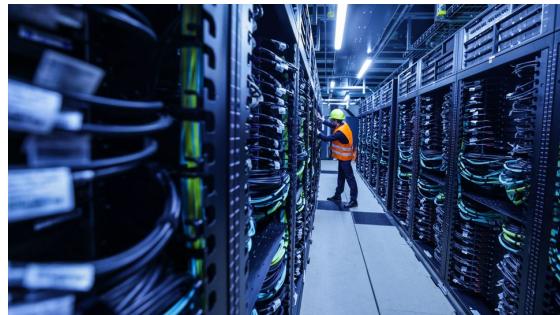


Abbildung 3.34: Das Innere des Jupiter–Rechners

Der amerikanische Philosoph JOHN R. SEARLE verstirbt im Alter von 93 Jahren. JOHN SEARLE zählt zu den klarsten und wortmächtigsten Kritikern eines Maschinenbewusstseins.

In den Anfangsjahren des Internets war die Einwahl per Modem mitsamt der bekannten Piep–Geräusche Standard.⁶² Längst sind Breitbandzugänge das Maß der Dinge. Der Pionier AOL beendet Ende September seinen Einwahl–Dienst, der noch immer in den USA angeboten wurde.

⁶¹Siehe dazu:

<https://top500.org/lists/top500/list/2025/06/>

⁶²Ein **Modem** ist ein Kommunikationsgerät, um digitale Signale über weite Übertragungswege zwischen zwei digitalen Endgeräten auszutauschen. Diese Verbindungen übertragen die Signale analog. Vom sendenden Modem wird ein digitales Signal auf eine Trägerfrequenz im Hochfrequenzbereich aufmoduliert, vom empfangenden Modem wird daraus die ursprüngliche Information durch Demodulieren zurückgewonnen. Dabei arbeiten Modems des neueren Standards DSL mit höheren Trägerfrequenzen und größeren Bandbreiten auf der Telefonleitung als die Modelle nach dem älteren Schmalband–Standard. Der Begriff *Modem* war in den 1970er bis 1990er Jahren präsenter als heute, weil die Benutzung eines Modems damals synonym mit online gehen war, also damit, seinen Computer mit anderen zu vernetzen.

Anhang A

Computergenerationen

Generation	Schaltelement	Operationszeit	relative Rechenzeit
0	Relais, mech. Bauteile	100 msec	1.000.000
1	Röhren	1 msec	10.000
2	Transistoren	100 μ sec	1.000
3	Chips	1 μ sec	10
4	Hochintegrierte Chips	1 nanosec	1

Tabelle A.1: Leistungsfähigkeit der verschiedenen Rechnergenerationen im Überblick.

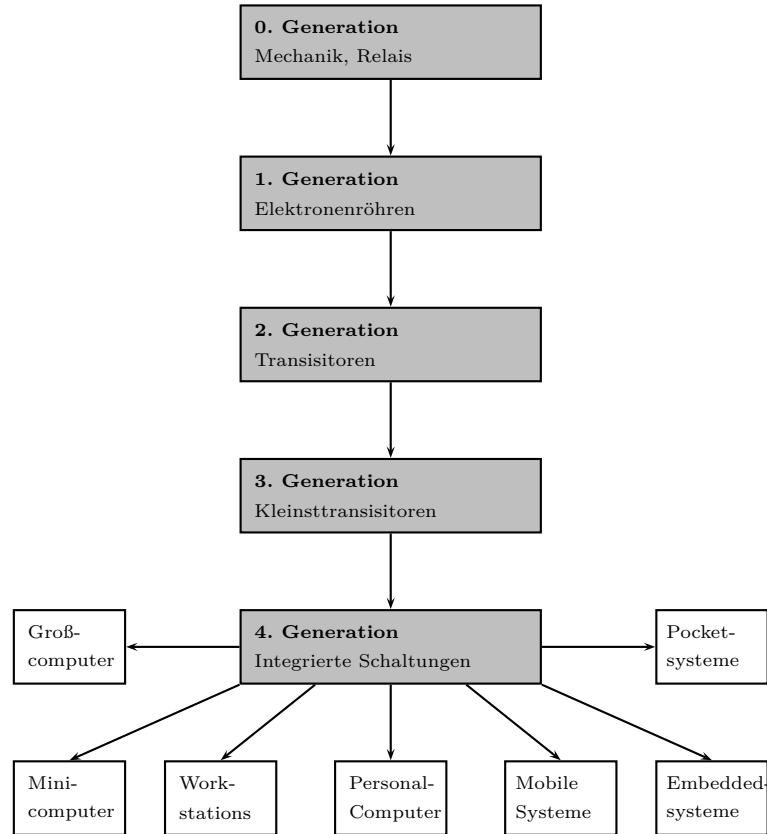


Abbildung A.1: Überblick über die verschiedenen Computergenerationen.

Anhang B

Zeittafel

Jahr	Idee/Erfundung	Name	*	†
um 500	Entstehung des indisch-arabischen Zahlensystems mit dem Stellenwertzeichen "0"			
um 1150	das indisch-arabische Zahlensystem löst in Europa das römische Zahlensystem ab			
1614	14stellige Logarithmentafeln	John Napier	1550	1617
1623	2-Spezies- Maschine	Wilhelm Schickard	1592	1635
1642	2-Spezies-Maschine in mehreren Exemplaren	Blaise Pascal	1623	1662
1671	4-Spezies- Maschine	G. W. v. Leibniz	1646	1716
1703	Entwicklung des dualen Zahlensystems	G. W. v. Leibniz	1646	1716
1728	Lochkartengesteuerter Webstuhl	Jean B. Falcon	1700	1765
1808	Verbesserung des lochkarten-gesteuerten Webstuhls	Joseph-Marie Jacquard	1752	1834
1833	Entwicklung des ersten, programmgesteuerten mechanischen Universalrechners	Charles Babbage	1791	1871
1847	Entwicklung der zweiwertigen Algebra	George Boole	1815	1864
1890	Einführung der Lochkarte	Herrmann Hollerith	1860	1929
1924	Die IBM erblickt das Licht der Welt			
1932	Entwicklung des ersten, programmgesteuerten, mechanischen Rechners	Konrad Zuse	1910	1996
1936	Turing - Maschine	Helmut Schreyer		
1939	Atanasoff und Berry entwickeln ersten elektronische Rechner	Alan Turing	1912	1954
1941	Erster einwandfrei funktionierender Digitalrechner mit Relais als Schaltgliedern (Z3)	J.V. Atanasoff		
1942	Bell Relay Interpolator	Konrad Zuse	1910	1996
1943	England decodiert mit dem COLOSSOS den ENIGMA Code der dt. Kriegsmarine	Stibitz, Bell		
1944	Relais-Rechner Mark I	Alan Turing		
1945	Speicherprogrammierung, Sprungbefehle	Thomas Flowers		
1946	Rechner ENIAC mit Elektronenröhren	Howard Aiken	1900	1973
		John v. Neumann	1903	1957
		John P. Eckert	1919	
		John W. Mauchly	1907	1980
		Herman Goldstine	1913	

Jahr	Idee/Erfundung	Name	*	†
1948	Entwicklung des Transistors	J. Bardeen W.H. Brattain W. Shockley		
1948	Begründung der Wissenschaft von der Kybernetik	Norbert Wiener	1894	1964
1949	Rechner EDSAC mit gespeichertem Programm			
1950	Turing - Test			
1951	Magnetkernspeicher	Maurice V. Wilkes		
1951	Erster Serienrechner UNIVAC I	Alan Turing		
1956	Programmiersprache FORTRAN	Forrester, Rajchman		
1956	Die Firma ZUSE KG die Serienfertigung von Rechengeräten auf	Backus		
1957	Erster volltransistorisierter Computer, Siemens 2002	K. Zuse		
1958	KI - Seminar am MIT in Boston			
1958	Semiconductor-Chip	Marvin Minsky		
1958	Erste Transistorrechner	J. McCarthy		
1958	Programmiersprache ALGOL	Jack Kilby		
1959	Programmiersprache COBOL			
1959	Integrierte Festkörperschaltkreise	Robert N. Noyce	1990	
1965	Erste Rechner mit Mikroschaltkreisen	Jack Kilby		
1968	Labor für Impulstechnik	Heinz Nixdorf	1925	1985
1968	Photochemische Fertigung von "Chips"	Robert Noyce		
1968	Gordon Moore			
1969	Andrew Grove			
1969	Ken Thompson			
1969	Dennis Ritchie			
1969	Entwicklung des Betriebssystems UNIX			
1969	Eröffnung des ARPANET, das erste Datenübertragungsnetz nach dem Paketvermittlungsdienst (Vorläufer des INTERNET)			
1970	Programmiersprache C	Dennis Ritchie		
1971	1. Intel - Prozessor 4004	Brian Kernighan		
1971	Relationenmodell für Datenbanken	Ted Hoff		
1972	Gründung der SAP	Edgar Codd		
1974	AEG Telefunken bringt den CPF 3 als ersten Mikrocomputer			
1975	Der erste Tischcomputer Altair 8800	Ed Roberts		
1975	Microsoft wird gegründet	Bill Yates		
1976	Der erste Supercomputer (Vektorrechner) die Cray 1	Bill Gates, Paul Allen		
1976	Der erste fehlertolerante Rechner Tandem T/16 kommt auf den Markt	Seymour Cray		
1976	Gründung der Firma Apple	Steven Jobs		
1977	DEC bringt die VAX	Steve Wozniak		
1977	Commodore PET, IBM 5100 der tragbare Tischrechner (25 kg)			
1977	Der Apple II kommt auf den Markt			
1977	Das erste PC Betriebssystem CP/M	Gary Kildall		
1978	BS 2000 kommt auf den Markt			
1980	John W. Mauchly, der Miterbauer des ENIAC stirbt am 8.1.80 im Alter von 72 Jahren			
1981	IBM bringt den Personalcomputer (PC) heraus. Er enthält den Prozessor INTEL 8088 und das Betriebssystem PC - DOS 1.0.			

Jahr	Idee/Erfindung	Name	*	†
1983	IBM XT mit Festplatte, MS - DOS 2.11			
1984	IBM AT mit INTEL 80286			
1985	Apple Macintosh mit Motorola 68000			
	Don Estridge kommt im August bei einem Flugzeugabsturz ums Leben			
1987	386er von COMPAQ, PS/2 von IBM			
1988	AS400 von IBM			
1989	486er			
1990	IBM RS/6000			
1990	Linus Torvalds beginnt seine Arbeit an LINUX			
1993	Pentium von INTEL			
1993	Betriebssystem WINDOWS NT (MS)			
1995	Betriebssystem WINDOWS 95 (MS)			
1996	Seymour Cray stirbt am 5. Oktober an den Folgen eines Verkehrsunfalles			
1998	Betriebssystem WINDOWS 98 (MS)			
1999	Pentium III von Intel (26. Februar)			
2000	Windows 2000 (Februar)			
2000	Pentium 4 von Intel			
2001	Am 23. Februar stirbt Claude Shannon in Medford, MA, USA			

Anhang C

Akronyme

Da es im IT Bereich sehr verbreitet ist, mit Abkürzungen zu arbeiten, ist es sehr zweckmäßig, hier ein – sicher nicht vollständiges – Abkürzungsverzeichnis anzufügen. Diese Liste enthält auch Akronyme, die im vorliegenden Skript nicht auftreten.

Akronym	Klartext
ACM	Association for Computing Machinery
AES	Advanced Encryption Standard
AI	Artificial Intelligence
AIX	Advanced IBM UNIX
ALGOL	Algorithmic Language
ALU	Arithmetic Logical Unit
AMD	Advanced Micro Device
ANSI	American National Standards Institute
AOL	American On-Line
API	Application Programming Interface
ARM	Advanced RISC Machines
ARPA	Advanced Research Projects Agency
ASCI	Accelerated Strategic Computing Initiative
ASCII	American Standard Code of Information Interchange
AT	Advanced Technology
AT&T	American Telephone and Telegraph Company
ATM	Automated Teller Machine
B2B	Business to Business
B2C	Business to Consumer
BASIC	Beginners All-purpose Symbolic

Akronym	Klartext
	Instruction Code
BBN	Bolt, Beranek, Newman
BIOS	Basic Input Output System
BNF	Backus Naur Form
BSD	Berkeley Software Distribution
BSI	Bundesamt für Sicherheit in der Informationstechnologie
BIT	Binary Digit
C2B	Consumer to Business
C2C	Consumer to Consumer
CCITT	Comite Consultatif International Telegraphique et Telephonique
CD	Compact Disk
CD-R	CD Recordable
CD-RW	Rewritable CD
CDC	Control Data Corporation
CEO	Chief Executive Officer
CERT	Computer Emergency Response Team
CGI	Common Gateway Interface
CIS	Cloud Infrastructure
CISC	Complex Instruction Set Computing
CMM	Capabilty Maturing Model
CMMI	Capabilty Maturing Model Integration
CMOS	Complementary Metal Oxid Semiconductor
COBIT	Control Objectives for Information and Related Technologies
COBOL	Common Business Oriented Language
COW	Cluster of Workstations
CORBA	Common Object Request Broker Architecture
CP/M	Control Program for Microcomputers
CPU	Central Processing Unit
CRM	Customer Relationship Management
CRT	Cathode Ray Tube
CSS	Cascading Style Sheet
CYMK	Cyan Yellow Magenta Black
DARPA	Defence Advanced Research Project Agency
DDR-RAM	
DEC	Digital Equipment Corporation
DES	Data Encryption Standard
DHCP	Dynamic Host Configuration Protocol
DIN	Deutsches Institut für Normung

Akronym	Klartext
DMZ	Demilitarisierte Zone
DNS	Domain Name Service
DoD	Department of Defense
DOS	Disk Operating System
DPI	Dot Per Inch
DRAM	Dynamic Random Access Memory
DTP	Desktop Publishing
DVD	Digital Versatile Disk
DVD–R	Digital Versatile Disk Recorder
EBCDIC	Extended Binary Coded Decimal Interchange Code
ECMA	European Computer Manufacturers Association
EDSAC	Electronic Delay Storage Automatic Computer
EDVAC	Electronic Discrete Variable Automatic Computer
EJB	Enterprise Java Beans
ENIAC	Electrical Numerical Integrator and Computer
ERP	Enterprise Ressource Planning
FDD	Floppy Disk Drive
FIPS–PUB	Federal Information Processing Standards Publication
FLOPS	Floating Point Operation Per Second
FORTRAN	Formular Translator
FPU	Floating Point Unit
FSB	Front Side Bus
FSF	Free Software Foundation
FTP	File Transfer Protocol
GAN	Global Area Network
GB	Giga Byte
GCHQ	Government Communications Headquater
GHz	Giga Hertz
GNU	Gnu is Not Unix
GPL	GNU Public License
GPS	Global Positioning System
GSM	Global System for Mobile Communication
GUI	Graphical User Interface
HDD	Hard Disk Drive
HP	Hewlett Packard
HP–PA	Hewlett Packard Precision Architecture
HPPCL	Hewlett Packard Printer Communication Language
HRM	Human Resource Management
HTML	Hypertext Markup Language

Akronym	Klartext
HTTP	Hypertext Transfer Protocol
I/O	Input/Output
IaaS	Infrastructure as a Service
IAB	Internet Architecture Board
IANA	Internet Assigned Numbers Authority
IAS	Institute for Advanced Studies
IBM	International Business Machines
ICANN	Internet Corporation for Assigned Names and Numbers
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers
IETF	Internet Engineering Task Force
IMAP	Internet Mail Access Protocol
INTEL	Integrated Electronics
IoT	Internet of Things
IIoT	Industrial Internet of Things
IP	Internet Protocol
IPSec	Internet Protocol Security
ISDN	Integrated Services Digital Network
ISO	International Organisation for Standardization
ISOC	Internet Society
IT	Information Technology
ITU	International Telecommunication Union
KB	Kilo Byte
KHz	Kilo Hertz
KI	Künstliche Intelligenz
LAN	Local Area Network
LEO	Lyons Electronic Office
LDAP	Lightweight Directory Access Protocol
LPI	Lines Per Inch
LSI	Large Scale Integration
MAN	Metropolitan Area Network
MB	Mega Byte
MCA	Micro Channel Architecture
MHz	Mega Hertz
MIME	Multipurpose Internet Mail Extension
MIPS	Microprocessor without Interlocking Pipeline Stages
MIPS	Million Instructions Per Second
MIT	Massachusetts Institute of Technology
MMX	Multi Media Extension
MS	Microsoft

Akronym	Klartext
MSI	Medium Scale Integration
NAS	Network Attached Storage
NASA	National Aeronautics and Space Administration
NBS	National Bureau of Standards
NCR	National Cash Register
NEC	Nippon Electric Company
NIST	National Institute of Standards and Technology
NSA	National Security Agency
NSF	National Science Foundation
NT	New Technology
NTFS	New Technology File System
OEM	Original Equipment Manufacturer
OS	Operating System
OSD	Open Source Definition
OSF	Open Software Foundation
OSI	Open System Interconnection
PaaS	Platform as a Service
Palm	Put all logic in microcode
PAN	Private Area Network
PC	Personal Computer
PCI	Peripheral Component Interconnect
PCMCIA	Personal Computer Memory Card International Association
PDA	Personal Digital Assistant
PDF	Portable Document Format
PDP	Programmed Data Processor
PERL	Practical Extraction and Reporting Language
PGP	Pretty Good Privacy
POSIX	Portable Operating System Interface for Unix
POWERPC	Performance Optimization With Enhanced RISC
PROM	Programmable ROM
PS	Personal System
pt	Point (= 1/72 Inch)
QoS	Quality of Service
RAID	Redundant Array of Independent Disks
RAM	Random Access Memory
RAMAC	Random Access Method of Accounting and Control
RAND	Research and Developmanet

Akronym	Klartext
REST	Representational State Transfer
RFC	Request for Comments
RFID	Radio Frequency Identification
RGB	Red Green Blue
RISC	Reduced Instruction Set Computing
ROM	Read Only Memory
RSA	Rivest Shamir Adleman
RTF	Rich Text Format
SAA	System Application Architecture
SaaS	Software as a Service
SAN	Storage Area Network
SAP	Systeme, Anwendungen Produkte in der Datenverarbeitung
SAP-HANA	SAP High Performance Analytic Appliance
SCSI	Small Computer System Interface
SCM	Supply Chain Management
SCO	Santa Cruz Corporation
SEI	Software Engineering Institute
SGML	Standard Generalized Markup Language
SHA	Secure Hash Algorithm
SIG	Special Interest Group
SIGACT	Special Interest Group on Algorithms and Computation Theory
SIGCOMM	Special Interest Group on Data Communications
SIGPLAN	Special Interest Group on Programming Languages
SIGSOFT	Special Interest Group on Software Engineering
SIMD	Single Instruction Multiple Data
SISD	Single Instruction Single Data
SLA	Service Level Agreement
SMP	Symmetric Multi Processing
SMS	Short Message Service
SMTP	Simple Mail Transfer Protocol
SOAP	Simple Object Access Protocol
SPARC	Scalable Processor Architecture
SPEC	Systems Performance Evaluation Cooperative
SQL	Structured Query Language
SRAM	Static RAM
SSD	Solid State Drive
SSL	Secure Socket Layer
SUN	Stanford University Network
SVGA	Super Video Graphics Array
TB	Tera Byte

Akronym	Klartext
TCO	Total Cost of Ownership
TCP	Transmission Control Protocol
TFT	Thin Film Transistor
TLS	Transport Layer Security
TRADIC	Transistor Digital Computer
TSP	Traveling Salesman Problem
UDP	User Datagram Protocol
UML	Unified Modeling Language
UMTS	Universal Mobile Telecommunications System
UNIVAC	Universal Automatic Computer
UNIX	Universal Interactive Executive
UPM	Umdrehungen Pro Minute
URL	Uniform Resource Locator
USB	Universal Serial Bus
UTF-8	
UTP	Unshielded Twisted Pair
UV	Ultra Violett
VAX	Virtual Address Extension
VBA	Visual Basic for Applications
VESA	Video Electronics Standard Association
VGA	Video Graphics Array
VLSI	Very Large Scale Integration
VoIP	Voice over IP
VPN	Virtual Private Network
VRAM	Video RAM
VRML	Virtual Reality Markup Language
W3C	World Wide Web Consortium
WLAN	Wireless Local Area Network
WMAN	Wireless Metropolitan Area Network
WPAN	Wireless Private Area Network
WWW	World Wide Web
XML	Extensible Markup Language
XSL	Extensible Stylesheet Language
XT	Extended Technology

Anhang D

Literaturhinweise

Auf den folgenden Seiten ist eine Vielzahl von Quellen angegeben. In diesem Kapitel geben wir Hinweise auf die Relevanz der angegebenen Literaturquellen.

Historische Entwicklung

Nach meinem Geschmack die lesenswerte Lektüre über die Entwicklung des Computers ist das Buch von THOMAS HAIGH und PAUL E. CERUZZI [170]. Sehr empfehlenswert ist auch das Buch von GEORGE DYSON [126]. Das Buch [260] beschreibt die Frühzeit der Entwicklung der Computer aus Sicht der Protagonisten. Empfehlenswert sind die Bücher *The Universal Computer* von MARTIN DAVIS [101], *The Dream Machine* von MITCHELL WALDROP [378]

Computerarchitektonik

Sehr informative — und empfehlenswerte — Bücher über die verschiedensten IT Themen stammen aus der Feder von WILLIAM STALLINGS. Das in [355] angegebene Buch ist für die Einführung in die Computerarchitektur sehr gut geeignet und empfehlenswert.

Die beiden Bücher von DAVID PATTERSON und JOHN HENNESSEY [185] und [283] sind die ultimative Quelle für Computerarchitektonik.

Die *Feynman Lectures on Computation* sind sehr zu empfehlen [133].

Algorithmen

Die Bibel der Algorithmik sind zweifellos die Bücher von DONALD KNUTH [221, 222, 223]. Sie sind mathematisch sehr anspruchsvoll. Nicht ganz so mathematisch tiefgreifend wie KNUTH ist das Werk von CORMEN *et al.* [93]. Weniger in die Mathematik — soll nicht heißen anspruchslos — geht das Buch von DAVID HAREL und YISHAI FELDMAN [176]. Sehr lesenswert — und entspannend — ist das Büchlein von DAVID HAREL [175] über das Affenpuzzel; hier wird das Thema Komplexität von Algorithmen sehr anschaulich dargestellt.

Ähnliches kann über das Buch [165] gesagt werden, das die Entwicklung

von Algorithmen sehr anschaulich beschreibt.

Das Traveling Salesman Problem wird in dem Buch von WILLIAM COOK [86] untersucht, eine tiefgreifende Betrachtung findet man von APPLIEDATE *et al.* in [11].

Quantum–Computing

Sehr lesbare Einführungen in das Quanten–Computing ist das Buch von WILLIAMS und CLEARWATER [389] oder das Buch von JULIAN BROWN [57].

Kryptografie

Eine hervorragende nicht–technische Einführung in die Kryptografie ist das Buch von SIMON SINGH [343]. Etwas tiefer in die technischen Details geht das Buch von JOHN DOOLEY, [122]. Das ultimative Kompendium über die Geschichte der Verschlüsselungstechnologie ist das monumentale Buch von DAVID KAHN [208].

Biographien

Es gibt eine Reihe von sehr guten Biographien über Protagonisten der Entwicklung der Computer:

- ANDREW HODGES [191] klassische Biografie von ALAN TURING.
- NORMAN MACRAES Biographie von JOHN VON NEUMANN [244], eine neue Biographie über JOHN VON NEUMANN ist das Buch von ANANYO BHATTACHARYA [38]. Der Klassiker in diesem Bereich ist die Biographie von STEVE HEIMS [182] von 1980. Hier wird das Wirken von JOHN VON NEUMANN und NORBERT WIENER beleuchtet.
- CLAUDE SHANNON [353]
- KURT GÖDEL [53], [104] oder die Biographie von STEPHEN BUDIANSKY [58].
- CHARLES BABBAGE [361] und [199]

Zahlen und Zahlensysteme

Das Standard–Werk über Zahlen und Zahlensysteme ist die Monographie von GEORGES IFRAH [201].

Literaturverzeichnis

- [1] ALEX ABELLA
Soldiers of Reason
The RAND Corporation and the Rise of the American Empire
Mariner Books, Boston, 2008.
- [2] *Advanced Encryption Standard*
Federal Information Processing Standard (FIPS)
Publication 173
National Bureau of Standards,
U.S. Department of Commerce
Washington D.C., January 1977.
<http://csrc.nist.gov>
- [3] ALFRED V. AHO, RAVI SETHI und JEFFREY ULLMAN
Compilerbau 1 und 2
Oldenbourg, München 1999.
- [4] ALFRED V. AHO und JEFFREY ULLMAN
Foundations of Computer Science
C-Edition
W.H. Freeman and Company, New York, 1995.
- [5] JÜRGEN ALEX
Wege und Irrwege des Konrad Zuse
Spektrum der Wissenschaft, Januar 1997, S. 78 – 90.
- [6] PAUL ALLEN
Idea Man
A memoir by the co-founder of Microsoft
Penguin, 2011.
- [7] MARIO ALOISIO
The Calculation of Easter Day, and the Origin and use of the Word Computer
IEEE Annals of the History of Computing
July–September 2004, pp. 42 – 49.

- [8] H.-W. ALTEN, A. DJAFARI NAINI, M. FOLKERTS, H. SCHLOSSER, K.-H. SCHLOTE, H. WUSSING
4000 Jahre Algebra
Geschichte, Kulturen, Menschen
Springer Verlag
Berlin, Heidelberg, New York, 2003.
- [9] G. M. AMDAHL, G. A. BLAAUW and F. P. BROOKS, JR.
Architecture of the IBM System /360
IBM Journal of Research and Development
VOL. 8, NR: 2 (1964)
- [10] HERBERT L. ANDERSON
Metropolis, Monte Carlo, and the MANIAC
Los Alamos Science, Fall 1986.
- [11] DAVID L. APPLEGATE, ROBERT E. BIXBY, VASEK CHVATAL, and WILLIAM J. COOK
The Traveling Salesman Problem
A Computational Study
Princeton University Press, Princeton New Jersey, 2006.
- [12] ISAAC ASIMOV
Asimov's New Guide to Science
Penguin Books
Harmondsworth, Middlesex, England, 1972
Deutsche Ausgabe:
Die exakten Geheimnisse unserer Welt
Bausteine des Lebens
Droemer Knaur, München, 1986, Kapitel 7.
- [13] WILLIAM ASPRAY
John von Neumann and The Origins of Modern Computing
The MIT Press
Cambridge, MA, London, 1990.
- [14] WILLIAM ASPRAY, ARTHUR BURKS (Ed.)
Papers of John von Neumann on Computing and Computer Theory
Charles Babbage Institute Reprint Series for the History of Computing,
Vol. 12
The MIT Press
Cambridge, MA, London, 1987.
- [15] GEOFFREY D. AUSTRIAN
Hermann Hollerith
Forgotten Giant of Information Processing
Columbia University Press, New York, 1982.

- [16] KLAUS BADUR
Technikgeschichte: Die Vorfahren der Enigma und des Computers
Spektrum der Wissenschaft, September 2016, S. 76 – 87.
- [17] CHRISTIAN BÄR und CHRISTIAN STEPHAN
Die mathematische Zähmung des Standard-Modells
Spektrum der Wissenschaft, Mai 2009, 66–73.
- [18] PHILIP BALL
Quantencomputer, Revolution auf Raten
Spektrum der Wissenschaft, Juni 2018, S. 22 – 26.
- [19] JAMES BAMFORD
NSA
Die Anatomie des mächtigsten Geheimdienstes der Welt
Goldmann, 2001.
- [20] ISABELLA GRIGORYEVNA BASHMAKOVA
Diophantus and Diophantine Equations
The Mathematical Association of America, 1997.
- [21] CRAIG P. BAUER
Secret History
The Story of Cryptology
CRC Press, Boca Raton, 2013.
- [22] FRIEDRICH L. BAUER
Entzifferte Geheimnisse
Methoden und Maximen der Kryptologie
2., erweiterte Auflage
Springer Verlag
Berlin, Heidelberg, New York, 1997.
- [23] FRIEDRICH L. BAUER
Kurze Geschichte der Informatik
Heinz Nixdorf MuseumsForum
Wilhelm Fink Verlag
München, 2007.
- [24] E.T. BELL
Men of Mathematics
The Lives and Achievements of the Great Mathematicians from Zeno to Poincaré
Simon & Schuster
New York, 1965.
- [25] WILFRIED DE BEAUCLAIR
Rechnen mit Maschinen
Eine Bildgeschichte der Rechentechnik

2. Auflage
Springer Verlag
Berlin, Heidelberg, New York, 2003.
- [26] HENNING BEHME
Was wirklich war
Von der EMail zum Web Hosting
iX Magazin für professionelle Informationstechnik
November 1998, Seite 126 - 129.
- [27] HENNING BEHME
New Frontiers
Internet: Anfang vor dreißig Jahren
iX Magazin für professionelle Informationstechnik
September 1999, Seite 94 - 95.
- [28] CHARLES BENNETT and GILES BRASSARD
Quantum Cryptography: Public key distribution and coin tossing
In: *Proceedings of IEEE International Conference on Computers, Systems and Signal Processing* pp. 175 – 179, IEEE New York, 1984. Bangalore, India, December 1984.
- [29] CHARLES H. BENNETT, GILLES BRASSARD und ARTUR K. EKERT
Quanten-Kryptographie
Spekturm der Wissenschaft, Dezember 1992, S. 96 – 104.
- [30] LENNART BERGGREN, JONATHAN BORWEIN and PETER BORWEIN
Pi: A Source Book
Third Edition
Springer Verlag, New York, 2004.
- [31] LESLIE BERLIN
The Man Behind The Microchip
Robert Noyce and the Invention of Silicon Valley
Oxford University Press, Oxford, 2005.
- [32] TIM BERNERS-LEE
Der WEB-Report
Econ Verlag
München, 1999.
- [33] CHRIS BERNHARDT
Turning's Vision
The Birth of Computer Science
The MIT Press, Cambridge Massachusetts, 2017.
- [34] CHRIS BERNHARDT
Quantum Computing for Everyone
The MIT Press, Cambridge Massachusetts, 2019.

- [35] CHRIS BERNHARDT
Beautiful Math
The Surprisingly Simple Ideas behind the Digital Revolution in How We Live, Work, and Communicate
The MIT Press, Cambridge Massachusetts, 2024.
- [36] JÖRG BEWERSDORFF
Glück, Logik und Bluff
Mathematik im Spiel — Methoden, Ergebnisse und Grenzen
7. Auflage
Springer Spektrum 2018.
- [37] KLAUS BEYRER (Hrg.)
Streng geheim
Die Welt der verschlüsselten Kommunikation
Umschau/Braus
Heidelberg, 1999.
- [38] ANANYO BHATTACHARYA
The Man From The Future
The visionary life of John von Neumann
Penguin Books, 2021.
- [39] MANON BISCHOFF
Schutz vor Quantenhackern
Spektrum der Wissenschaft, 9/22, 12 – 25.
- [40] ANN BLAIR, PAUL DUGUID, ANJA-SILVIA GOEING, and Anthony Grafton (Eds.)
Information; A Short History
Princeton University Press, Princeton, NJ, 2024.
- [41] ANDREAS BLEUL
Computer ad astra
Die Bordrechner der NASA-Raumfahrtmissionen
c't magazin für computer technik
Heft 5/99, Seite 108 - 113.
- [42] WOLFGANG BLUM
Goldbach und die Zwillinge
Spektrum der Wissenschaft, Dezember 2008, 94–99.
- [43] ARNDT BODE, HERBERT CORNELIUS
Der Mikroprozessor als Allesköninger
Spektrum der Wissenschaft, November 2013, p. 86.
- [44] BARRY W. BOEHM
A Spiral Model of Software Development and Enhancement
IEEE Computer. Vol. 21, Ausg. 5, Mai 1988, S. 61-72.

- [45] HARALD BÖGEHOLZ, ANDREAS STILLER
Der Perfektionist
Donald E. Knuth über MMIX und die Kunst des Programmierens
c't - Magazin für Computertechnik
Heft 05, 2002, Seite 190 – 193.
- [46] AXEL BÖTTCHER
MMIX – haltbar bis 2009
Ein Prozessor als Spielwiese, nicht nur für Knuth-Fans
c't - Magazin für Computertechnik
Heft 05, 2002, Seite 184 – 189.
- [47] ERICH BONNERT
Großes Eisen
Mainframe-Jubiläum: Das System /360 wird 40
c't - Magazin für Computertechnik
Heft 09, 2004, Seite 61.
- [48] GEORGE BOOLE
The Laws of Thought
An Investigation of the Laws of Thought on which are Founded the Mathematical Theories of Logic and Probabilities
Dover Pub.
New York, 1958.
- [49] DETLEF BORCHERS
Hewlett Packard
HP kauft Compaq und will den Computermarkt dominieren
c't – Magazin für Computertechnik
Heft 19, 2001, Seite 40.
- [50] DETLEF BORCHERS, MARIA BENNING, JÜRGEN KURI
'Hätt ich dich heut erwartet....'
Das Internet hat Geburtstag – oder nicht?
c't – Magazin für Computertechnik
Heft 21, 1999, Seite 128-133.
- [51] WERNER BRECHT
Theoretische Informatik
Grundlagen und praktische Anwendungen
Friedrich Vieweg Verlag
Braunschweig 1995.
- [52] SYDNEY BRENNER
Kode des Lebens
Spektrum der Wissenschaft, Juni 2012, S. 84.
- [53] WILLIAM D. BREWER
Kurt Gödel

- The Genius of Metamathematics
Springer Nature, 2023.
- [54] ALLAN G. BROMLEY
Charles Babbage's Analytical Engine, 1838
IEEE Annals of the History of Computing, Vol 20, No. 4, 1998, 29 – 45.
- [55] RICHARD BRONSON and COVINDASAMI NAADIMUTHU
Operations Research
Second Edition
Schaum's Outline Series, McGraw–Hill, New York, 1997.
- [56] FREDERICK P. BROOKS, JR.
The Mythical Man–Month
Addison–Wesley Publishing, 1995.
- [57] JULIAN BROWN
The Quest for the Quantum Computer
Simon & Schuster
New York, London, 2001.
- [58] STEPHEN BUDIANSKY
Journey to the Edge of Reason
The Life of Kurt Gödel
Norton Company, 2021.
- [59] ROBERT BUDERI
The Invention That Changed the World
How a small group of radar pioneers won the second world war and launched a technical revolution
Simon & Schuster, New York, 1996.
- [60] ARTHUR BURKS, HERMAN H. GOLDSTINE, and JOHN VON NEUMANN
Preliminary discussion of the logical design of an electronic computing instrument
Princeton, N.J., Institute for Advanced Studies, 1946.
- [61] VANNEVAR BUSH
As we may think
Atlantic Monthly, **176** (1945), S. 101 – 108.
<http://web.mit.edu/sts.035/www/PDFs/think.pdf>
- [62] J.N BUXTON, B. RANDELL (Eds.)
Software Engineering Techniques: Report on a Conference
Rome, 1969
Brussels; NATO Scientific Affairs Division, 1969.
- [63] TOMMASO CALARCO und MAX RIEDEL
Quantentechnologien vor dem großen Sprung
Spektrum der Wissenschaft, Juni 2018, S. 12 – 21.

- [64] MARTIN CAMPBELL-KELLY and M. R. WILLIAMS
The Moore School Lectures: Theory and Techniques for Design of Electronic Digital Computers
Charles Babbage Institute Reprint Series for the History of Computing,
vol. 9, M. Campbell-Kelly, ed., MIT Press, 1985.
- [65] MARTIN CAMPBELL-KELLY
From Airline Reservations to Sonic The Hedgehog
A History of the Software Industry
The MIT Press, Massachusetts, 2003.
- [66] MARTIN CAMPBELL-KELLY and WILLIAM ASpray
Computer
A History of the Information Machine
Basic Books
New York, 1996.
- [67] PAUL CARROLL
Der Computerkrieg
IBM gegen Bill Gates Microsoft, ein Kampf ums Überleben
Paul Zsolnay Verlag
Wien, 1994.
- [68] JOHN L. CASTI
Das Cambridge Quintett
Berlin Verlag
Berlin, 1998.
- [69] PAUL E. CERUZZI
A History of Modern Computing
The MIT Press
Cambridge, Massachusetts, 2000.
- [70] JEAN-LUC CHABERT *et al.*
A History of Algorithms
From the Pebble to the Microchip
Springer Verlag
Berlin, Heidelberg, New York, 1999.
- [71] GREGORY J. CHAITIN
Der Einbruch des Zufalls in die Zahlentheorie
Spektrum der Wissenschaft, September 1988, S. 62 – 67.
- [72] GREGORY J. CHAITIN
Grenzen der Berechenbarkeit
Spektrum der Wissenschaft, Februar 2004, S. 86 – 93.
- [73] SABINE CIACIOLO
Drei gegen einen

Prognosen zur Entwicklung des Prozessor-Marktes
c't-Magazin für Computertechnik
12/98, S. 48.

- [74] BARRY A. CIPRA
The Best of the 20th Century: Editors Name Top 10 Algorithms
SIAM News, Vol. 33, No. 4, (2000).
- [75] ARTHUR C. CLARKE
Voice Across the Sea
Luscombe Publisher, London, 1974.
- [76] PAUL COCKSHOTT, LEWIS M. MACKENZIE, and GREG MICHAELSON
Computation and its Limits
Oxford University Press, Oxford, 2013.
- [77] E.F. CODD
A Relational Model for Large Shared Data Banks
Communications of the ACM
Vol. 13, Nr. 6, pp. 377, 1970.
- [78] BRUCE COLLIER and JAMES MACLACHLAN
Charles Babbage
And the Engines of Perfection
Oxford University Press, Oxford, New York, 1998.
- [79] GRAHAM P. COLLINS
Die Lösung eines Jahrhundertproblems
Spektrum der Wissenschaft, September 2004, S. 86 – 94.
- [80] **20 Jahre Computerwoche**
Sonderausgabe zum 20jährigen Bestehen
Computerwoche Verlag GmbH
München, 1994.
- [81] Computerwoche
Die Zukunft der Informationstechnik
Jubiläumsausgabe
Computerwoche Verlag GmbH
München, 1999.
- [82] KIERSTEN CONNER-SAX, ED KROL
The Whole Internet
The Next Generation
O'Reilly & Associates, Inc.
Beijing, Cambridge, Köln, Paris, Sebastopol, 1999.
- [83] FLO CONWAY and JIM SIEGELMAN
Dark Hero of the Information Age

- In Search of Norbert Wiener the Father of Cybernetics
Basics Books, Cambridge MA, 2005.
- [84] STEPHEN A. COOK
The Complexity of Theorem-Proving Procedures
In: *Proceedings of the Third Annual ACM Symposium on the Theory of Computing*
1971, pp. 151 – 158.
- [85] STEPHEN A. COOK
An Overview of Computational Complexity
Turing Award Lecture
Communications of the ACM
Vol. 26, 6, pp. 401–408 (1983).
- [86] WILLIAM J. COOK
In Pursuit of the Traveling Salesman
Mathematics at the Limits of Computation
Princeton University Press, Princeton New Jersey, 2012.
- [87] S. BARRY COOPER and ANDREW HODGES ed.
The Once and Future Turing
Computing the World
Cambridge University Press, Cambridge, 2016.
- [88] B. JACK COPELAND
Colossus: Its Origins and Originators
IEEE Annals of the History of Computing
October – December 2004, 38 – 45.
- [89] B. JACK COPELAND
The Essential Turing
The ideas that gave birth to the computer age
Oxford University Press
Oxford, 2004.
- [90] B. JACK COPELAND *et al.*
Colossus
The Secrets of Bletchley Park’s Codebreaking Computers
Oxford University Press
Oxford 2006.
- [91] B. JACK COPELAND and others
Alan Turing’s Electronic Brain
The Struggle to Build the ACE, the World’s Fastest Computer
Oxford University Press, New York, 2012.
- [92] B. JACK COPELAND
Turing

- Pioneer of the Information Age
Oxford University Press, New York, 2012.
- [93] THOMAS H. CORMEN, CHARLES E. LEISERSON, RONALD L. RIVEST,
and CLIFFORD STEIN
Introduction to Algorithms
Second Edition
The MIT Press, Cambridge Massachusetts, 2001.
- [94] LEO CORRY
Fermat Meets SWAC; Vandiver, the Lehmers, Computers, and Number Theory
IEEE Annals of the History of Computing, Jan. – March 2008, pp. 38 – 49.
- [95] JAMES W. CORTADA
Before The Computer
IBM, NCR, Burroughs, & Remington Rand & the Industry They Created
1865 – 1956
Princeton University Press
Princeton, New Jersey, 1993.
- [96] *Data Encryption Standard*
Federal Information Processing Standard (FIPS)
Publication 46-2
National Bureau of Standards,
U.S. Department of Commerce
Washington D.C., January 1977.
<http://crsc.nist.gov>
- [97] RICHARD COTTLE, ELLIS JOHNSON, and ROGER WETS
George B. Dantzig (1914 – 2004)
Notices of the AMS, Vol. 54, 3. pp. 344 – 362 (2007).
- [98] HUGH DARWEN
The Relational Model: Beginning of an Era
IEEE Annals of the History of Computing, Oct. – Dec. 2012.
- [99] MARTIN DAVIS
Computability and Unsolvability
Dover Publications, New York, 1982.
- [100] MARTIN DAVIS
Engines of Logic
Mathematicians and the Origin of the Computer
W. W. Norton & Company
New York, London, 2000.

- [101] MARTIN DAVIS
The Universal Computer
The Road from Leibniz to Turing
Third Edition
CRC Press, 2018.
- [102] MARTIN DAVIS and REUBEN HERSH
Hilbert's 10th Problem
Scientific American, Vol. 229, No. 5 (Nov. 1973), 84 – 91.
- [103] MARTIN DAVIS, RON SIGAL and ELAINE J. WEYUKER
Computability, Complexity, and Languages
Fundamentals of Theoretical Computer Science
Morgan Kauffman, 1994
- [104] JOHN W. DAWSON JR.
Kurt Gödel: Leben und Werk
Springer Verlag
Wien, New York, 1999.
- [105] PETER DE JAGER
Der Jahrtausendfehler
Spektrum der Wissenschaft, November 1999, S. 84 – 89.
- [106] JEAN–PAUL DELAHAYE
Wie real ist das Unendliche?
Spektrum der Wissenschaft, März 2009, 54 – 61.
- [107] JEAN–PAUL DELAHAYE
Vermehrungsfähige Maschinen
Spektrum der Wissenschaft, Mai 2012, S. 84 – 91.
- [108] JEAN–PAUL DELAHAYE
Bedrohliche Unentscheidbarkeit
Spektrum der Wissenschaft, September 2017, S. 72 – 79.
- [109] JEAN–PAUL DELAHAYE
Bitcoin, der Energiefresser
Spektrum der Wissenschaft, April 2018, Seite 26 – 28.
- [110] DAVID DEUTSCH
Quantum theory, the Church–Turing principle and the universal quantum computer
Proc. Roy. Soc. A **400**, 97 – 117 (1985).
- [111] DAVID DEUTSCH
It from Qubit
in: Science and Ultimate Reality, Quantum Theory, Cosmology and Complexity;

- Edited by: John D. Barrow, Paul C.W. Davies and Charles Harper Jr.
Cambridge University Press, 2004.
- [112] Deutsches Museum, München
Informatik
Führer durch die Ausstellung
München, 2004.
- [113] KEITH DEVLIN
The Language of Mathematics
Making the Invisible Visible
W.H. Freeman and Company, 1998.
- [114] KEITH DEVLIN
The Millennium Problems
The Seven Greatest Unsolved Mathematical Puzzles of Our Time Basic Books, New York, 2002.
- [115] KEITH DEVLIN
The Man of Numbers
Fibonacci's arithmetic revolution
Walker & Company
New York, 2011.
- [116] A.K. DEWDNEY
Der Turing Omnibus
Eine Reise durch die Informatik in 66 Stationen
Springer Verlag
Berlin, Heidelberg, New York, 1995.
- [117] CHRIS DiBONA, SAM OCKMAN & MARK STONE (Ed.)
Open Sources
Voces from the Open Source Revolution
O'Reilly & Associates, Inc.
Beijing, Cambridge, Köln, Paris, Sebastopol, 1999.
- [118] OLIVER DIEDRICH
Happy Birthday, Tux!
Zehn Jahre Freies Betriebssystem
c't - Magazin für Computertechnik
Heft 19, 2001, Seite 162 – 169.
- [119] WHITFIELD DIFFIE and MARTIN E. HELLMAN
New Directions in Cryptography
IEEE Transactions on Information Theory
IT-22, **6** (1976), 644-654.
- [120] EDSGER DIJKSTRA
Goto Statement Considered Harmful
Communications of the ACM, Vol. 11 (1968), p. 147.

- [121] JACK DINGARRA and FRANCIS SULLIVAN
The top 10 Algorithms
Computing in Science & Engineering, Vol. 2, Jan./Feb. 2000, pp. 22-23.
- [122] JOHN F. DOOLEY
History of Cryptography and Cryptanalysis
Codes, Ciphers, and Their Algorithms
Springer Verlag, 2018.
- [123] ROBERT DORFMAN
The Discovery of Linear Programming
Annals of the History of Computing, Vol. 6, 3 (1984), pp. 283 – 295.
- [124] BERNHARD DOTZLER (Hrsg.)
Babbages Rechen-Automaten
Computerkultur Band VI
Springer Verlag
Wien, New York, 1996.
- [125] HUBERT L. DREYFUS und STUART E. DREYFUS
Künstliche Intelligenz
Von den Grenzen der Denkmaschine und dem Wert der Intuition
Rowohlt, Hamburg, 1991.
- [126] GEORGE DYSON
Turing's Cathedral
The Origins of the Digital Universe
Allen Lane, Penguin Books, London, New York, 2012.
- [127] GEORGE DYSON
Der geistige Vater des Computers
Spektrum der Wissenschaft, Juni 2012, S. 81 – 83.
- [128] ADOLF EBELING
Geist aus der Maschine
Das erste Jahrtausend des Computers neigt sich seinem Ende zu
c't - Magazin für Computertechnik
Heft 26, 1999, Seite 74 – 81.
- [129] JENNIFER EDSTROM, MARLIN ELLER
Barbarians Led by Bill Gates
Microsoft von innen betrachtet
MITP Verlag
Bonn, 1999.
- [130] JAMES ESSINGER
Jacquard's Web
Oxford University Press, Oxford, 2004.

- [131] EUKLID
Die Elemente
Ostwalds Klassiker der exakten Naturwissenschaften
Verlag Harri Deutsch
Thun und Frankfurt am Main, 1997.
- [132] GEORGINA FERRY
A computer called LEO
Lyons Teashops and the World's First Office Computer
Harper Perennial, London, 2003.
- [133] RICHARD P. FEYNMAN
Feynman Lectures on Computation
Edited by Tony Hey and Robin Allen
Westview Press, 1996.
- [134] RICHARD P. FEYNMAN
There's Plenty of Room at the Bottom
URL: <http://www.zyvex.com/nanotech/feynman.html>
- [135] RICHARD P. FEYNMAN
Simulating Physics with Computers
Int. Jour. Theor. Phys. **21**, (1982), No. 6/7, 467–488.
- [136] RICHARD P. FEYNMAN
Quantum Mechanical Computers
Foundations of Physics **16** (6), 1986, 507 – 531.
- [137] MICHAEL J. FLYNN
Some Computer Organizations and Their Effectiveness
IEEE Trans. Comput., Band C-21, S. 948–960, 1972.
- [138] TIM FOLGER
Quantencomputer als Kodeknacker
Spektrum der Wissenschaft, August 2016, S. 64 – 71.
- [139] KENNETH W. FORD
Building the H Bomb
A Personal History
World Scientific Press, Singapore, 2015.
- [140] LANCE FORTNOW
The Status of the P versus NP Problem
Communications of the ACM, **52**, 9, pp. 78 (2009).
- [141] LANCE FORTNOW and STEVE HOMER
A Short History of Computational Complexity
Bulletin of the European Association for Theoretical Computer Science,
80 (2003).

- [142] TONY FREETH
Die Entschlüsselung eines antiken Computers
Spektrum der Wissenschaft, Mai 2010, S. 62 – 70.
- [143] TONY FREETH
Wunderwerk der Antike
Spektrum der Wissenschaft, August 2022, 12 – 23.
- [144] PAUL FREIBERGER and MICHAEL SWAINE
Fire in the Valley
The Making of the Personal Computer
Second Edition
McGraw–Hill
New York, San Francisco, 2000.
- [145] MARIANNE FREIBERGER, RACHEL THOMAS
Zahlenreich
Eine Entdeckungsreise in eine vertraute, fremde Welt
Springer Verlag, Berlin, 2016.
- [146] GERHARD FREY
Die ABC–Vermutung
Spektrum der Wissenschaft, Februar 2009, 70–77.
- [147] JÖRAN FRIBERG
Zahlen und Maßen in den ersten Schriftzeugnissen
Spektrum der Wissenschaft, April 1984, S. 116 – 124.
- [148] W. BARKLEY FRITZ
ENIAC — A Problem Solver
IEEE Annals of the History of Computing
Vol.16, No. 1, 1994, 25 — 45.
- [149] JENS GALLENBACHER
Abenteuer Informatik
IT zum Anfassen für alle von 9 bis 99 – vom Navi bis Social Media
5. Auflage
Springer Verlag, Berlin, 2021.
- [150] MIKE R. GAREY and DAVID S. JOHNSON
Computers and Intractability
Freeman and Company, New York, 1979.
- [151] BILL GATES
The Road Ahead
Viking Penguin
London, New York, 1995.

- [152] BILL GATES
The Internet Tidal Wave
Microsoft Internal Memo, May 1995.
- [153] JULIA GEORGESCU
Bringing back the golden days of Bell Labs
Nature Reviews Physics, Vol. 4, February 2022, pp. 76 – 78.
- [154] JON GERTNER
The Idea Factory
Bell Labs and the Great Age of American Innovation
Penguin Books, New York, 2012.
- [155] W. WAYT GIBBS
Software: chronisch mangelhaft
Spektrum der Wissenschaft, Dezember 1994, S. 56 – 63.
- [156] JAMES GILLIES and ROBERT CAILLIAU
Die Wiege des Web
Die spannende Geschichte des WWW
dpunkt Verlag
Heidelberg 2002.
- [157] JAMES GLEICK
The Information
A History, a Theory, a Flood
Fourth Estate
London, 2011.
- [158] M. D. GODFREY and D. F. HENDRY
The Computer as von Neumann Planned it
IEEE Annals of the History of Computing, Vol. 15, No. 1, 1993, 11 –121.
- [159] KURT GÖDEL
Über formal unentscheidbare Sätze der Principia Mathematica und verwandte Systeme I
Monatshefte für Mathematik und Physik
38 (1931), 173 - 198.
- [160] HERMAN H. GOLDSTINE
The Computer from Pascal to von Neumann
Princeton University Press
Princeton, New Jersey, 1972.
- [161] VOLKER GRASSMUCK
Offene Quellen
Open Source – Betriebssystem für eine freiheitliche Gesellschaft
Linux Magazin
Heft 09, 2000, Seite 54 – 61.

- [162] JOHN GRIBBIN
Computing with Quantum Cats
From Colossus to Qubits
Bantam Press, London, 2013.
- [163] DAVID ALAN GRIER
The Inconsistent Youth of Charles Babbage
IEEE Annals of the History of Computing, October–December 2010, pp.
18–31.
- [164] DAVID ALAN GRIER
When Computers were Human
Princeton University Press
Princeton, New Jersey, 2005.
- [165] PETER GRITZMANN und RENE BRANDENBERG
Das Geheimnis des kürzesten Weges
Ein mathematisches Abenteuer
3. Auflage
Springer Verlag, Berlin, Heidelberg, New York, 2005.
- [166] ANDREW S. GROVE
Nur die Paranoiden überleben
Strategische Wendepunkte vorzeitig erkennen
Die Intel Erfolgsstory
Heyne Verlag, München, 1999.
- [167] HEINZ-PETER GUMM und MANFRED SOMMER
Einführung in die Informatik
Addison Wesley
Bonn, Paris, Reading Massachusetts, 1994.
- [168] KATIE HAFNER und MATTHEW LYON
Arpa Kadabra
Die Geschichte des Internet
dpunkt Verlag
Heidelberg 1997.
- [169] THOMAS HAIGH, MARK PRIESTLEY, and CRISPIN ROPE
ENIAC in Action
Making and Remaking the Modern Computer
The MIT Press, Cambridge, Massachussetts, 2018.
- [170] THOMAS HAIGH and PAUL E. CERUZZI
A New History of Modern Computing
The MIT Press, Cambridge, Massachussetts, 2021.
- [171] E. HAIRER, G. WANNER
Analysis by Its History
UTM, Springer, 2008.

- [172] JON HALL
Happy Birthday
Gedanken zum LINUX-Jubiläum
iX Magazin für professionelle Informationstechnik
Oktober 2001, Seite 88 – 91.
- [173] RICHARD W. HAMMING
Error Detecting and Error Correcting Codes
The Bell System Technical Journal
Vol. XXVI, No. 2, April 1950, pp. 147 – 161.
- [174] RICHARD W. HAMMING
Coding and Information Theory
Second edition
Prentice Hall, Englewood Cliffs
New Jersey, 1986.
- [175] DAVID HAREL
Das Affenpuzzle
und weitere bad news aus der Computerwelt
Springer Verlag
Berlin, Heidelberg, New York, 2002.
- [176] DAVID HAREL und YISHAI FELDMAN
Algorithmik
Die Kunst des Rechnens
Springer Verlag, Berlin, Heidelberg, 2006.
- [177] WILLIAM W. HARGROVE, FORREST M HOFFMAN, THOMAS STERLING
Der selbst gebastelte Supercomputer
in: *Supercomputing*
Spektrum der Wissenschaft, Dossier 2/2007
- [178] J. HARTMANIS and R.E. STEARNS
On the computational complexity of algorithms
Trans. Amer. Math. Soc. 117 (1965), pp. 285 – 306.
- [179] JULIAN HAVIL
Gamma
Eulers Konstante, Primzahlstrände und die Riemannsche Vermutung
Springer Verlag, Berlin, Heidelberg, 2007.
- [180] BRIAN HAYES
Im Reich der Terabytes
Omega, 4/2003, S. 47.
- [181] JEFF HECHT
City of Light
The Story of Fiber Optics

- Revised and Expanded Edition
Oxford University Press, Oxford, 1999.
- [182] STEVE H. HEIMS
John von Neumann and Norbert Wiener
From Mathematics to the Technologies of Life and Death
MIT Press, Cambridge, Massachusetts, 1980.
- [183] HANS DIETER HELLIGE (Hrsg.)
Geschichten der Informatik
Visionen, Paradigmen, Leitmotive
Springer Verlag
Berlin, Heidelberg, New York, 2004.
- [184] MARTIN E. HELLMAN
Die Mathematik neuer Verschlüsselungssysteme
Spektrum der Wissenschaft, Oktober 1979, S. 93 – 101.
- [185] JOHN L. HENNESSY and DAVID A. PATTERSON
Computer Architecture, A Quantitative Approach
Second Edition
Morgan Kaufmann Publishers, San Francisco, 1990.
- [186] ROLF HERKEN
The Universal Turing Machine
A Half-Century Survey
Springer Verlag
Wien, New York 1995.
- [187] DAVID HILBERT
Die Hilbertschen Probleme
Ostwalds Klassiker der exakten Naturwissenschaften
Band 252
Verlag Harri Deutsch
Frankfurt/Main, 1998.
- [188] RAYMOND HILL
A First Course in Coding Theory
Oxford University Press 1986.
- [189] FREDERICK S. HILLIER and GERALD J. LIEBERMAN
Introduction to Operations Research
Ninth Edition
McGraw-Hill, International Edition, 2010.
- [190] MICHAEL HILTZIK
Dealers of Lightning: Xerox PARC and the Dawn of the Computer Age
Harper & Row, 2000.

- [191] ANDREW HODGES
Alan Turing, Enigma
Zweite Auflage
Springer–Verlag
Wien, New York, 1994.
- [192] ANDREW HODGES
Der Mann hinter der Maschine
Spektrum der Wissenschaft, Juni 2012, S. 87.
- [193] DIRK W. HOFFMANN
Grenzen der Mathematik
Eine Reise durch die Kerngebiete der mathematischen Logik
Spektrum Akademischer Verlag
Heidelberg, 2011.
- [194] DIRK W. HOFFMANN
Die Gödelschen Unvollständigkeitssätze
Eine geführte Reise durch Kurt Gödels historischen Beweis
Spektrum Akademischer Verlag
Heidelberg, 2013.
- [195] DIRK W. HOFFMANN
Einführung in die Informations– und Codierungstheorie
2. Auflage
Springer Vieweg, 2023.
- [196] DOUGLAS R. HOFSTADTER
Gödel, Escher, Bach
Ein Endloses Geflochtenes Band
Klett Cotta
Stuttgart, 1985.
- [197] MATTHIAS HOMEISTER
Quantum Computing verstehen
Grundlagen, Anwendungen, Perspektiven
Vieweg, Wiesbaden 2005.
- [198] JOHN E. HOPCROFT
Turingmaschinen
Spektrum der Wissenschaften, Juli 1984
Seite 34.
- [199] ANTHONY HYMAN
Charles Babbage, 1791 — 1871
Philosoph, Mathematiker, Computerpionier
Ernst Klett Verlage GmbH u. Co. KG
Stuttgart, 1987.

- [200] DANIEL ICHBIAH
Die Microsoft Story
Wilhelm Heyne Verlag
München, 1996.
- [201] GEORGES IFRAH
Universalgeschichte der Zahlen
Campus Verlag
Frankfurt/New York, 1998.
- [202] GEORGES IFRAH
The Universal History Of Computing
From the Abacus to the Quantum Computer
John Wiley & Sons.
New York, Chichester, 2001.
- [203] BERNHARD IRRGANG und JÖRG KLAWITTER
Künstliche Intelligenz
S. Hirzel, Wissenschaftliche Verlagsgesellschaft
Stuttgart, 1990.
- [204] M.M. IRVINE
Early Digital Computers at Bell Telephone Laboratories
IEEE Annals of the History of Computing, July – Sept. 2001, 22 – 42.
- [205] WALTER ISAACSON
The Innovators
How a Group of Hackers, Geniuses and Geeks Created the Digital Revolution
Simon & Schuster, London, 2014.
- [206] TIM JACKSON
Inside Intel
Die Geschichte des erfolgreichsten Chip-Produzenten der Welt
Hoffmann und Campe Verlag
Hamburg, 1998.
- [207] BRIAN JOHNSON
Strenge Geheim
Wissenschaft und Technik im Zweiten Weltkrieg
Wiener Verlag
Himberg bei Wien, 1978.
- [208] DAVID KAHN
The Codebreakers
The Comprehensive History of Secret Communication from Ancient Times
to the Internet
Scribner, New York, 1996.

- [209] DAVID KAHN
Seizing the Enigma
Arrow Books, London, 1992.
- [210] BERNULF KANITSCHNEIDER
Was ist Mathematik?
Spektrum der Wissenschaft, Juni 2009, 72–78.
- [211] ROBERT KAPLAN
Die Geschichte der Null
Piper Verlag
München, 2003.
- [212] VICTOR J. KATZ
A History of Mathematics
An Introduction
3rd Edition
Addison Wesley
Reading, Massachusetts, 2009.
- [213] BRIAN W. KERNIGHAN und DENNIS M. RITCHIE
Programmieren in C
Carl Hanser Verlag
München, 1990.
- [214] BRIAN W. KERNIGHAN
Understanding the Digital World
What You Need to Know about Computers, the Internet, Privacy, and Security
Princeton University Press, Princeton, New Jersey, 2017.
- [215] BRIAN W. KERNIGHAN
UNIX
A History and Memoir
Kindle direct Publishing, 2020.
- [216] EUGENE ERIC KIM, BETTY ALEXANDRA TOOLE
Ada und der erste Computer
Spektrum der Wissenschaft, Juli 1999, S. 80 – 85.
- [217] RUDOLF KIPPENHAHN
Verschlüsselte Botschaften
Geheimschrift, Enigma und Chipkarte
Rowohlt Verlag GmbH
Reinbek bei Hamburg, 1997.
- [218] CHIGUSA ISHIKAWA KITA
J.C.R. Licklider's Vision for the IPTO
IEEE Annals of the History of Computing, July – Sept. 2003, 62 – 77.

- [219] MORRIS KLINE
Mathematical Thought From Ancient to Modern Times
Volumes 1 – 3
Oxford University Press
New York, Oxford, 1990.
- [220] WILLIAM KNEALE and MARTHA KNEALE
The Development of Logic
The Clarendon Press
Oxford, 1962.
- [221] DONALD E. KNUTH
The Art of Computer Programming
VOLUME 1
Fundamental Algorithms
Third Edition
Addison Wesley
Reading, Massachusetts, 1997.
- [222] DONALD E. KNUTH
The Art of Computer Programming
VOLUME 2
Seminumerical Algorithms
Third Edition
Addison Wesley
Reading, Massachusetts, 1998.
- [223] DONALD E. KNUTH
The Art of Computer Programming
VOLUME 3
Sorting and Searching
Second Edition
Addison Wesley
Reading, Massachusetts, 1998.
- [224] THOMAS KOSHY
Fibonacci and Lucas Numbers with Applications
John Wiley & Sons, Inc.
New York, Chichester, 2001.
- [225] ANDRIAN KREYE
Der Geist aus der Maschine
Eine superschnelle Menschheitsgeschichte des digitalen Universums
Wilhelm Heyne Verlag, München, 2024.
- [226] FRANKLIN F. KUO
Computer Networks — The ALOHA System
Journal of Research of the NBS Vol. 86, No. 6. November–December 1981,
pp. 591 – 595.

- [227] DAVID LEAVITT
The Man Who Knew Too Much
Alan Turing and the Invention of the Computer
W.W. Norton Company
New York, London, 2006.
- [228] J. A. N. LEE
Computer Pioneers
IEEE Computer Society Press, Los Alamitos, Cal., 1995.
- [229] STEVEN LEVY
Hackers
Heros of the Computer Revolution
Penguin Books Ltd
New York, London, 1984.
- [230] STEVEN LEVY
Künstliches Leben aus dem Computer
Knaur, München, 1996.
- [231] STEVEN LEVY
Crypto
How the Code Rebels Beat the Government—
Saving Privacy in the Digital Age
Penguin Books Ltd.
New York, London, 2001.
- [232] STEVEN LEVY
The Perfect Thing
How the iPod Shuffles Commerce, Culture, and Coolness
Simon & Schuster, New York, 2006.
- [233] STEVEN LEVY
Facebook — Weltmacht am Abgrund
Droemer Knaur, 2020.
- [234] J.C.R. LICKLIDER
Man-Computer Symbiosis
IRE Transactions on Human Factors in Electronics, 1, 4 – 11 (1960).
- [235] J.C.R. LICKLIDER, ROBERT W. TAYLOR
The Computer as a Communication Device
Science and Technology, April 1968.
- [236] ALEXANDER LIPTON und ALEX PENTLAND
Ausweg aus dem Bankenmonopol
Spektrum der Wissenschaft, April 2018, S. 21 – 25.

- [237] SETH LLOYD
Quanten-Computer
Spektrum der Wissenschaft, Dezember 1995, S. 62 – 68.
- [238] ADRIAN LOBE
Mach das Internet aus, ich muss telefonieren
Kuriose Geschichten aus der digitalen Steinzeit
C.H. Beck, München 2022.
- [239] PAUL LOCKART
Arithmetic
Harvard University Press, Cambridge, Massachusetts, 2017.
- [240] JERRY M. LODDER
Binary Arithmetic: From Leibniz to von Neumann
Preprint
- [241] ANDREAS LOOS
QR-Kodes lesen – mit bloßem Auge
Spektrum der Wissenschaft, Mai 2013, S.62–65.
- [242] HEINZ LÜNEBURG
**Leonardi Pisani Liber Abbaci oder Lesevergnügen eines Mathe-
matikers**
2. Auflage
BI Wissenschaftsverlag, Mannheim, 1993.
- [243] JOHN MACCORMICK
Nine Algorithms That Changed The Future
Princeton University Press, Princeton, NJ, 2012.
- [244] NORMAN MACRAE
John von Neumann
Mathematik und Computerforschung — Facetten eines Genies
Birkhäuser Verlag
Basel, Boston, Berlin, 1994.
- [245] CHRISTIAN MÄRTIN
Rechnerarchitekturen
CPUs, Systeme, Software-Schnittstellen
Fachbuchverlag Leipzig
im Carl Hanser Verlag
München, Wien, 2001.
- [246] HUBERT MANIA
Gauß
Eine Biographie
Rowohlt, 2014.

- [247] HERBERT MATIS
Die Wundermaschine
Die unendliche Geschichte der Datenverarbeitung: Von der Rechenuhr zum Internet
MITP Verlag
Bonn, 2002.
- [248] JOHN MCCARTHY
Recursive Functions of Symbolic Expressions and Their Computation by Machine, Part I
Communications of the ACM, 2 (4), 184 – 195 (1960).
- [249] WARREN McCULLOCH and WALTER PITTS
A logical calculus of the ideas immanent in nervous activity
Bulletin of Mathematical Biophysics, Vol. 5, (1943), S. 115-133.
- [250] BRIAN McCULLUOGH
How the Internet Happened
From Netscape to the iPhone
W.W. Norton & Company, New York, 2018.
- [251] CHRISTIAN J. MEIER
Eine kurze Geschichte des Quantencomputers
Wie bizarre Quantenphysik eine neue Technologie erschafft
Telepolis, Heise Verlag, Hannover, 2015.
- [252] PETER MEIER und JÖRN STEUDING
Die Riemannsche Vermutung
Spektrum der Wissenschaft September 2008, 86–93.
- [253] PETER MEIER, JÖRN STEUDING und RASA STEUDING
Elliptische Kurven und eine kühne Vermutung
Spektrum der Wissenschaft, Januar 2009, 62–69.
- [254] GERD MEISSNER
SAP, die heimliche Software Macht
Wilhelm Heyne Verlag
München, 1999.
- [255] UTA C. MERZBACH and CARL B. BOYER
A History of Mathematics
Third Edition
John Wiley & Sons, Inc. New Jersey, 2011.
- [256] ROBERT METCALFE and DAVID R. BOGGS
Ethernet: distributed packet switching for local computer networks
Communications of the ACM, Vol. 19, 7, pp. 395 – 404, (1976).

- [257] NICHOLAS METROPOLIS
The Beginning of the Monte Carlo Method
Los Alamos Science, Special Issue, 1987.
- [258] NICHOLAS METROPOLIS and STANISLAW ULAM
The Monte Carlo Method
Journal of the American Statistical Association, **44** (247), 335 – 341
(1949).
- [259] NICHOLAS METROPOLIS, ARIANNA W. ROSENBLUTH, MARSHALL N.
ROSENBLUTH, AUGUSTA H. TELLER and EDWARD TELLER
Equation of State Calculations by Fast Computing Machines
J. of Chem. Phys., **21**, 1087 – 1091, 1953.
- [260] NICOLAS METROPOLIS, J.HOWLETT, and GIAN-CARLO ROTA (Eds.)
A History of Computing in the Twentieth Century
Academic Press, New York, 1980.
- [261] CARSTEN MEYER
Silberner Apfel
Apple wird 25: Ein kleiner Rückblick auf die ersten 25 Jahre
c't — Magazin für Computertechnik
Heft 7, 2001, Seite 44.
- [262] CHRIS MILLER
Chip War
The Fight for the World's Most Critical Technology
Simon and Schuster, 2022.
- [263] FRANZ MILLER
Die mp3–Story
Carl Hanser Verlag, München, 2015.
- [264] MARVIN MINSKY
The Society of Mind
Simon & Schuster
New York, London, Toronto, Sydney, Tokyo, Singapore, 1986.
- [265] PRATAP MISRA and PER ENGE
Global Positioning System
Signals, Measurements, and Performances
Revised Second Edition
Ganga-Jamuna Press, Lincoln, Massachusetts, 2012.
- [266] GORDON E. MOORE
Cramming more Components onto Integrated Circuits
Electronics, Vol. 38, No. 8, April 1965.

- [267] PHILIP M. MORSE and GEORGE E. KIMBALL
Methods of Operations Research
Dover Publications, Inc. Minneola, New York, 2003.
- [268] ERNEST NAGEL, JAMES R. NEWMAN
Der Gödelsche Beweis
Oldenbourg Verlag, München, 2001.
- [269] SATOSHI NAKAMOTO
Bitcoin: A Peer-to-Peer Electronic Cash System
in: bitcoin.org, Oktober 2008, abgerufen am 28.10.2023.
- [270] JOHN NAPIER
The Construction of the Wonderful Canon of Logarithms
Blackwood and Sons, 1889.
- [271] FRIEDRICH NAUMANN
Vom Abakus zum Internet
Die Geschichte der Informatik
Primus Verlag
Darmstadt, 2001.
- [272] PETER NAUR and B. RANDELL (Eds.)
Software Engineering: Report on a Conference
Garmisch, 1968
Brussels; NATO Scientific Affairs Division, 1968.
- [273] OTTO NEUGEBAUER
The Exact Sciences in Antiquity
Dover Books, New York, 1969.
- [274] HANS NEUKOM
The Second Life of ENIAC
IEEE Annals of the History of Computing
April – June, 2006.
- [275] JAMES NEWMAN, Ed.
The World of Mathematics
Volume 4
Dover Publications, New York, 1956.
- [276] MARGARET O'MARA
The Code
Silicon Valley and The Remaking of America
Penguin Press, New York, 2019.
- [277] GERARD O'REGAN
A Brief History of Computing
Springer Verlag
London, 2008.

- [278] GERARD O'REGAN
Giants of Computing
A Compendium of Select, Pivotal Pioneers
Springer Verlag
London, 2013.
- [279] JOHN PALFREMAN and DORON SWADE
The Dream Machine
Exploring the Computer Age
BBC Books, London, 1992.
- [280] DAVID A. PATTERSON
Mikroprogrammierung
Spektrum der Wissenschaft, Mai 1983, S. 42 – 50.
- [281] DAVID A. PATTERSON
Reduced Instruction Set Computers
Communications of the ACM, 28, vol. 1 (January 1985): 8 – 21.
- [282] DAVID A. PATTERSON, GARTH GIBSON, and RANDY H. KATZ
A Case for Redundant Arrays of Inexpensive Disks (RAID)
Tech. report, CS Division, Univ. of California Berkley, 1987.
URL:<http://www.cs.cmu.edu/garth/RAIDpaper/Patterson88.pdf>
- [283] DAVID A. PATTERSON and JOHN L. HENNESSY
Computer Organization & Design
The Hardware/Software Interface
Morgan Kaufmann Publishers, San Francisco, 1998.
- [284] JOHN PAVLUS
Die Welt des Bitcoin
Spektrum der Wissenschaft, April 2018, S. 12 – 20.
- [285] ABRAHAM PELED
Die nächste Computer-Revolution
Sonderheft 6; Die nächste Computerrevolution
Spektrum der Wissenschaften, 1988.
- [286] ROGER PENROSE
The Emperor's New Mind
Concerning Computers, Minds, and the Laws of Physics
Oxford University Press
New York, 1989.
Deutsche Übersetzung:
Computerdenken
Die Debatte um Künstliche Intelligenz, Bewußtsein und die Gesetze der Physik
Spektrum der Wissenschaft Verlagsgesellschaft
Heidelberg, 1991.

- [287] ROGER PENROSE
Das Große, das Kleine und der menschliche Geist
Spektrum Akademischer Verlag GmbH
Heidelberg, Berlin, 1998.
- [288] PETER PESIC
Abels Beweis
Springer Verlag
Berlin, Heidelberg, New York, 2007.
- [289] IVARS PETERSON
The Jungles of Randomness
A Mathematical Safari
John Wiley & Sons, 1998.
- [290] CHARLES PETZOLD
Code
The Hidden Language of Computer Hardware and Software
Microsoft Press, Redmond, 2000.
- [291] CHARLES PETZOLD
The Annotated Turing
A Guided Tour through Alan Turing's Historic Paper on Computability
and the Turing Machine
Wiley Publishing
Indianapolis, 2008.
- [292] JOHN R. PIERCE
The Early Days of Information Theory
IEEE Transactions on Information Theory, Vol. IT-19, 1, 3 – 8, (1973).
- [293] JOHN R. PIERCE
An Introduction to Information Theory
Symbols, Signals and Noise
Dover Publications, Inc.
New York, 1980.
- [294] CHRISTOPH PÖPPE
Interview: Von der Kryptographie zum Weltfrieden
Spektrum der Wissenschaft, März 2019, S. 72 – 75.
- [295] HANS POSER
Die vernünftig geordnete Welt
Spektrum der Wissenschaft, Juli 2016, S. 52 – 59.
- [296] EMIL POST
A variant of a recursively unsolvable problem
Bulletin of the American Mathematical Society **52** (1946), 264 – 268.

- [297] MARK PRIESTLEY
A Science of Operations
Machines, Logic and the Invention of Programming
Springer Verlag
London, 2011.
- [298] HAL PRINCE
The Annotated Gödel
A Reader's Guide to his Classical Paper on Logic and Incompleteness
Homebred Press, 2023.
- [299] JEAN-JACQUES QUISQUATER und JEAN-LOUIS DESVIGNES
Wie sicher ist die Chipkarte?
Spektrum der Wissenschaft, März 2017, S. 56 – 64
- [300] MICHAEL O. RABIN and DANA SCOTT
Finite Automata and Their Decision Problem
IBM Journal of Research and Development. 3 (2): 114 – 125 (1959).
- [301] AINISSA RAMIREZ
Technikgeschichte: Ein Kabel quer durch den Ozean
Spektrum der Wissenschaft, Juli 2016, S. 80 – 85.
- [302] ERIC S. RAYMOND
The Cathedral & the Bazaar
Musings on Linux and Open Source by an Accidental Revolutionary
O'Reilly & Associates, Inc.
Beijing, Cambridge, Köln, Paris, Sebastopol, 1999.
- [303] CONSTANCE REID
Hilbert
Springer Verlag
New York, 1996.
- [304] T.R. REID
The Chip
How Two Americans Invented the Microchip and Launched a Revolution
Random House, New York, 2001.
- [305] RICHARD RHODES
Dark Sun
The Making of the Hydrogen Bomb
Touchstone Simon & Schuster
New York, 1996.
- [306] MICHAEL RIORDAN and LILIAN HODDESON
Crystal Fire
The Invention of the Transistor and the Birth of the Information Age
W.W. Norton, New York, 1997.

- [307] MICHAEL RIORDAN und LILIAN HODDESON
Der Beginn der Mikroelektronik
Spektrum der Wissenschaft
März 3/1998, Seite 80.
- [308] RON RIVEST, ADI SHAMIR and LEO ADLEMAN
A Method for Obtaining Digital Signatures and Public Key Cryptosystems
Communications of the ACM
Vol. 21, (1978), pp. 120 - 126.
- [309] DENNIS M. RITCHIE
The Development of the C Language
Second History of Programming Languages conference
Cambridge, Mass. April 1993.
- [310] BORUT ROBIC
The Foundations of Computability Theory
Springer Verlag, 2015.
- [311] RAÚL ROJAS
Konrad Zuses Rechenmaschinen: sechzig Jahre Computergeschichte
Spektrum der Wissenschaft, Mai 1997, S. 54 – 62.
- [312] RAÚL ROJAS
Computergeschichte: Konrad Zuses Gedankenfabrik
Spektrum der Wissenschaft, Januar 2017, S. 64 – 73.
- [313] RAÚL ROJAS (Hrsg.)
Die Rechenmaschinen von Konrad Zuse
Springer Verlag
Berlin, Heidelberg, New York, 1998.
- [314] AENEAS ROOCH
Die Entdeckung der Unendlichkeit
Das Jahrhundert, in dem die Mathematik sich neu erfand 1870 – 1970
Heyne Verlag, 2022.
- [315] ARNILD L. ROSENBERG and DENIS TRYSTRAM
Understand Mathematics, Understand Computing
Discrete Mathemtics That All Computing Students Should Know
Springer Nature, Switzerland, 2020.
- [316] GRZEGORZ ROZENBERG and ARTO SALOMAA
Cornerstones of Undecidability
Prentice Hall, 2001.
- [317] WINSTON W. ROYCE
Managing the Development of Large Software Systems
Proceedings IEEE WESCON, August 1970, pp. 1–9.
<http://leadinganswers.typepad.com/>

- [318] STUART RUSSELL and PETER NORVIG
Artificial Intelligence
A Modern Approach
Prentice Hall
New Jersey, 1995.
- [319] LUCIA RUSSO
Die vergessene Revolution
oder die Wiedergeburt des antiken Wissens
Springer Verlag, Berlin, 2005.
- [320] ANTHONY E. SALE
The Rebuilding of Colossus at Bletchley Park
IEEE Annals of the History of Computing
July – September 2005, 61 – 69.
- [321] PETER SALUS
Casting the Net: From ARPANET to INTERNET and Beyond
Addison Wesley, 1995.
- [322] MARCUS DU SAUTOY
Eine mathematische Mystery Tour durch unser Leben
Verlag C.H. Beck, München, 2011.
- [323] JOEL L. SCHIFF
The Mathematical Universe
From Pythagoras to Planck
Springer Nature, 2020.
- [324] ERIC SCHLOSSER
Command and Control
Penguin Books, New York, 2013.
- [325] BRUCE SCHNEIER
Applied Cryptography
Protocols, Algorithms and Source Code in C
John Wiley & Sons, Inc.
New York, 1996.
- [326] BRUCE SCHNEIER
Secrets & Lies
Digital Security in a Networked World
John Wiley & Sons, Inc.
New York, 2000.
- [327] UWE SCHÖNING
Das SAT-Problem
Informatik Spektrum **33**, 5, (2010), S. 479 – 483.

- [328] BRUCE SCHNEIER, JOHN KELSEY
Cryptographic Support for Secure Logs on Untrusted Machines
In: The Seventh USENIX Security Symposium Proceedings. USENIX Press, Januar 1998, S. 53 – 62.
- [329] MANFRED R. SCHROEDER
Number Theory in Science and Communication
With Applications in Cryptography, Computing, Physics, Digital Information, and Self-Similarity
Third Edition
Springer Verlag
Berlin, Heidelberg, New York, 1997.
- [330] JOHN R. SEARLE
Minds, brains, and programs
in: *The Behavioral and Brain Sciences* (1980), **3**, 417 – 457.
- [331] JOHN R. SEARLE
Minds, Brains and Science
Harvard University Press, Cambridge, Massachusetts, 1984.
- [332] HUGH SEBAG-MONTEFIORE
Enigma
The Battle For The Code
Phoenix, London, 2000.
- [333] CHARLES SEIFE
Decoding the Universe
How the New Science of Information Is Explaining Everything in The Cosmos, From Our Brains to Black Holes
Penguin Books, London, 2006.
- [334] CLAUDE E. SHANNON
A Symbolic Analysis of Relay and Switching Circuits
Transactions American Institute of Electrical Engineers, vol. 57, 1938
in: N.J.A. Sloane and Aaron D. Wyner: **Claude Elwood Shannon** Collected Papers, IEEE Press.
- [335] CLAUDE E. SHANNON
A Mathematical Theory of Communication
The Bell System Technical Journal, Vol. **27**, 1948, 379 - 423.
- [336] CLAUDE E. SHANNON
Programming a Computer for Playing Chess
Philosophical Magazine, Ser.7, Vol. 41, No. 314 – March 1950.
- [337] CLAUDE E. SHANNON and WARREN WEAVER
The Mathematical Theory of Communication
University of Illinois Press, 1998.

- [338] RONALD W. SHONKWILER and FRANKLIN MENDIVIL
Explorations in Monte Carlo Methods
UTM, Springer Verlag, Dordrecht, 2009.
- [339] PETER W. SHOR
Polynomial-Time Algorithms for Prime Factorization and Discrete Logarithms on a Quantum Computer
SIAM Journal on Computing. 26/1997, S. 1484–1509 (arXiv:quant-ph/9508027).
- [340] JOEL N. SHURKIN
Broken Genius
The Rise and Fall of William Shockley Creator of the Electronic Age
MacMillan, London, 2006.
- [341] WILFRIED SIEG
Hilbert's Programs and Beyond
Oxford University Press, Oxford, 2013.
- [342] NATE SILVER
The Signal and the Noise
The Art and Science of Prediction
Penguin Books, London, New York, 2012.
- [343] SIMON SINGH
Geheime Botschaften
Die Kunst der Verschlüsselung von der Antike bis in die Zeiten des Internet
Carl Hanser Verlag
München, Wien, 2000.
- [344] SIMON SINGH
Big Bang
Harper Perennial
London, 2005.
- [345] MICHAEL SIPSER
The history and status of the P versus NP question
In: *Proceedings of the 24th ACM Symposium on Theory of Computation*,
pp. 603, ACM, New York (1992).
- [346] MICHAEL SIPSER
Introduction to the Theory of Computation
PWS Publishing Company, Boston 1997.
- [347] N.J.A. SLOANE and AARON D. WYNER eEds.)
Claude Elwood Shannon
Collected Papers
IEEE Press
New York, 1993.

- [348] ALVY RAY SMITH
A Biography of the Pixel
The MIT Press, Cambridge Massachussetts, 2021.
- [349] BRUCE L.R. SMITH
The RAND Corporation
Case Study of a Nonprofit Advisory Corporation
Harvard University Press
Cambridge, Massachusetts, 1966.
- [350] THOMAS SONAR
Die Berechnung der Logarithmentafeln durch Napier und Briggs
www.rechenschieber.org/sonar.pdf
- [351] THOMAS SONAR
Turbulenzen um die Fluidmechanik
Spektrum der Wissenschaften, April 2009, 78–87.
- [352] THOMAS SONAR
Vertreibung der Gespenster
Spektrum der Wissenschaft, Juli 2016, S. 60 – 66.
- [353] JIMMY SONI and ROB GOODMAN
A Mind at Play
How Claude Shannon invented the information age
Simon & Schuster, New York, 2017.
- [354] MICHAEL SPRINGER
Quantenschein und Quantenwahrheit
Spektrum der Wissenschaft, Januar 2018, S. 35.
- [355] WILLIAM STALLINGS
Computer Organization and Architecture
Fifth Edition
Prentice Hall, Upper Saddle River, 2000.
- [356] KARL STEINBUCH
Die informierte Gesellschaft
Geschichte und Zukunft der Nachrichtentechnik
Rowohlt, Hamburg, 1968.
- [357] IAN STEWART
Wie man einen Brief frankiert
Spektrum der Wissenschaft, Oktober 2008, 74–79.
- [358] ANDREAS STILLER
Fröhliche Oldies
Der PC feiert seinen 20. Geburtstag
c't - Magazin für Computertechnik
Heft 16, 2001, Seite 172 – 177.

- [359] JOHN STILLWELL
Mathematics and its History
Second Edition
Springer, Berlin, Heidelberg, New York, 2002.
- [360] DORON D. SWADE
Der mechanische Computer des Charles Babbage
Spektrum der Wissenschaft
April 1993, Seite 78.
- [361] DORON D. SWADE
The Cogwheel Brain
Charles Babbage and the quest to build the first computer
Abacus, London, 2000.
- [362] DORON D. SWADE
The Construction of Charles Babbage's Difference Engine No. 2
IEEE Annals of the History of Computing
July – September 2005, 70 – 88.
- [363] GEORGE G. SZPIRO
Das Poincare Abenteuer
Ein mathematisches Wellrätsel wird gelöst
Piper, München, 2007.
- [364] CHRISTOF TEUSCHER (Ed.)
Alan Turing: Life and Legacy of a Great Thinker
Springer Verlag
Berlin, Heidelberg, 2004.
- [365] CON HOO-MIN D. TOONG und AMAR GUPTA
Personal Computer – Allzweckrechner für jedermann
Spektrum der Wissenschaft, Februar 1983, S. 96 – 113.
- [366] LINUS TORVALDS, DAVID DIAMON
Just for Fun
Wie ein Freak die Computerwelt revolutionierte
Carl Hanser Verlag
München, Wien, 2001.
- [367] MYRON TRIBUS and EDWARD C. McIRVINE
Energy and Information
Scientific American, Vol. 225, No. 3 (September 1971), pp. 179–190.
- [368] ALAN M. TURING
On computable numbers with an application to the Entscheidungsproblem
Proc. London Mathematical Society
42 (1937), 230 - 265.
Korrektur in **43**, 544 - 546.

- [369] ALAN M. TURING
Can a Machine Think?
in: JAMES NEWMAN, The World of Mathematics, Vol. 4, pp. 2099 – 2123.
- [370] B.L. VAN DER WAERDEN
Erwachende Wissenschaft
Ägyptische, babylonische und griechische Mathematik
Birkhäuser Verlag, Basel, 1966.
- [371] ANDREW J. VITERBI
Information Theory in the Sixties
IEEE Transactions on Information Theory, Vol. IT-19, 3, 257 – 262,
(1973).
- [372] HANSPETER VOLTZ
Menschen und Computer
Markt & Technik Buch – und Software – Verlag GmbH & Co.
Haar bei München, 1993.
- [373] HANS CHRISTIAN VON BAEYER
Information, The New Language of Science
Harvard University Press, Cambridge, Massachusetts, 2004.
- [374] JOHN VON NEUMANN
The General and Logical Theory of Automata
in: John von Neumann, Collected Works A. H. Taub, ed., Vol. V,
pp. 288 – 326,
Pergamon Press, New York, 1963.
Siehe auch [275] pp. 2070 – 2098.
- [375] JOHN VON NEUMANN
The Computer and the Brain
Second Edition
Yale University Press
New Haven, London, 2000.
- [376] JOHN VON NEUMANN and OSKAR MORGENSTERN
Theory of Games and Economic Behaviour
Sixtieth Anniversary Edition
Princeton University Press, Princeton, New Jersey, 2004.
- [377] EDGAR P. VORNDRAN
Entwicklungsgeschichte des Computers
2., überarbeitete Auflage
VDE Verlag
Berlin und Offenbach, 1986.
- [378] M. MITCHELL WALDROP
The Dream Machine

- J.C.R. Licklider and the Revolution That Made Computing Personal
Viking Penguin, New York, 2001.
- [379] M. MITCHELL WALDROP
Mehr als Moore
<http://www.spektrum.de/news/mehr-als-moore/1405206>
- [380] BENJAMIN WARDHAUGH
Encounters with Euclid
How an Ancient Greek Geometry Text Shaped the World
Princeton University Press, Princeton, 2021.
- [381] IAN WATSON
The Universal Machine
From the Dawn of Computing to Digital Consciousness
Springer Verlag
Berlin, Heidelberg, 2012.
- [382] MARK WEISER
The Computer for the 21st Century
Scientific American, September 1991, 94 – 104.
- [383] ROBERT WEISS
Mit dem Computer auf Du
Midas Verlag
Männedorf, Schweiz, 1993.
- [384] JOHN ARCHIBALD WHEELER
Information, Physics, Quantum: The search for links
Proceedings III International Symposium on Foundations of Quantum Mechanics, Tokyo, 1989, pp. 354 – 368.
- [385] H.R. WIELAND
Computergeschichte(n) — nicht nur für Geeks
Von Antikythera zur Cloud
Galileo Press
Bonn, 2011.
- [386] NORBERT WIENER
Cybernetics
or Control and Communication in the Animal and the Machine
Second edition
The MIT Press
Cambridge, Massachusetts, 1998.
- [387] STEPHEN WIESNER
Conjugate Coding
SIGACT News **15**, 78 (1983).

- [388] MAURICE V. WILKES
Computer Perspectives
Morgan Kaufmann Publishers Inc.
San Francisco, California, 1995.
- [389] COLLIN P. WILLIAMS and SCOTT H. CLEARWATER
Ultimate Zero and One
Computing at the Quantum Frontier
Copernicus, Springer Verlag
New York, 2000.
- [390] MICHAEL R. WILLIAMS
The Origin, Uses and Fate of the EDVAC
IEEE Annals of the History of Computing, Vol. 15, No. 1, 1993, 22 – 38.
- [391] MICHAEL R. WILLIAMS
History of Computing Technology
IEEE Computer Society Press
Los Alamitos, 1997.
- [392] J.B. WILLIAMS
The Electronics Revolution
Inventing the Future
Springer, 2017.
- [393] JACK K. WOLF
A Survey of Coding Theory: 1967 – 1972
IEEE Transactions on Information Theory, Vol. IT-19, 4, 381 – 389,
(1973).
- [394] CHRISTIAN WURSTER
Computers
Eine illustrierte Geschichte
Taschen Verlag, Köln, 2002.
- [395] BENJAMIN H. YANDELL
The Honors Class
Hilbert's Problems and Their Solvers
A. K. Peters, Massachusetts, 2002.
- [396] NOSON S. YANOFSKY, MIRCO A. MANNUCCI
Quantum Computing for Computer Scientists
Cambridge University Press,
Cambridge, 2008.
- [397] LOTFI ZADEH
Fuzzy Sets
Information and Control
Vol. 8 (1965), pp. 338 – 353.

Online-Quellen

- [398] IEEE
<http://www.computer.org/history>
- [399] Charles Babbage Institute
<http://cbi.umn.edu/tc-html>
- [400] Department of Computer Science, Virginia Tech
<http://ei.cs.vt.edu/~history/>
- [401] Heinz Nixdorf Museum, Paderborn
<http://www.hnf.de/index.html>
- [402] Bletchley Park
<http://www.codesandciphers.org.uk/>
- [403] The Computer History Museum Center
<http://www.computerhistory.org/>
- [404] CED in the History of Media Technology
<http://www.cedmagic.com/history>
- [405] Das Online Computer Museum
<http://www.old-computers.com>
- [406] Abakus
<http://www.benjaminwrightson.de/abakus/homepage.html>
- [407] LEO
<http://leo-computers.org.uk/pageone.htm>
- [408] Alan Turing Home Page
<http://www.turing.org.uk>
- [409] The Turing Archive for the History of Computing
<http://www.alanturing.net>
- [410] National Archive for the History of Computing
<http://www.chstm.man.ac.uk/nahc/>
- [411] The Virtual Museum of Computing
<http://icom.museum/vlmp/computing.html>
- [412] DOUGLAS ENGELBARTS Demo
sloan.stanford.edu/mousesite/1968Demo.html
- [413] CLAUDE E. SHANNON, Father of the Information Age
http://www.youtube.com/watch?v=z2Whj_nL-x8

- [414] Timeline Speichertechnologie
<http://www.computerhistory.org/timeline/memory-storage>
- [415] Timeline Programmiersprachen
<http://www.computerhistory.org/timeline/software-languages>
- [416] Timeline Mikroprozessoren
<http://processortimeline.info/>
- [417] Liste der schnellsten Supercomputer
<http://www.top500.org>
- [418] Request for Comments
<http://www.rfc-editor.org>
- [419] Turing Award Preisträger
<https://amturing.acm.org/byyear.cfm>

Index

- 386er, 147
- 3Com, 134, 172
- 486SX, 154
- 486er, 151
- 4004, 121
- 8008, 122
- 8080, 125
- 8086, 134
- 8088, 135
- 68000, 134
- 80286, 139
- 80386, 146
- Abakus, 2
- ABRAMSON, NORMAN, 119
- ACE, 70
- Acorn, 142
- ACTON, BRIAN, 172
- ADA, 137
- ADLEMAN, LEO, 107, 132, 141, 158
- Adobe, 118
- Adobe Systems, 140
- Advanced Micro Devices, 114
- Advanced Research Project Agency, 111
- AES, 165
- Agiles Manifest, 167
- AHO, ALFRED V., 44
- AHO, ALFRED, 108
- AIEE, 70
- AIKEN, HOWARD H., 61
- AIX, 153
- ALGOL, 87
- ALLEN, PAUL, 128, 177
- ALOHAAnet, 119
- Alpha RISC, 156
- Altair, 128
- ALTMAN, SAM, 181
- Alto, 124
- Amazon, 170
- AMD, 114, 168
- AMDAHL, GENE, 83, 97
- America Online, 152
- Analytical Engine, 30
- ANDERSON, HARLAN, 86
- ANDREESSEN, MARC, 159, 173
- Android, 168, 172
 - Betriebssystem, 171
- ANSI, 94
- ANSI C, 151
- ANSI C++, 161
- Antikythera, 5
- AOL, 152, 183
- Apache, 160
- Apollo Guidance Computer, 114
- Apple, 130, 143, 155–157, 169, 180, 182
 - iPad, 172
 - iPhone, 170
 - iPod, 166, 180
 - Leopard, 170
 - M1 Prozessor, 178
 - M3 Prozessor, 181
 - M4 Prozessor, 182
 - Apple 1, 175
 - Apple Lisa, 141
 - Apple Macintosh, 142
 - Apple Watch, 175
 - Arbeitsspeicher, 66
 - ARM, 178
 - ARM-Prozessor, 142
 - ARPA, *siehe* Advanced Research Project Agency
 - Arpanet, 111, 153
 - AS/400, 148

- ASCII–Code, 94
ASSANGE, JULIAN, 170
ATANASOFF, JOHN VINCENT, 55
AUGUSTA ADA COUNTESS OF LOVE-LACE, 32

BÜRGI, JOST, 8
BABBLE, CHARLES, 26
BACHMAN, CHARLES, 103
BACKUS, JOHN, 83, 86, 104
BALLMER, STEVE, 164
Barcode, 75, 127
BARDEEN, JOHN, 76
BASIC, 98
Basic, 102
BB84 Protokoll, 145
BCPL, 109
BECHTOLSHEIM, ANDREAS VON, 119
Bell Laboratories, 41
Bell Labs, 54
 Computing Science Research Center, 43
BENNETT, CHARLES, 145
BERNERS-LEE, TIM, 108, 151, 153, 169, 173
BERRY, CLIFFORD, 55
BEZOS, JEFF, 178
Bit, 74, 77
Bitcoin, 163, 172
Bitkom, 164
Bletchley Park, 58, 59, 171
Blockchain, 163, 172
Blu-Ray Disc, 170
Blue-Ray, 172
Bluetooth Special Interest Group, 160
BLUM, MANUEL, 106
BOEHM, BARRY W., 149
BOGGS, DAVID R., 131
BOOLE, GEORGE, 22, 34
BOOLEsche Algebra, 49
BOOLEsche Algebra, 35
Borland, 141
Borland International, 140
BRASSARD, GILLES, 145
BRATTAIN, WALTER H., 76
BRIGGS, HENRY, 9

Briggssche Logarithmen, 10
BROOKS, FREDERICK P., 106
BROOKS, FREDERICK, 180
BSI, 149, 156
BUCHHOLZ, WERNER, 85
BUFFON, GEORGES-LOUIS LECLERC DE, 22
BUFFONSches Nadelproblem, 22
Bundesamt für Sicherheit in der Informationstechnologie, 156
BURKS, ARTHUR W., 69
Burroughs, 110
Bus, 66
BUSH, VANNEVAR, 70
Byte, 85, 98
C, 115
C++, 43
C++, 137
C64, 139
Cache–Speicher, 101
CAD, 98
Capability Maturity Model, 148
CCITT, 144
CD-ROM, 144
CDC, 87, 88
CDC 6600, 98
CeBIT, 147, 177
Centronics, 119
CERF, VINTON, 107, 124, 127, 173
CERT, *siehe* Computer Emergency Response Team
CERT–Bund, 149
Chatbot, 180
ChatGPT, 180, 182
Chinesisches Zimmer, 136
Chip, 91
Chipkarte, 133
CLARK, JIM, 159
Clay Institute, 165
Cluster, 159
COBOL, 88, 138
COCKE, JOHN, 105
CODD, EDGAR F., 104
CODD, EDGAR FRANK, 115
Codierung, 34

- COHEN, FRED, 141
 COLMENAUER, ALAIN, 122
 Colossus, 58, 171
 Comet, 138
 Commodore, 138, 139
 Compaq, 139, 140, 162, 167
 Compatible Time-sharing System, 90
 Compiler, 81
 Computer Aided Design, 98
 Computer Emergency Response Team, 149, 167
 Computervirus, 141
 CONWAY, JOHN HORTON, 120
 COOK, STEPHEN A., 104
 COOK, STEPHEN, 122
 COOPER, MARTIN, 125
 CORBATO, FERNANDO, 90
 CP/M, 132
 CRAY, SEYMOUR, 88, 98, 151
 CRAY 3, 151
 Cray Computer Corporation, 151
 CRAY I, 130
 Cray Research, 123
 CRAY X-MP, 140
 CRAY XP, 147
 CRAY Y-MP C90, 156
 Cray, Seymour, 130
 CROCKER, STEVE, 112
 CTSS, 90
 Cyberspace, 144
 DAEMEN, JOAN, 165
 Dahl, Ole-Johan, 109
 DANTZIG, GEORGE B., 74
 DARPA, 149
 Data Encryption Standard, 131
 Datenbankmodell, relationales, 115
 Datenwege, 66
 DATEV, 102
 dBase II, 137
 DEC, 86, 101, 132, 133, 148, 156, 162
 DEC PDP-8, 101
 DEC PDP-1, 86
 Deep Blue, 161
 DeepSeek, 182
 DELL, MICHAEL, 145
 Dell Computer, 145, 167
 DeMarco, Tom, 134
 DEUTSCH, DAVID, 147
 Difference Engine no. 1, 27
 DIFFIE, WHITFIELD, 108, 130
 Digital Research, 135
 DIJKSTRA, EDSGER, 89, 103, 109, 167
 Diophantische Gleichungen, 50
 Domain Name Service, 141
 DONGARRA, JACK, 109
 DOS, 135
 Dragon Book, 44
 DREYFUS, HUBERT L., 124
 E-Mail, 122
 EAN, 131
 eBay, 160
 Echtzeitverarbeitung, 81
 ECKERT, JOHN P., 63, 75, 80
 Eckert-Mauchly Computer Corporati-
 on, 75
 EDS, 93
 EDSAC, 82
 EDVAC, 65, 80
 Electronic Control Company, 70
 Elemente, 4
 ENGELBART, DOUGLAS, 90, 106, 110,
 174
 ENIAC, 63, 84
 Enigma, 44
 Entscheidungsproblem, 52, 78
 Enzyklopädie Britannica, 173
 ESTRIDGE, DON, 137, 146
 Ethernet, 109, 117, 125, 137, 143, 146
 Ethernet, 100Gigabit, 173
 Euklid, 4
 Euklidischer Algorithmus, 4
 European Article Number, 131
 EVERETT, ROBERT, 80
 Facebook, 169, 175
 Fairchild Semiconductor, 90
 Fairchild Semiconductor Corporation,
 87
 Fall Joint Computer Conference, 110
 Fast Ethernet, 160

- FDE-Zyklus, 85
FEYNMAN, RICHARD, 88, 140
FIBONACCI, 7
File Transfer Protocol, 122
FIPS, 110
Firefox, 169
Firewire, 95
Floppy Disk, 119, 139
FLOWERS, TOMMY, 58
FLOYD, ROBERT W., 104
FLYNN, MICHAEL, J., 102
FORRESTER, JAY, 80
Forrester, Jay, 81
FORTRAN, 83
Friendster, 168
FTP, 122
Fuzzy-Logik, 101

Game Boy, 151
Game of Life, 120
GATES, WILLIAM, 128
Gates, William, 164
GESCHKE, CHARLES, 140
GIBSON, WILLIAM, 144
Gigabit Ethernet, 163
Global Positioning System, 160
GNU Projekt, 169
GNU-Projekt, 141
GÖDEL, KURT, 45, 52
GOLDBERG, ADELE, 123
GOLDSTONE, HERMAN, 65, 69
GOLDWASSER, SHAFI, 108
Google, 163, 174
Google Maps, 169
GOSLING, JAMES, 160
GPS, 160, 172
Graphen, 181
Graphical User Interface, 117
GROVE, ANDY, 109
GROVER, LOV, 44
GSM, 153, 156
GUTENBERG, JOHANNES, 8

Halteproblem, 53
HAMMING, RICHARD W., 77, 103, 162
HARTMANIS, JURIS, 106

Harvard MARK I, 61
HAYES, DENNIS, 133
HEATHERINGTON, DALE, 133
HELLMAN, E. MARTIN, 130
HELLMAN, MARTIN, 108
HENNESSY, JOHN, 108, 137
HEWLETT, WILLIAM, 55
Hewlett Packard, 143, 147, 148, 167
Hewlett-Packard, 55, 123, 172
HILBERT, DAVID, 37, 50
Hilberts zehntes Problem, 50
Hitachi, 144, 167
HOARE, TONY, 104
HOLLERITH, HERMAN, 36
HOPCROFT, JOHN, 105
HOPP, DIETMAR, 122
HOPPER, GRACE, 81, 88, 163
HP-35, 123
HP-65, 126
HTML, *siehe* Hypertext Markup Language, 157
HTTP-Protokoll, 157
https, 159
HUGHES, CHRIS, 169
Hypertext Markup Language, 151

IAS, 82
IBM, 40, 82, 85, 97, 131, 148, 153, 155, 156, 167, 169, 178, 179
IBM 605, 83
IBM PC-XT, 141
IBM System/360, 97
IBM-AT, 143
IBM-PC, 137
ICANN, 165
IEEE, 70, 94, 95, 146, 160, 161
IEEE 1394, 95
IEEE 754, 147
IEEE 802, 135
IEEE 802.11, 161
IEEE Computer Society, 135
IETF, 112
Informationstheorie, 76
Infrared Data Association, 160
INGALS, DAN, 123
Integrierter Schaltkreis, 87

- Intel, 121, 122, 134, 139, 146, 154, 157, 161, 169
 Core Duo, 170
 Internet, 111, 127, 153, 158
 Internet Engineering Task Force, 112
 Internet Explorer, 160
 iOS, 170
 IPv4, 163
 IPv6, 163
 IrDA, 160
 ISDN, 144
 ISO/OSI-Modell, 136
 Itanium, 167
 IVERSON, KENNETH E., 104
- JACQUARD, JOSEPH-MARIE, 26
 Jacquard, Joseph-Marie, 31
 Java, 160
 JOBS, STEVE, 130, 143, 169, 173
- Künstliche Intelligenz, 84, 175
 KAHAN, WILLIAM, 105, 147
 KAHN, PHILLIPE, 140
 KAHN, ROBERT, 107, 127, 173
 KARP, RICHARD M., 105
 KAY, ALAN, 107, 117, 123
 KELLER, MARY KENNETH, 101
 Kemeny, John G., 98
 Kepler, Johannes, 17
 KERNIGHAN, BRIAN W., 115
 KERNIGHAN, BRIAN, 133
 KILBY, JACK, 87
 Kilby, Jack, 165
 KILDALL, GARY, 132
 Kindle, 170
 KNUTH, DONALD E., 92, 103
 KNUTH, DONALD, 133
 Komplexitätstheorie, 122
 KOUM, JAN, 172
 KURTZ, THOMAS E., 98
 Kybernetik, 75
- LAMPORT, LESLIE, 108, 144
 Laptop, 117
 Laserdrucker, 117, 143
 LATEX, 144
- LEIBNIZ, GOTTFRIED WILHELM, 21
 LEO, 82
 LEONARDO VON PISA, 7
 Levono, 169
 Liber Abbaci, 7
 Linear Programming, 74
 LINUX, 153, 155
 Linux, 156, 169
 Linux Cluster, 163
 LISP, 89
 Local Area Network, 133
 Lochkarte, 36
 Logarithmentafel, 8
 Logarithmus
 Charakteristik, 11
 Mantisse, 11
 Lokale Netzwerke, 135
 Lotus 1–2–3, 140
 Lotus Notes, 146
 Lyons, 81
- Macintosh, 143
 Manchester MARK I, 74
 MANIAC, 82
 MARKOV-Prozess, 79
 Matrixspeicher, 81
 MAUCHLY, JOHN W., 63, 75, 80
 Maus, 90
 MACAFEE, JOHN, 178
 McCARTHY, JOHN, 84, 89, 103
 MCCULLOCH, WARREN, 59
 MENGER, KARL, 45
 Meta, 182
 METCALFE, ROBERT, 109, 118, 125, 131, 134
 METROPOLIS Simulationsalgorithmus, 83
 METROPOLIS, NICHOLAS, 82, 83
 METROPOLIS, NIKOLAS, 75
 Micali, Silvio, 108
 Microsoft, 128, 138, 146, 160, 167, 169
 MS-DOS 6.0, 157
 Vista, 170
 Windows 2.0, 148
 Windows NT, 157
 Mikroprogrammierung, 81

- Millenium Probleme, 165
Millenium-Bug, 163
MILNER, ROBIN, 106
MINSKY, MARVIN, 84, 103, 176
MIPS, 155
Mittlere Datentechnik, 82
MMX, 161
MOCKAPETRIS, PAUL, 141
Modem, 183
Monte Carlo Simulation, 26
Monte Carlo Verfahren, 75, 83
MOORE, GORDON, 99, 109, 181
Moore School Lectures, 67
Moore School of Science, 59
MOOREsches Gesetz, 99
MORGENSTERN, OSKAR, 61
MORSE, SAMUEL, 34
MORSE-Code, 34
Mosaic, 158
MOSKOVITZ, DUSTIN, 169
Motorola, 44, 125, 134, 155
mp3, 156
MS Word, 141
MS-DOS, 138
Multics, 90
MUSK, ELON, 180

Nadel-Drucker, 119
Nadelexperiment von BUFFON, 23–25
NADELLA, SATYA, 174
NAPIER, JOHN, 8
National Cash Register Corporation, 36
National Science Foundation, 146
National Security Agency, 82
NAUR, PETER, 107
Ncube, 141
Netflix, 162
Netscape, 159
Neuronale Netze, 59
NEWMAN, MAX, 58
Newton, 156, 157
NEWTON, ISAAC, 20
NEXT Incorp., 147
Nintendo, 151
NIST, 131, 177, 182
Nixdorf, 138

NIXDORF, HEINZ, 82, 147
Nokia Bell Labs, 44
NORTON, PETER, 140
Novell Netware, 143
NOYCE, ROBERT, 109
NSA, 82, 174
Nvidia, 157, 182
Nygaard, Kristen, 109
Nyquist Shannon Theorem, 76

Objektorientierte Programmiersprachen, 117, 137
OLSEN, KENNETH, 86, 132
OMIDYAR, PIERRE, 160
Open Handset Alliance, 171
Open Source, 141, 176
Open System Foundation, 148
Open UNIX Group, 146
Open-Source, 169
OpenAI, 175, 180, 181
Operations Research, 70, 77
Optimierung
 mathematische, 78
Optimierungsmodell, 78
ORACLE, 136
Oracle, 172
OS/2, 154
OUGHTRED, WILLIAM, 17

P-NP-Problem, 166
PA-RISC, 147
PACKARD, DAVID, 55
Pagemaker, 146
PAKE, GEORGE, 116
Pascal, 109, 122
PASCAL, BLAISE, 20
PATTERSON, DAVID A., 108, 137, 148
Pentium, 157
Pentium II, 161
Pentium III, 163
Pentium IV, 165
PentiumPro, 161
PERL, 147
PEROT, H. Ross, 93
Personal Digital Assistant, 157
Philips, 144

- Pipeline Verarbeitung, 85
 PITTS, WALTER, 59
 Plankalkül, 63
 PLATTNER, HASSO, 122
 Pokemon, 151
 POST, EMIL, 70
 POSTsches Korrespondenzproblem, 70
 Post–Quantum Cryptography Standardization, 177
 Post–Quantum Cryptography Standardization Process, 182
 POSTEL, JON, 122, 140
 PostScript, 118, 140
 POUZIN, LOUIS, 173
 PowerPC, 155, 167
 Principia Mathematica, 39
 Public–Key Kryptographie, 130
 QR–Code, 159
 Quanten Kommunikationsnetzwerk, 178
 Quantencomputer, 177, 179
 Quantum Artificial Intelligence Lab, 174
 Quantum Computing, 174
 Quantum Flagship, 177
 Quantum key distribution, 168, 178
 RABIN, MICHAEL C., 104
 RAID, *siehe* Redundant Array of Independent Disks
 RAMAC, 85
 RAND, 70
 Raspberry Pi, 173
 RATLIFF, WAYNE, 137
 Rechenstäbchen, 9
 Redundant Array of Independent Disks, 148
 Relationale Datenbank, 136
 Remington Rand, 81
 Replica, 21
 RFC, 112
 RFC–Editor, 112
 RICHARDS, MARTIN, 109
 RIJMEN, VINCENT, 165
 Rijndael, 165
 RISC, 153
 RISC Prozessor, 137
 RITCHIE, DENNIS, 43, 105, 114, 115, 122, 133, 173
 RITTY, JAMES, 36
 Rivest, Ronald, 132
 ROBERTS, LARRY, 111
 ROUSSEL, PHILLIP, 122
 ROYCE, WINSTON, 115
 RS-232-C, 111
 RS/6000, 153
 RSA–Verschlüsselung, 132
 RUBIN, ANDY, 168
 RUSSELL, BETRAND, 39
 SAA, 148
 SAGE, 95
 SAP, 122, 163
 SAP R/3, 154
 SAT Problem, 122
 SAVERIN, EDUARDO, 169
 SCAROTT, GORDON, 101
 SCHICKARD, WILHELM, 17
 SCHNEIER, BRUCE, 163
 SCHREYER, HELMUT, 54
 SCOTT, DANA, 104, 119
 SEARLE, JOHN R., 136, 183
 Secure Socket Layer, 159
 Shamir, Adi, 132
 SHANNON, CLAUDE, 49, 75, 76, 84, 167
 SHOCKLEY, WILLIAM B., 76
 SHOCKLEY, WILLIAM, 83
 SHOR, PETER W., 44, 159
 Short Message Service, 157
 Sieb des Eratosthenes, 5
 Siemens 2002, 86
 Siemens–Nixdorf, 82
 Silicon Valley, 55, 83
 SILVER, BERNARD, 75
 SIMONYI, CHARLES, 127
 Simple Mail Transfer Protocol, 140
 Simplex Verfahren, 74
 SIMULA, 109
 Simulation, 78
 Simulationsmodell, 78
 Smalltalk, 117, 123
 SMS, 157
 SNA, 127

- SNOWDEN, EDWARD, 174
SoC, 178, 182
Software–Engineering, 109
Sony, 144, 169
Soziales Netzwerk, 168
SPEC, 152
Spieltheorie, 61, 70
Spiralmodell, 149
STALLMAN, RICHARD, 141
Stanford Research Institute, 90, 110
STEARNS, RICHARD E., 106
Stellenwertsystem, 7
STIBITZ, GEORGE, 54
STONEBREAKER, MICHAEL, 108
Strichcode, 127
STRUSTRUP, Bjarne, 43, 137
Strukturgröße, 100
Strukturierte Analyse, 134
SUN, 140, 172
Supercomputer, 178
SuSE, 156
SUTHERLAND, IVAN, 105
System Nixdorf 8870, 126
System on a Chip, 178

Tabulating Machine Company, 37
TAYLOR, ROBERT W., 119
TAYLOR, ROBERT W., 116
TCP, 127, 141
TCP/IP, 141
Telnet, 122
Tetris, 145
Texas Instruments, 87
THEACKER, CHARLES, 107
Thinking Machine, 141
THOMPSON, KEN, 43, 105, 114
TikTok, 177
Tintenstrahldrucker, 131
Token Ring, 143, 146
TOMLINSON, RAY, 122, 176
TORVALDS, LINUS, 153
TRADIC, 83
Transistor, 76
Transmission Control Protocol, 124
Transport Layer Security, 159
Traveling Salesman Problem, 45

Triode, 38
TSCHIRA, KLAUS, 122
TSMC, 178
TSP, 45
TUKEY, JOHN W., 74
Turbo Pascal, 141
TURING, ALAN, 49, 70, 77, 103
TURING Maschine, 49
TURING–Test, 136
Turing Award, 102
Turing Test, 77
Twitter, 170, 180

Ubiquitous computing, 155
UGON, MICHEL, 133
ULAM, STANISLAW, 75, 120
ULLMAN, JEFFREY, 108
Unendscheidbarkeit eines Problems, 73
Unicode, 156
Unidata, 126
Unisys Corporation, 147
UNIVAC, 81, 82
Universal Serial Bus, 161
Universelle TURING Maschine, 53
UNIX, 114, 144
Unvollständigkeitssätze, 45
Unvollständigkeitssatz, 52
USB 2.0, 167

VAX, 132
Very Large Scale Integration, 121
Vigenère Verschlüsselung, 32
Visicalc, 133
Visual Basic, 158
VON NEUMANN Rechnerarchitektur, 53, 65
VON NEUMANN, JOHN, 64, 82, 120

W3C, 162
WALL, LARRY, 147
WARNOCK, JOHN, 118, 140
Warteschlangentheorie, 79
Wasserfall Modell, 115
Wasserfallmodell, 150
WATSON JR., THOMAS, 82
WATSON, THOMAS, 58

WEISER, MARK, 155
WhatsApp, 172, 175
WHEELER, JOHN A., 152
 It from Bit Vortrag, 152
Whirlwind, 80
WHITEHEAD, ALFRED NORTH, 39
WIENER, NORBERT, 75
WIESNER, STEPHEN, 142
WIDGERSON, AVI, 109
Wikileaks, 170
Wikipedia, 167
WILKES, MAURICE V., 103
WILKES, MAURICE, 81, 101
Windows 1.0, 146
Windows 2000, 165
Windows 3.0, 153
Windows 95, 160
Windows 98, 162
Windows XP, 167
WIRTH, NIKLAUS, 105, 109, 119, 122,
 181
WOODLAND, NORMAN JOSEPH, 75
Wordstar, 133
World Wide Web Consortium, 159
WOZNIAK, STEPHEN G., 123, 130

X/Open, 146
Xenix, 135
Xerox, 115
XeroxPARC, 115
XML, 162
Xuanpan, 2

YAO, ANDREW, 107
YouTube, 169

Z1, 54
Z3, 56
ZADEH, LOTFI, 101, 177
Zentralprozessor, 66
ZIMMERMANN, PHIL, 154
ZUCKERBERG, MARK, 169
ZUSE, KONRAD, 54, 63