

---

# Historische Entwicklung der Informationstechnologie

---

oder wie kam der Mensch auf den Computer



MANNHEIM, 10. FEBRUAR 1998  
Prof. Dr. rer. nat. A. Wiedemann  
DHBW Mannheim  
Coblitzallee 1 –9  
68163 Mannheim  
wiedemann@dhbw-mannheim.de

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Historischw Entwicklung</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>Die moderne Entwicklung der EDV</b>	<b>37</b>
2.1	Zeitalter der Rechner der 0. Generation . . . . .	38
2.2	Zeitalter der Rechner der 1. Generation . . . . .	58
2.3	Zeitalter der Rechner der 2. Generation . . . . .	60
2.4	Zeitalter der Rechner der 3. Generation . . . . .	74
<b>3</b>	<b>Die Jahre 1971 bis heute</b>	<b>91</b>
<b>A</b>	<b>Computergenerationen</b>	<b>133</b>
<b>B</b>	<b>Zeittafel</b>	<b>135</b>
<b>C</b>	<b>Akronyme</b>	<b>139</b>
	<b>Literaturverzeichnis</b>	<b>147</b>



# 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 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 [235, 243, 160, 183, 130, 41, 108, 129, 124, 52, 136, 102, 132].

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. 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 [131]. Siehe auch die Monographie von VIKTOR KATZ [141].

**ca. 1000 v. Chr.**

In China wird der **Abakus** erfunden.<sup>1</sup> Der Abakus besteht aus einer Holztafel

---

<sup>1</sup>Das 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 *jétons* — hin- und herschieben konnte, um Zahlen

..... 1000 100 10 1

Die Abbildung [1.1] 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 die 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 hinzuaddiert 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 7171 sind.

darzustellen. Dieses Rechengerät wurde bis in das 18. Jahrhundert in Europa verwendet [74].

<http://home.t-online.de/home/benjamin.wrightson/abakus/abakus.html>

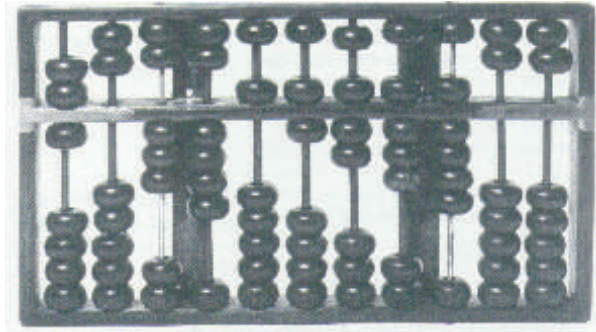


Abbildung 1.2: Ein Original Abakus.

### 250 – 230 v. Chr.

In Alexandria wird das *Sieb des Eratosthenes* entwickelt<sup>3</sup> um Primzahlen zu bestimmen.<sup>4</sup>

### ca. 70 v. Chr.

Der Mechanismus von Antikythera ist ein antikes, mit einer späteren Astronomischen Uhr vergleichbares Gerät.<sup>5</sup> 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 unvollständig 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.

<sup>3</sup>Siehe z.B. M. DU SAUTOY, [210].

<sup>4</sup>ERATOSTHENES gelang es unter anderem auch, ein geometrisches Verfahren zu entwickeln, um den Umfang der Erde zu berechnen (siehe z.B. [222, pp.11-16]).

<sup>5</sup>Siehe PAUL COCKSHOT *et al.* [49] oder LUCIO RUSSO, [207], Kap. 4.8.

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 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 wahrscheinliche 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 Mondfinsternissen und
- ein kleiner Olympiade-Kalender mit Jahresskala im Olympiade genannten vierjährigen Zeitraum (beschriftet mit den Orten der an ihnen periodisch stattfindenden Panhellenischen Spiele).



Abbildung 1.3: Der Original Mechanismus von Antikythera.

ca. 20 v. Chr.



Abbildung 1.4: Ein Nachbau des Mechanismus von Antikythera.

ZENO VON SIDON schreibt das Werk **Elemente**. Dieses Werk umfasst 13 Bücher, die eine Sammlung des Schaffens von **Euklid** darstellen [85]. Hier findet auch der *Euklidische Algorithmus* zum ersten Mal Erwähnung. Dies ist ein *systematisches Verfahren* zur Bestimmung des größten gemeinsamen Teilers zweier Zahlen.<sup>6</sup>

**ca. 800 n. Chr.**

Auf dem indischen Subkontinent werden Zahlensysteme und Zahlensymbole (Ziffern) entwickelt. Erstmals findet auch ein Symbol "0", für die Null Verwendung.<sup>7</sup> Diese Neuerungen gelangten über Vorderasien nach Italien, wo um 1200 n. Chr. **Leonardo von Pisa** — auch bekannt als **Fibonacci** (siehe [151]) — das uns heute vertraute arabische Zahlensystem einführte.<sup>8</sup> Richtungsweisend ist das Buch mit dem Titel

*Liber Abbaci*,

<sup>6</sup>Die Bedeutung EUKLIDS Elemente für den abendländischen Kulturkreis und für die Entwicklung der Mathematik wird sehr detailliert in der Monographie von MORRIS KLINE [146], Vol. I dargestellt.

<sup>7</sup>Eine ausführliche Darstellung der Geschichte der Null findet man in [140]; siehe auch [132] und [94].

<sup>8</sup>Siehe dazu *e.g.* [189] oder [146], Vol. I. Eine sehr empfehlenswerte Darstellung des Einflusses von LEONARDO DA PISA für die Entwicklung des Zahlensystems findet man in dem Buch von DEVLIN [74]. Siehe auch die ausführliche Darstellung von HEINZ LÜNEBURG [159].



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 Ursprung unseres wohlvertrauten 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.

	CCC	L	X	IV
	CC	L	XXX	VIII
	<hr/>			
364	CCCCC	LL	XXXX	X II
+ 288				
<hr/>				
652	D	C	XXXXX	II
<hr/>				
	D	C	L	II
	<hr/>			

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.

## 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 beizeiten zu veröffentlichen, daher fällt diese Erfindung dem Schotten **John Napier** (1550 – 1617) (Edinburgh) zu.<sup>9</sup> Dieser arbeitete 30 Jahre an der Veröffentlichung seiner siebenstelligen Logarithmentafel, die im Jahre 1614 erschien.



Abbildung 1.5: Lord JOHN NAPIER OF MERCHISTON, 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*.

<sup>9</sup>NAPIERS Arbeiten über Logarithmen sind in der Veröffentlichung *Constructio mirifici logarithmorum canonis* zusammengefasst, das in englischer Sprache unter dem Titel *The Construction of the wonderful Canon of Logarithms* erschien [176]. Siehe auch die Bücher von J. HAVIL, [115] sowie Hairer und WANNER,[109].

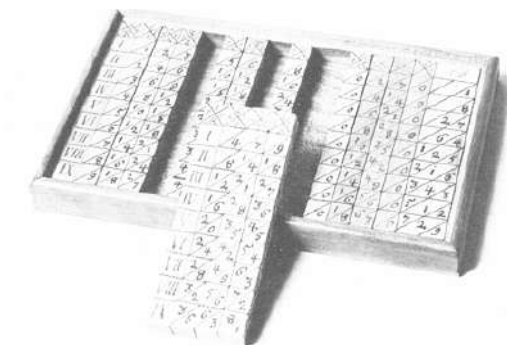


Abbildung 1.6: Napiersche Rechenstäbchen.

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*, [115].

### 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

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

und

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

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:

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

N											Proportional Parts								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
10	0090	0043	0086	0128	0170	0212	0255	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	23	25
16	2041	2068	2095	2122	2148	2175	2201	2227	2253	2279	3	6	8	11	13	16	18	21	24
17	2304	2330	2355	2380	2405	2430	2455	2480	2504	2529	2	6	7	10	12	15	17	20	22
18	2553	2577	2601	2625	2648	2672	2696	2718	2742	2765	2	6	7	9	12	14	16	19	21
19	2788	2810	2833	2856	2878	2900	2923	2945	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	16	17
23	3617	3636	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	4502	4518	4533	4548	4564	4579	4594	4609	2	3	5	6	8	9	11	12	14
29	4624	4639	4654	4669	4683	4698	4713	4728	4742	4757	1	3	4	6	7	9	10	12	13
30	4771	4786	4800	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	5453	5465	5478	5490	5502	5514	5527	5539	5551	1	2	4	5	6	7	9	10	11
36	5563	5575	5587	5599	5611	5623	5635	5647	5658	5670	1	2	4	5	6	7	8	10	11
37	5682	5694	5705	5717	5729	5740	5752	5763	5775	5786	1	2	3	5	6	7	8	9	10
38	5798	5809	5821	5832	5843	5855	5866	5877	5888	5899	1	2	3	5	6	7	8	9	10
39	5911	5922	5933	5944	5955	5966	5977	5988	5999	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	6580	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	8	9
47	6721	6730	6739	6749	6758	6767	6776	6785	6794	6803	1	2	3	4	5	6	7	8	9
48	6812	6821	6830	6839	6848	6857	6866	6875	6884	6893	1	2	3	4	5	6	7	8	9
49	6902	6911	6920	6928	6937	6946	6955	6964	6972	6981	1	2	3	4	5	6	7	8	9
50	6990	6998	7007	7016	7024	7033	7042	7050	7059	7067	1	2	3	4	5	6	7	8	9
51	7076	7084	7093	7101	7110	7118	7126	7135	7143	7152	1	2	3	4	5	6	7	8	9
52	7160	7168	7177	7185	7193	7202	7210	7218	7226	7235	1	2	3	4	5	6	7	8	9
53	7243	7251	7259	7267	7275	7284	7292	7300	7308	7316	1	2	3	4	5	6	7	8	9
54	7324	7332	7340	7348	7356	7364	7372	7380	7388	7396	1	2	3	4	5	6	7	8	9
N	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	1	2	3	4	5	6	7	8	9

Abbildung 1.7: Logarithmentafel, Teil 1

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	3199	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	3	4	5	6	7		
.52	3311	3319	3327	3334	3342	3350	3357	3365	3373	3381	1	2	3	4	5	6	7		
.53	3398	3396	3404	3412	3420	3428	3436	3443	3451	3459	1	2	3	4	5	6	7		
.54	3467	3475	3483	3491	3499	3508	3516	3524	3532	3540	1	2	3	4	5	6	7		
.55	3548	3556	3565	3573	3581	3589	3597	3606	3614	3622	1	2	3	4	5	6	7		
.56	3631	3639	3648	3656	3664	3673	3681	3690	3698	3707	1	2	3	4	5	6	7		
.57	3715	3724	3733	3741	3750	3758	3767	3776	3784	3793	1	2	3	4	5	6	7		
.58	3802	3811	3819	3828	3837	3846	3855	3864	3873	3882	1	2	3	4	5	6	7		
.59	3890	3899	3908	3917	3926	3936	3945	3954	3963	3972	1	2	3	4	5	6	7		
.60	3981	3990	3999	4009	4018	4027	4036	4046	4055	4064	1	2	3	4	5	6	7		
.61	4074	4083	4093	4102	4111	4121	4130	4140	4150	4159	1	2	3	4	5	6	7		
.62	4169	4178	4188	4198	4207	4217	4227	4236	4246	4256	1	2	3	4	5	6	7		
.63	4266	4276	4285	4295	4305	4315	4325	4335	4345	4355	1	2	3	4	5	6	7		
.64	4365	4375	4385	4395	4406	4416	4426	4436	4446	4457	1	2	3	4	5	6	7		
.65	4467	4477	4487	4498	4508	4519	4529	4539	4550	4560	1	2	3	4	5	6	7		
.66	4571	4581	4592	4603	4613	4624	4634	4645	4656	4667	1	2	3	4	5	6	7		
.67	4677	4688	4699	4710	4721	4732	4743	4753	4764	4775	1	2	3	4	5	6	7		
.68	4786	4797	4808	4819	4831	4842	4853	4864	4875	4887	1	2	3	4	5	6	7		
.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	5383	5395	5408	5420	5433	5445	5458	5470	5483	1	3	4	5	6	8	9	10	11
.74	5496	5508	5521	5534	5546	5559	5572	5585	5598	5610	1	3	4	5	6	8	9	10	12
.75	5623	5636	5649	5662	5675	5689	5702	5715	5728	5741	1	3	4	5	7	8	9	10	12
.76	5754	5768	5781	5794	5808	5821	5834	5848	5861	5875	1	3	4	5	7	8	9	11	12
.77	5888	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	7096	7112	7129	7145	7161	7178	7194	7211	7228	2	3	5	7	8	10	12	13	15
.86	7244	7261	7278	7296	7311	7328	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	7998	8017	8035	8054	8072	8091	8110	2	4	6	7	9	11	13	15	17
.91	8128	8147	8166	8185	8204	8222	8241	8260	8279	8299	2	4	6	8	9	11	13	15	17
.92	8318	8337	8356	8375	8395	8414	8433	8453	8472	8492	2	4	6	8	10	12	14	16	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	8872	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	9333	9354	9376	9397	9419	9441	9463	9484	9506	9528	2	4	7	9	11	13	15	17	20
.98	9550	9572	9594	9616	9638	9661	9683	9705	9727	9750	2	4	7	9	11	13	16	18	20
.99	9772	9795	9817	9840	9863	9886	9908	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 1.8: Logarithmentafel, Teil 2

Wir erhalten nun die Werte der Logarithmen aus der Tabelle [1.7]. 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* 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.

$$23.67 \longrightarrow \text{Zeile 23} \longrightarrow \text{Spalte 6} \implies 3729$$

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.

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

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 [1.8] — 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 [1.8] 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 man<sup>10</sup> Tabellen der Form<sup>11</sup> [1.7] und [1.8]?

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

---

<sup>10</sup>Ohne Taschenrechner, den gab's damals noch nicht.

<sup>11</sup>Eine lesbare Einführung in diese Thematik ist der Artikel von THOMAS SONAR [226].

$n$	$1.01^n$	$n$	$1.01^n$	$n$	$1.01^n$
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.<sup>12</sup> 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 rechten 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 Geradengleichung

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

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

Damit ergibt sich

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

Wir benötigen somit noch den 10er Logarithmus von 1.01.

---

<sup>12</sup>Dies 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:

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

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 [1.9]), 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.

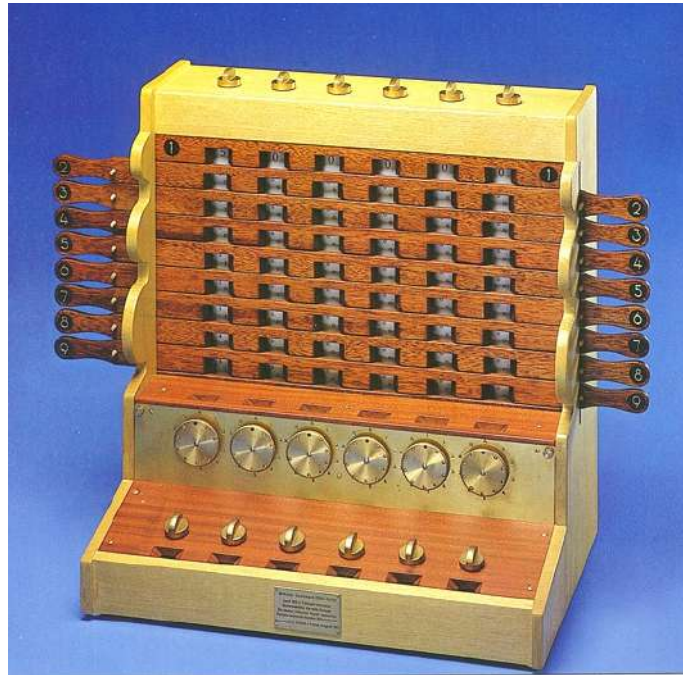


Abbildung 1.9: Ein voll funktionsfähiger Nachbau der Rechenmaschine von WILHELM SCHICKARD, die im Heinz-Nixdorf Museum in Paderborn zu bewundern ist.

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



Abbildung 1.10: Wilhelm Schickard (1592 - 1635)

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 aufmerksam gemacht und die Grundlagen zur Rekonstruktion durch den Tübinger Professor Dr. Bruno Baron von Freytag Löringhotf 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 erlebtest, 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.

**1642**

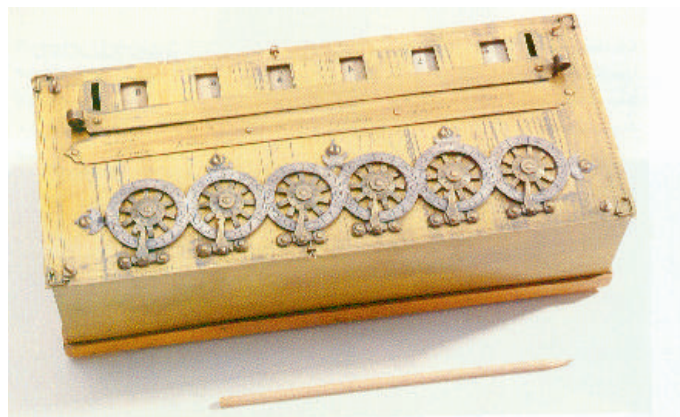


Abbildung 1.11: Die Rechenmaschine von BLAISE PASCAL.

Der Franzose **Blaise Pascal** stellt in Paris eine Additionsmaschine vor (siehe Abbildung [1.11]), 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-Modell vor, eine Rechenmaschine, die alle vier Grundrechenoperationen mit einem zwölfstelligen Anzeigewerk durchführen konnte.

#### 1679

GOTTFRIED WILHELM LEIBNIZ veröffentlicht eine Arbeit mit dem Titel

#### *De Progressione Dyadica*

in welcher die Zweiwertigkeit von Zahlen untersucht wird. Dieses System ist heute unter dem Begriff Dual- bzw. Binärsystem bekannt. Diese Arbeiten gerieten bald wieder in Vergessenheit und wurden erst etwa 170 Jahre später von GEORGE BOOLE aufgegriffen und weiterentwickelt. Siehe dazu [68, pp.3–



Abbildung 1.12: GOTTFRIED WILHELM LEIBNIZ.

20] oder [147].

### 1733

Der französische Naturforscher GEORGES-LOUIS LECLERC DE BUFFON stellt vor der Pariser Akademie der Wissenschaften ein Experiment vor, mit dem die Kreiszahl  $\pi$  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  $\pi$  bestimmen kann.

Die Methodik zur Lösung des BUFFONSche Nadelproblems ist eine der ersten numerischen Methoden, die auf stochastischen Gesetzmäßigkeiten beruht. Heute sind solche Verfahren unter der Bezeichnung **Monte-Carlo-Simulation** bekannt und bilden eine der zentralen Methoden des Operations Researchs.<sup>13</sup>

### 1805

<sup>13</sup>Eine 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 [218].

Der Franzose **Joseph Marie Jacquard** (1752 – 1834) stellt in Lyon einen Webstuhl vor (siehe Abbildung [1.13]), 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.

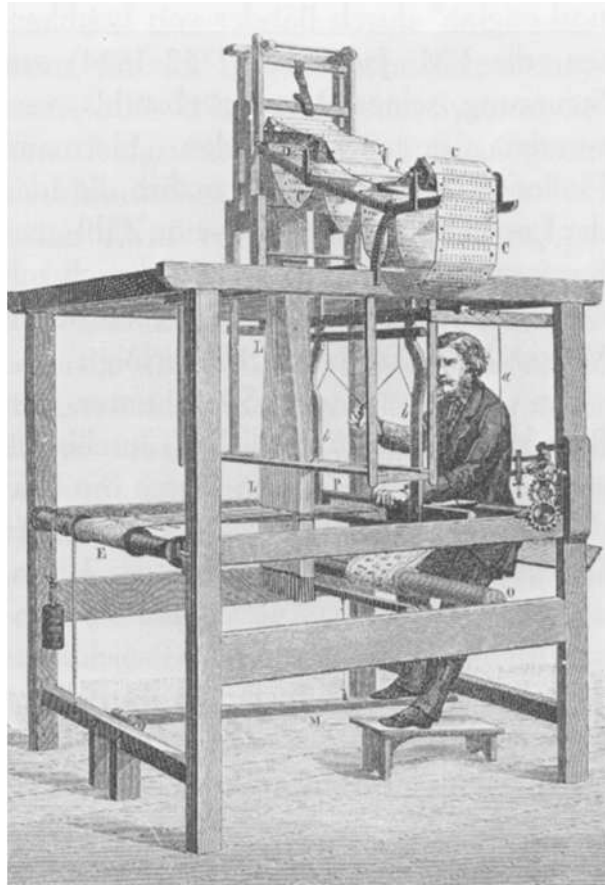


Abbildung 1.13: Ein JACQUARD Webstuhl.

**1822**

Der englische Mathematiker **Charles Babbage** (1791 – 1871) [129] stellt in Cambridge sein erstes Arbeitsmodell einer Maschine vor, die er

### Difference Engine no.1

nennt<sup>14</sup> Diese Maschine entwickelte BABBAGE aus der Notwendigkeit heraus, fehlerbehaftete (von Hand berechnete) Logarithmentafeln auf Korrektheit zu überprüfen. Das Konzept der Difference Engine no. 1 wurde von ihm weiterentwickelt zu einer Difference Engine no. 2 (siehe Abbildung [1.15]), die in der Lage war, sieben Differenzen à 20 Dezimalstellen zu berechnen und darzustellen<sup>15</sup>.

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.

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 Lucasischer Professor für Mathematik in Cambridge, das ist der Lehrstuhl, den ISAAC NEWTON einst innehatte.<sup>16</sup> 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, insbesondere zur Herstellung genauer 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 Na-

<sup>14</sup>Siehe auch die Online Ausstellung des London Science Museum unter:

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

Im Kapitel 4 des Buchs *Information* von JAMES GLEICK [99] findet man Details über CHARLES BABBAGE.

<sup>15</sup>Zur Funktionsweise einer Differenzenmaschine siehe den Artikel [229]. Siehe auch Kapitel 4 in dem Buch von JAMES GLEICK, [99]

<sup>16</sup>Bis vor kurzem (genauer 2009) war STEPHEN HAWKING Inhaber dieses prestigeträchtigen Lehrstuhls, zur Zeit (2010) ist es der englische Mathematiker ROGER PENROSE.



$x$	$x^2 + x + 41$	$d_1$	$d_2$
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.

turphilosophen bemüht, Tabellen zu erstellen. Entweder geschah dies mit Hilfe mathematischer Berechnungen, wodurch tabellarische Werke für Multiplikationen, Logarithmen, trigonometrische Funktionen etc. erstellt wurden<sup>17</sup> 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 Multiplikation 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 be-

<sup>17</sup>Es sei angemerkt, damals gab es noch keine Taschenrechner!

liebig 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 1.14: CHARLES BABBAGE

**1833**

Das gleiche Schicksal ereilte die

### **Analytical Engine**

die erste digitale Rechenmaschine, die von CHARLES BABBAGE im Jahre 1833 konzipiert wurde. Die Analytische Maschine sollte die Schwächen der Differenzenmaschine 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 heu-

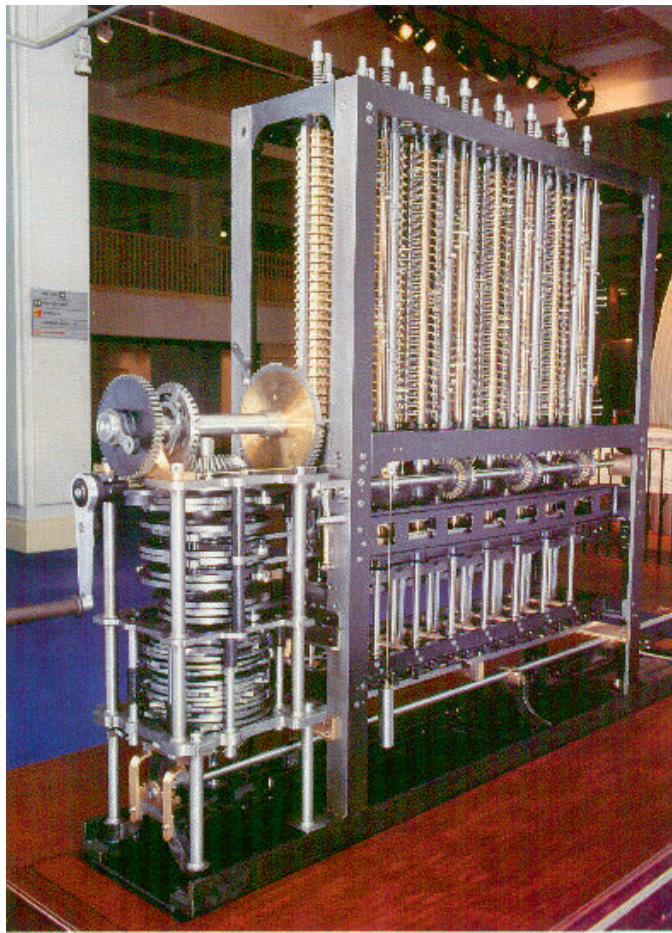


Abbildung 1.15: Eine Rekonstruktion der Difference Engine No. 2.

tigen Computern vorfindet. Zudem verfolgte BABBAGE sehr ehrgeizige Pläne, seine Rechenmaschine sollte aus folgenden Bestandteilen aufgebaut sein:

- Eine Einheit, die für die Durchführung der arithmetischen Rechenoperationen zuständig ist, BABBAGE nannte diese Einheit *the mill*.
- Eine 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.

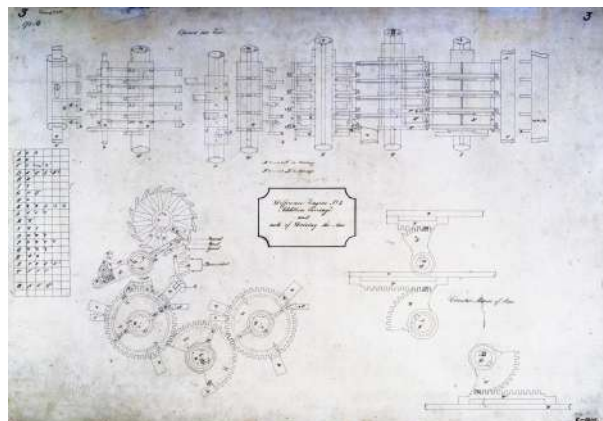


Abbildung 1.16: Pläne der Analytical Engine I

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 [229]. Dieser originalgetreue Nachbau bestätigt auf eindrucksvolle Weise die Genialität BABBAGES, der zu Lebzeiten als "crackpot" (dies bedeutet soviel wie Narr) angesehen war.<sup>18</sup>

Weiterhin machte sich CHARLES BABBAGE einen Namen als Kryptoanalytiker, da es ihm im Jahre 1854 als ersten gelang, die sogenannte *Vigenère-Verschlüsselung* zu knacken [221].

### 1835

Eine Frau, die BABBAGES Genie bereits frühzeitig erkannte [143], war **Augu-**

<sup>18</sup>Im 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.

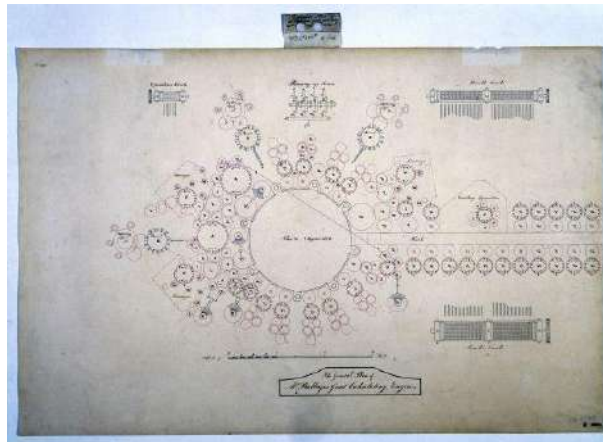


Abbildung 1.17: Pläne der Analytical Engine II

sta **Ada Countess of Lovelace** (1815 – 1852), die im Jahre 1840 das erste Programm für die Analytical Engine schrieb.<sup>19</sup> Dieses Programm sollte die BERNOULLISchen Zahlen berechnen.<sup>20</sup> Eine in den späten siebzigern Jahren dieses Jahrhunderts entwickelte Programmiersprache namens ADA ist nach dieser Countess benannt.

<sup>19</sup>Siehe dazu auch die Darstellung in dem Buch von JAMES GLEICK [99], Kapitel 4.

<sup>20</sup>Zur 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 [141], Chap. 25.5.





Abbildung 1.18: Augusta Ada Countess of Lovelace.

### 1843

Im Jahre 1843 bewilligte der amerikanische Kongress Gelder zum Bau einer 60 km langen Telegrafenteileitung 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**.

1847

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

*Mathematical Analysis of Logic*

(siehe auch [29],[132], insbesondere [68] und [147]), 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 [107].

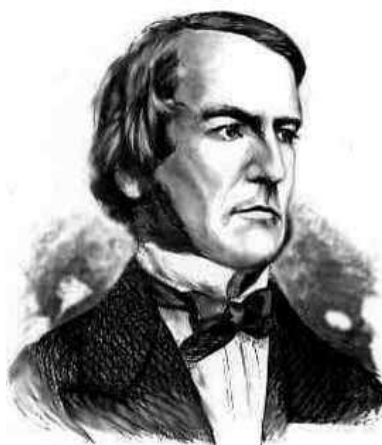


Abbildung 1.19: GEORGE BOOLE (1815 – 1864).

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.<sup>21</sup>

<sup>21</sup>Zur Geschichte der Transatlantik Kommunikation siehe das Buch von ARTHUR C. CLARKE





Abbildung 1.20: HERMANN HOLLERITH (1860 – 1929).

### 1879

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.<sup>22</sup> 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 [241, p. 46]. JAMES RITTY erhielt 1883 zusammen mit JOHN BIRCH das Patent auf Registrierkassen. Seine neu gegründete Firma zur Herstellung von Registrierkassen wurde 1884 von JOHN PATTERSON gekauft, der dieses Unternehmen in **National Cash Register Corporation**, kurz, **NCR** umfirmierte.<sup>23</sup>

### 1890

Einen Meilenstein [9], [102] in der erfolgreichen Anwendung der Lochkartentechnik 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 deutscher<sup>24</sup> Einwanderer — sich eine Methode auszu-

[48].

<sup>22</sup>Dieses Geräusch kennt man auch von Pink Floyds *Money*.

<sup>23</sup>Siehe auch CORTADA, [64], Chap. 4.

<sup>24</sup>Genauer: pfälzischer

denken, 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. Dabei waren die Karten selbst elektrische Nichtleiter, 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.<sup>25</sup>

HOLLERITHS Verfahren war ein durchschlagender Erfolg [132, 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 selbständig machte und die *Tabulating Machine Company* gründete.

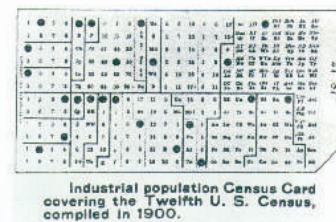


Abbildung 1.21: Eine HOLLERITH Lochkarte.

## 1901

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

## 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-

<sup>25</sup>Eine detaillierte Darstellung der Entwicklung der Lochkartentechnik findet man in GRIER [105]. Eine sehr detaillierte Darstellung des Vitas von HERMAN HOLLERITH findet man in der sehr lesenswerten Biographie von GEOFFREY AUSTRIAN [12].



Abbildung 1.22: Eine HOLLERITH Lochkartenstanz Maschine.

schichtträger in der 1970er Jahren der wichtigste Datenspeicher.

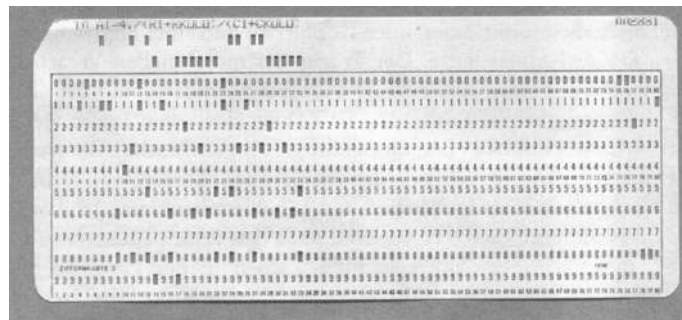


Abbildung 1.23: Die IBM Standard Lochkarte, um etwa 1960.

Die Lochkarten hatten ein Standardformat, ab 1928 verwendete IBM ein Format von  $187 \times 86$  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 [1.24] 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 [1.25] stehen die Stanzungen für die Zahlen 1 (erste Spalte), 2 (zweite Spalte) und 3 (dritte Spalte).

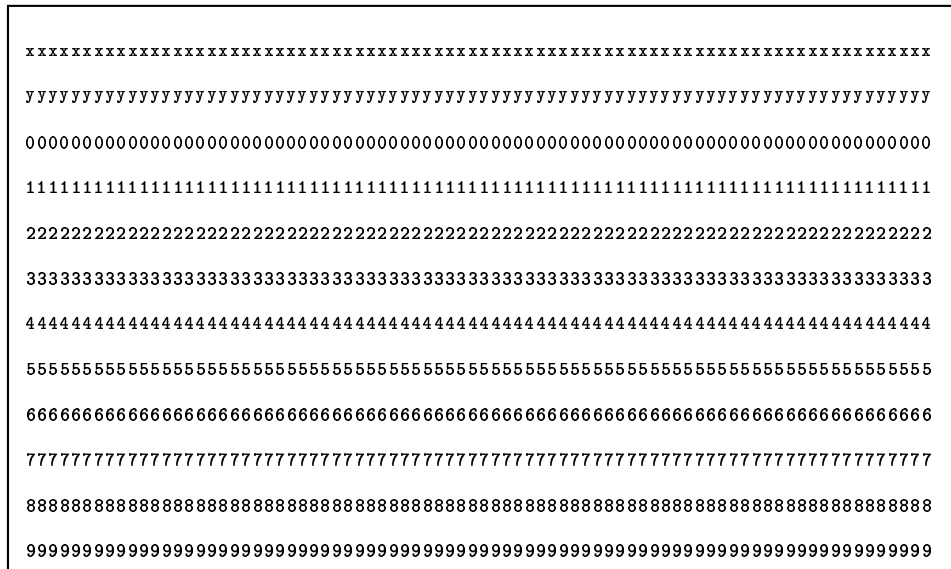


Abbildung 1.24: Schema einer IBM Lochkarte mit 80 Spalten und 12 Zeilen.

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. Sitz des Labs war zunächst New York City, später wurden viele Abteilungen nach New Jersey ausgelagert. In den Bell Labs wurden viele Entwicklungen durchgeführt, die unter anderem für die Informationstechnologie richtungsweisend waren. Hier einige Entwicklungen:<sup>26</sup>

<sup>26</sup>Eine detaillierte Darstellung der Geschichte der Bell Labs findet man in dem Buch von JON GERTNER, [97].

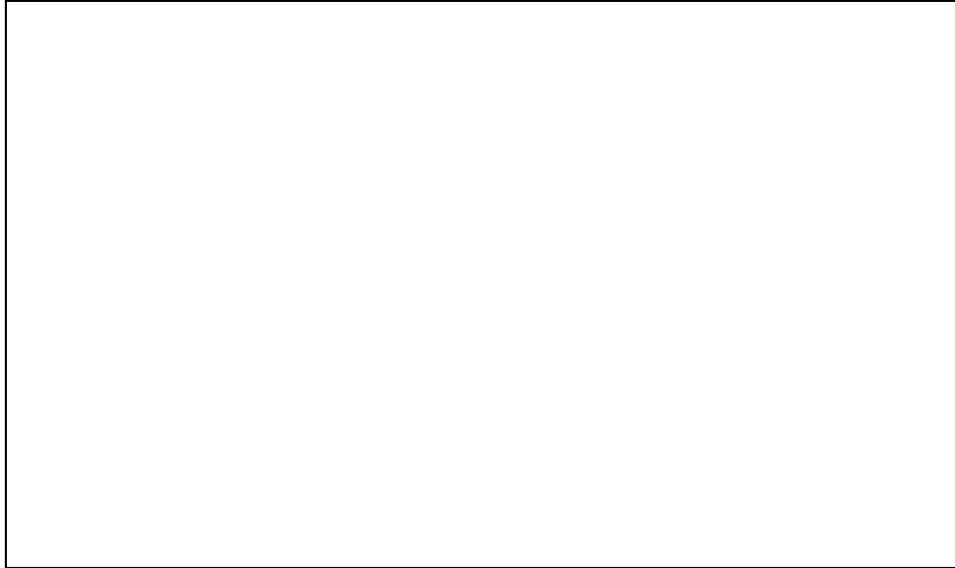


Abbildung 1.25: Codierung der Zahlen 1,2 und 3 mit Lochkarten.

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, 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 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.

Außerdem waren die Bell Labs der Ursprung des Unix-Betriebssystems und der Programmiersprache C, 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.

## 1928

Die Brüder PAUL und JOSEPH GALVIN gründen in Chicago die *Galvin Manufacturing Corporation*, die im Jahre 1930 in **Motorola**<sup>27</sup> umfirmiert wurde [181, Chap. 7.4].

---

<sup>27</sup>Siehe auch die URL:

<http://www.motorola.com>.

Der polnische Chiffrierdienst fing am 15. Juli 1928 erstmals einen mit der Enigma Chiffriermaschine verschlüsselten Funkspruch ab [14, p. 110].

## 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 Transistortechnologie 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





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.

in 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 [102].

## 2.1 Zeitalter der Rechner der 0. Generation

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

## 1937

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)<sup>1</sup>. 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.<sup>2</sup>

## 1936 – 1937

Der englische Logiker und Mathematiker Alan Turing (1912 – 1954) veröffentlicht in Cambridge eine Abhandlung mit dem Titel ([233])

*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.<sup>3</sup> 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 [128], [187], [32], [127],[42], [124], [75], [45] und [188].

Bis in die späten zwanziger Jahren dieses 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 gerade Zahl ist die Summe zweier Primzahlen<sup>4</sup> (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 Mathematikergemeinde dieser Zeit war aufgerufen, an diesen Problemen zu arbeiten. Für die Entwicklung der Informatik nicht zu unterschätzen ist das Problem Nummer

<sup>1</sup>Siehe SHANNONS Master Thesis: *A Symbolic Analysis of Relay and Switching Circuits*, reprinted in [224], pp 471 – 495.

<sup>2</sup>Siehe [97], p. 118.

<sup>3</sup>Eine sehr detaillierte Analyse von TURINGs Arbeit wird in dem Buch von PETZOLD [191] 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 [60], chapter 1.

<sup>4</sup>Diese Aussage nennt man in erlauchten Mathematikerkreisen die *Goldbachsche Vermutung*.



Abbildung 2.2: Alan Turing (1912 – 1954)

zehn: ("Hilberts zehntes Problem") ([122]).

*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 (siehe z.B. [187, 214]), insbesondere 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.

HILBERT forderte in seiner Rede nicht weniger als ein allgemeines *algorithmisches* Verfahren<sup>5</sup> für die Lösung mathematischer Fragen, oder anders formuliert, eine Antwort auf die Frage, ob ein solches algorithmisches Verfahren überhaupt existiert ([122]).

---

<sup>5</sup>Zu bemerken ist hier, dass der formale Begriff eines Algorithmus erst später in der Mathematik gegriffen hat. Siehe auch [44].

Dies war bis 1931 der Stand der Dinge, bis der österreichische Logiker und Mathematiker KURT GÖDEL<sup>6</sup> (1906 - 1978) bewies [101], dass kein endliches System von Axiomen und Schlußregeln ausreicht, alle mathematischen Eigenschaften der natürlichen Zahlen vollständig zu beschreiben (*Gödelscher Unvollständigkeitssatz*).<sup>7</sup>

Im Jahre 1935 arbeitete ALAN TURING an HILBERTS Entscheidungsproblem. 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.<sup>8</sup>

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

<sup>6</sup>In der URL: [http://comptons2.aol.com/encyclopedia/ARTICLES/01915\\_A](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.

<sup>7</sup>Zu diesem Themenkreis sind die beiden Bücher von DIRK HOFFMANN [125, 126] sehr gute Einführungen.

<sup>8</sup>Siehe auch TURINGs Artikel *Solvable and Unsolvable Problems* (1954), in [60].

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 Turingmaschine als hinreichend einfache Zeichenkette, so kann man eine sogenannte **universelle Turingmaschine** – selbst eine TURING-Maschine – konstruieren, welche eine solche Kodierung einer beliebigen Turingmaschine 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)..

**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 programm-gesteuerten Rechenautomaten auf der Basis von zweiwertigen Schaltelementen (siehe [3, 203] und [204]). Die von ZUSE und SCHREYER entwickelte Z1 ent-

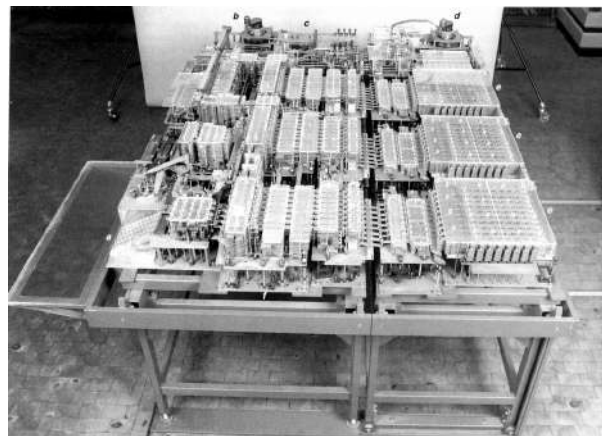


Abbildung 2.4: Nachbau der Z1.

sprach in ihrem Aufbau der Analytical Machine von BABBAGE, ohne dass ZUSE über die Arbeiten von BABBAGE Kenntnis hatte. Darüber 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.



Abbildung 2.5: GEORGE STIBITZ mit dem K-Modell.

### 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

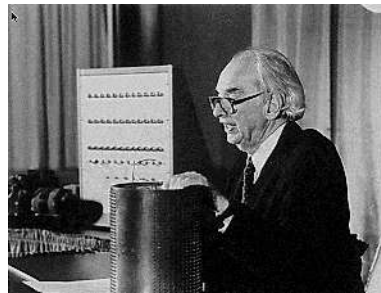


Abbildung 2.6: JOHN VINCENT ATANASOFF.

Disney Studios, die für ihren Trickfilm *Fantasia* acht Tonfrequenzgeneratoren erwarben.

### 1940

Im Rahmen einer Vorführung für die *American Mathematical Society* auf ihrer Konferenz am Dartmouth College am 11. September 1940 verwendete GEORGE STIBITZ einen Fernschreiber,<sup>9</sup> 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 konstruieren die Z3, den ersten voll-funktionsfähigen 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.

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

---

<sup>9</sup>Siehe [55], pp. 105 und [209], p. 3.



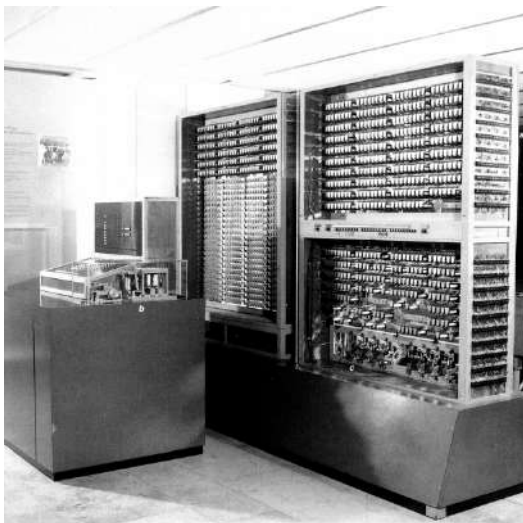


Abbildung 2.7: Nachbau der Z3 im Deutschen Museum, München.

### 1943

Unter Federführung des Mathematikers **Max Newman** wird in England die COLOSSUS fertiggestellt und im November 1943 in Betrieb genommen (siehe Abbildung [2.8]).

Die 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<sup>10</sup>. Die COLOSSUS diente dem britischen GC&CS zur Dechiffrierung von Nachrichten der deutschen Wehrmacht, die mit dem Lorenz-Schreiber verschlüsselt waren. ([61]). 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.

Obwohl die COLOSSUS frei programmierbar war, war sie dennoch nicht universell nutzbar, da sie 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 [124, 144, 137, 221, 22], insbesondere [139] und [215].

<sup>10</sup>Siehe auch: <http://www.bletchleypark.org.uk>

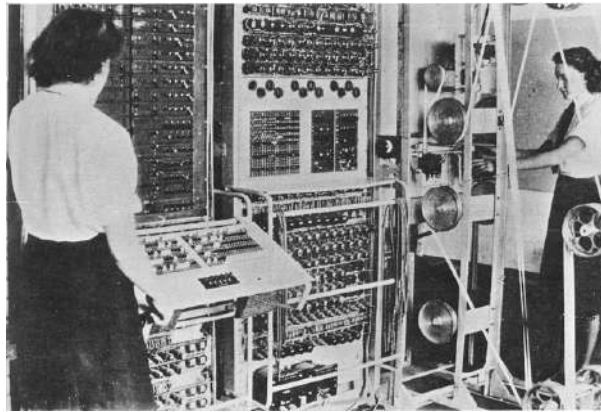


Abbildung 2.8: Ansicht der COLOSSUS-Maschine, des ersten programmierbaren Computers, die in Bletchley Park ab 1943 zur Dechiffrierung des im Funkfernsehbilverkehrs verwendeten 'Geheimschreibers' eingesetzt wurde.

Die amerikanischen Biomathematiker WARREN MCCULLOCH und WALTER PITTS entwerfen die ersten künstlichen neuronalen Netze ([165]).

Am 5. Juni 1943 wird ein Vertrag unterschrieben zwischen der Moore School of Science der University of Pennsylvania und dem Aberdeen Proving Ground, einer Militäreinrichtung. Vertragsinhalt war der Bau eines elektronischen Computers, der ENIAC, der etwa drei Jahre später in Betrieb genommen wurde.



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

#### 1944

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.<sup>11</sup>

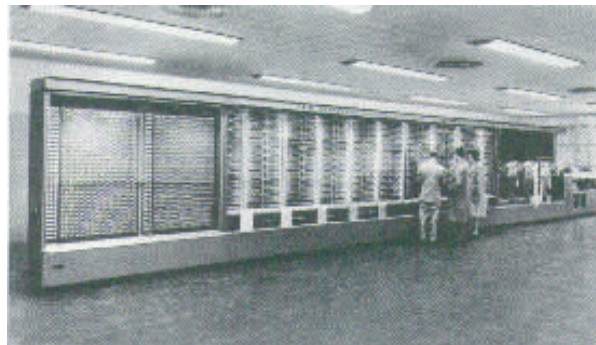


Abbildung 2.10: Die Harvard MARK I.

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

<sup>11</sup>Siehe auch den URL <http://www.ifi.unizh.ch/groups/se/people/hoyle/Lecture>.

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 vollautomatisch und konnte daher lange Berechnungen komplett ohne menschliches Eingreifen durchführen. Die technischen Daten dieser Anla-



Abbildung 2.11: Grace Hopper in späten Jahren.

ge 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 Schießtafeln für neuentwickelte 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 PRESPEER 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.<sup>12</sup> 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

---

<sup>12</sup>Siehe hierzu die beiden Beiträge von PRESPEER ECKERT und JOHN MAUCHLY in [172] pp. 515 – 539 bzw. pp. 541 – 550.

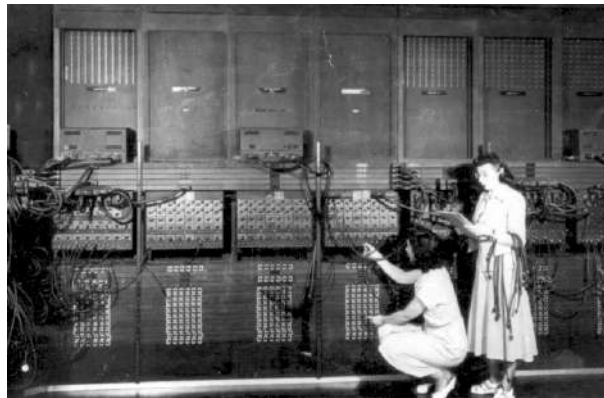


Abbildung 2.12: Der ENIAC Rechner.

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  $140\text{ m}^2$  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 Leitbahnrechner für das Ordonance 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 [95]. 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 [160], [198], [90, pp. 103].<sup>13</sup>

Im September 1944 [95] 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 [102]). Die Gruppe hatte bereits beim Bau des ENIACs die wesentlichen Schwachpunkte der Architektur 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.

<sup>13</sup>Siehe auch die Artikel von N. METROPOLIS [169] und HERBERT ANDERSON [8].

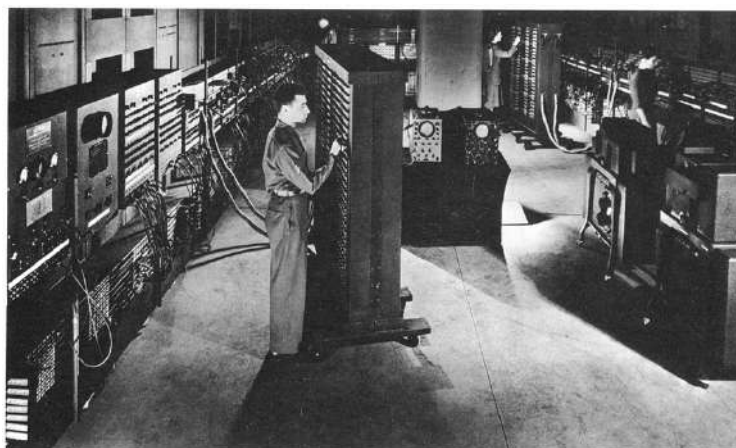


Abbildung 2.13: Der ENIAC Rechner im Betrieb.

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 Manuskript 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 Manuskript 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 [11], siehe auch [237]). 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 [102].

Die in dieser Manuskript skizzierten fundamentalen Prinzipien einer Rechanlage ( [160] ) sind unter anderem folgenden:

- Programme werden wie Daten gespeichert
- Konzept des bedingten Befehls mit Verzweigungen

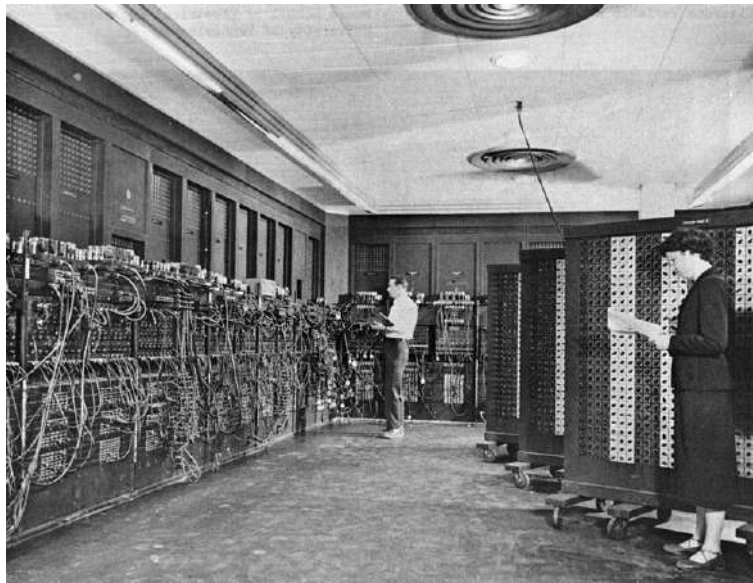


Abbildung 2.14: Nochmals der ENIAC Rechner.

- 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.

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 NEUMANN'S Beitrag



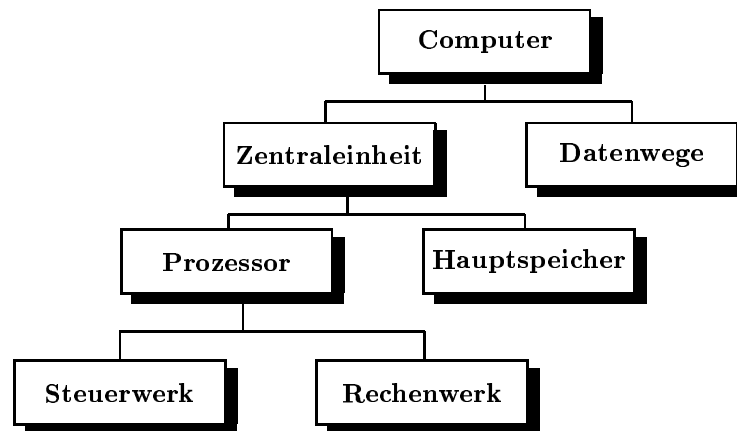


Abbildung 2.15: Die Architektur einer Rechenanlage nach JOHN VON NEUMANN.

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.<sup>14</sup>

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 wurden. Erreicht wurde dadurch eine viel effektivere Programmabarbeitung. Bestimmte Unterprogramme, die immer wieder benötigt werden, müssen nicht neu programmiert werden, sondern werden zweckmäßigerweise in Bibliotheken<sup>15</sup> ausgelagert, die dann bei Bedarf in den Speicher geladen werden. Dadurch kann ein großer Teil eines Programms aus den in den Bibliotheken vorhande-

<sup>14</sup>Insbesondere 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 [95] über das Design und den Aufbau von Rechnern. Die Lectures sind in [39] dokumentiert.

<sup>15</sup>Das sind die sogenannten *libraries*.

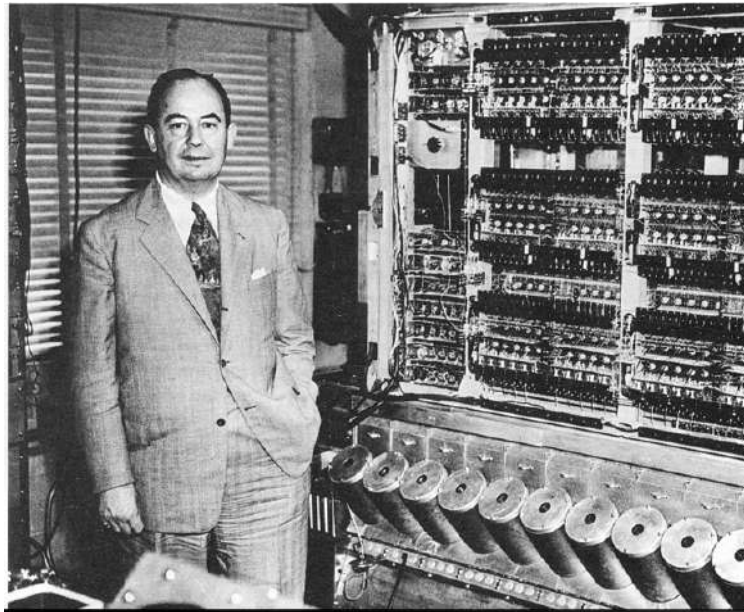


Abbildung 2.16: JOHN VON NEUMANN vor dem IAS-Computer.

nen 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 Bibliotheksroutinen 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.<sup>16</sup> 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, die Atomic Energy Commission und das IAS finanzierten schließlich das Projekt.

Im Frühjahr 1946 entwarfen JOHN VON NEUMANN, HERMAN GOLDSTINE und

<sup>16</sup>EINSTEIN und GÖDEL waren seinerzeit Zimmernachbarn von VON NEUMANN

ARTHUR W. BURKS das Design der IAS-Maschine in einem Bericht mit dem Titel:<sup>17</sup>

*Preliminary Discussion of the Logical Design of an Electronic Computing Instrument*

Dieser Bericht<sup>18</sup> 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 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* [37] 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.<sup>19</sup>

## 1946

Am 2. März wird offiziell das Project RAND gegründet. Hieraus entwickelte sich in den 1950er Jahren die RAND Corporation mit Sitz in Santa Monica, Kalifornien, ein sogenannter *Think Tank*. RAND ist ein Akronym für *Research and Development*. Hier wurden bahnbrechende Verfahren des Operations Researchs entwickelt [225, pp. 48].<sup>20</sup>

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 [68, pp. 188–190]).

---

<sup>17</sup>Siehe auch die Monographie von WALDROP, [239], pp. 86

<sup>18</sup>Einen kommentierten Reprint dieses Reports findet man in [11].

<sup>19</sup>Siehe dazu auch die Diskussion in SALUS, [209].

<sup>20</sup>Siehe auch die Monographie von ABELLA [1].



Abbildung 2.17: JOHN P. ECKERT und JOHN W. MAUCHLY.

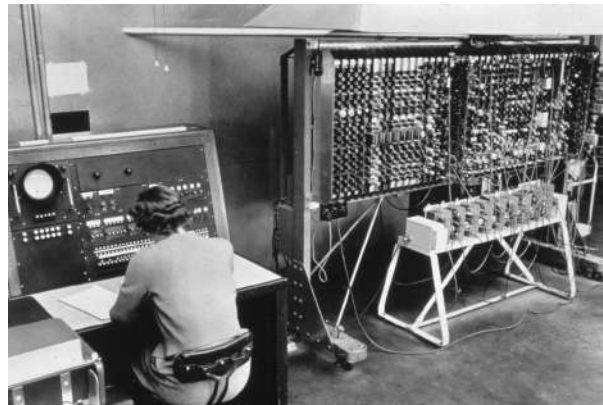


Abbildung 2.18: Der ACE-Rechner von ALAN TURING.

## 2.2 Zeitalter der Rechner der 1. Generation

Die Rechner der ersten Generation hatten einen Schaltungsaufbau aus Elektronenröhren, 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 - 1948

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

Der Mathematiker **George B. Dantzig** (1914 – 2005) entwickelt das Simplex Verfahren, ein heute weit verbreitetes Lösungsverfahren für Optimierungsprobleme.<sup>21</sup>

### 1948

**Norbert Wiener** (1894 – 1964) publiziert die Monographie

*Cybernetics, or Control of Communication in Animal and Machine*

die den Grundstein der Disziplin der *Kybernetik* legt [245].

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

<sup>21</sup>Siehe auch die kurze Biographie von DANTZIG [66].

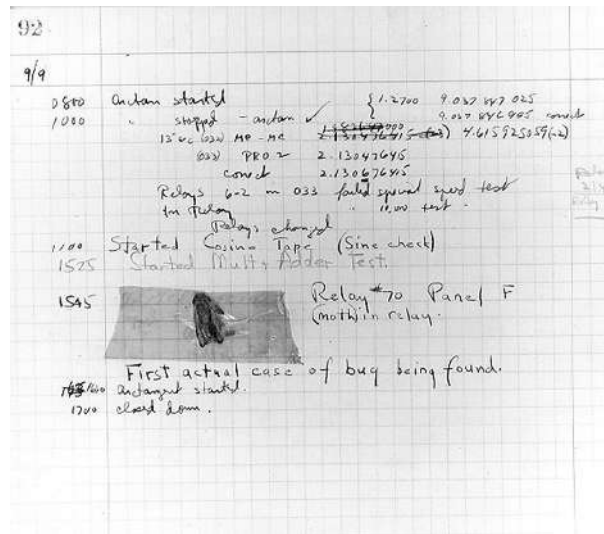


Abbildung 2.19: Der erste Programmbug.

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** [170].

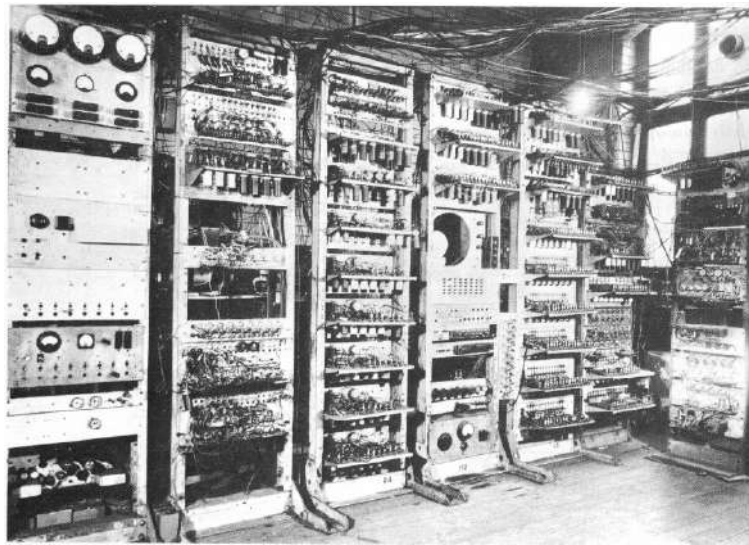


Abbildung 2.20: Die Manchester MARK I.

## 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 maschinenunabhängiger, 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 [200].<sup>22</sup> BARDEEN, SHOCKLEY und BRATTAIN erhalten für diese Entwicklung gemeinsam den Physik-Nobelpreis im Jahre 1956.

---

<sup>22</sup>Eine detaillierte Darstellung dieser bahnbrechenden Erfindung findet man in dem Buch von R. BUDERI [35], chap. 15 oder RIORDAN and HODDESON, [199].



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

### 1948

**Claude Elwood Shannon** (1916 – 2001) publiziert an den Bell Labs eine richtungsweisende Arbeit mit dem Titel (siehe *e.g.* [193] oder [217]):

*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 Übertragungskanal 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.

In der Arbeit von SHANNON wird erstmals das Kunstwort *Bit* für *binary digit* als kleinste Informationseinheit verwendet.<sup>23</sup>

### 1950

Im Jahre 1950 publiziert **Alan Turing** in der philosophischen Zeitschrift *Mind*<sup>24</sup> 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 [127, 42, 124].

Im April veröffentlicht der Mathematiker RICHARD W. HAMMING (1915 – 1998) im Bell System Technical Journal eine Arbeit mit dem Titel [111]

*Error Detecting and Error Correcting Codes,*

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

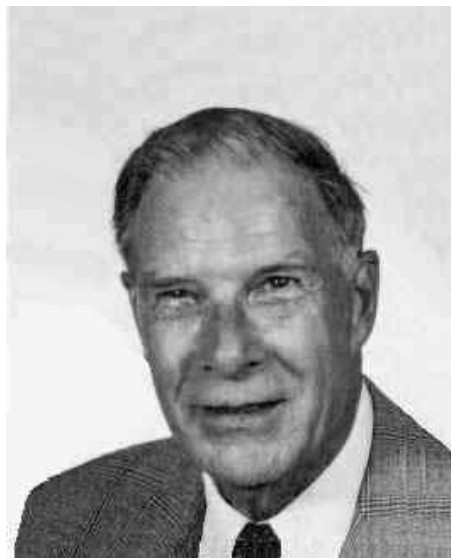


Abbildung 2.22: RICHARD W. HAMMING (1915 - 1998).

In den Jahren nach dem 2. Weltkrieg entwickelt sich die mathematische Diszi-

<sup>23</sup>Wie SHANNON in seiner Arbeit anmerkt, geht dies auf einen Vorschlag von seinem Mitarbeiter J.W. TURKEY zurück.

<sup>24</sup>*Mind*, October 1950

plin **Operations Research**. Zentrale Thema ist die Analyse praxisorientierter, jedoch sehr komplexer Problemstellungen. Zweck ist die Vorbereitung möglichst guter Entscheidungen durch Anwendung fortgeschrittener mathematisch-analytischer Verfahren.<sup>25</sup>

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 Research umfasst einen weiten Bereich von Lösungsmethoden für die Entscheidungsfindung wie

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

---

<sup>25</sup>Wesentliche Entwicklungen zu dieser Disziplin wurden am RAND durchgeführt.

### 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.



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.<sup>26</sup>

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.

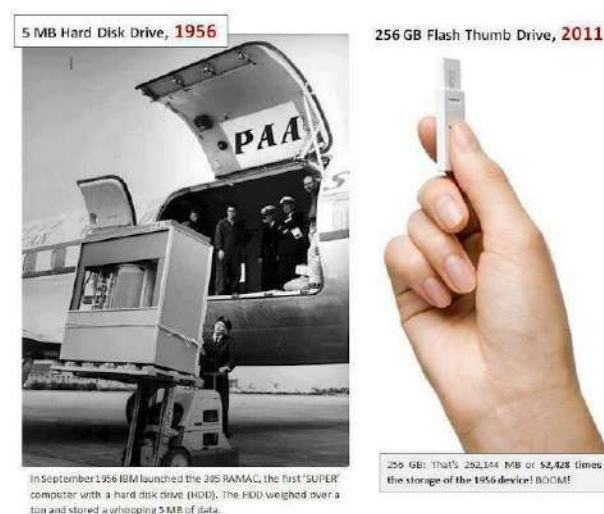


Abbildung 2.24: Massendatenträger — damals und heute.

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

<sup>26</sup>Eine detaillierte Darstellung dieser Entwicklungen findet man in dem Buch von BUDERI [35], Chap. 17.

**Grace Hopper** entwickelt den ersten Compiler, genannt A-0.

Die britische Firma LYONS — bekannt für Teeversand — entwickelt den ersten für betriebliche Zwecke genutzten Rechner LEO – Lyons Electronics Office [265].

## 1952

**John von Neumanns** IAS Maschine 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).

## 1953

Nach einigen Jahren Entwicklungszeit wird LEO, eine kommerzielle Version des EDSAC Rechners fertiggestellt. Dieser Rechner wird von der Lyons Company, UK, produziert.

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

NICHOLAS METROPOLIS und fünf weitere Autoren [171] 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 Systems<sup>27</sup> 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.<sup>28</sup>

**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 –).

In den Bell Laboratories wurde am 19. März 1955 der erste Rechner basierend auf der Transistortechnologie vorgestellt, der TRADIC. 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**

**1956**

Am Dartmouth College, Hanover, New Hampshire, findet eine zweimonatige Konferenz mit dem Titel *Dartmouth Summer Research Project of Artificial In-*

---

<sup>27</sup>Zum Beispiel Temperatur oder Druck.

<sup>28</sup>Siehe dazu die Liste der zehn einflussreichsten Algorithmen in [47].



Abbildung 2.25: Der IBM 704 Rechner.

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 [43]).

*telligence* statt. Teilnehmer sind u.a. **John McCarthy**, **Marvin Minsky** und **Claude Shannon**. Diese Konferenz gilt als die Geburtsstunde der *Künstlichen Intelligenz* (siehe [206]).

IBM startet das Projekt 7030 (Stretch - Project) um Supercomputer für das Los Alamos National Laboratory zu produzieren.

IBM führt den 305 RAMAC ein mit der ersten Festplatte (siehe [[116]] und Abbildung [2.27]) .

## 1957

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

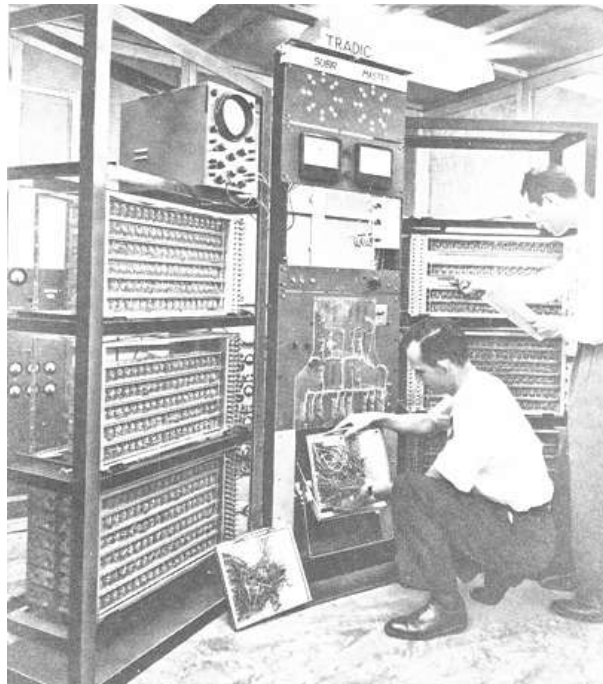


Abbildung 2.26: TRADIC, der erste transistorbasierte Rechner.

MIT Mitarbeitern KENNETH OLSEN (1926 – 2011) und HARLAN ANDERSON gegründet.<sup>29</sup>

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 einstigen Mitarbeitern WILLIAM SHOCKLEYS gegründet.

### 1958

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

Die Programmiersprache ALGOL (*Arithmetic Oriented Language*) wird ent-

---

<sup>29</sup>Siehe dazu auch die Monographie von WALDROP, [239], pp. 147.





Abbildung 2.27: Der IBM 305 RAMAC Rechner mit Festplatte.

wickelt (siehe Abbildung [2.29]).

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.

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.*

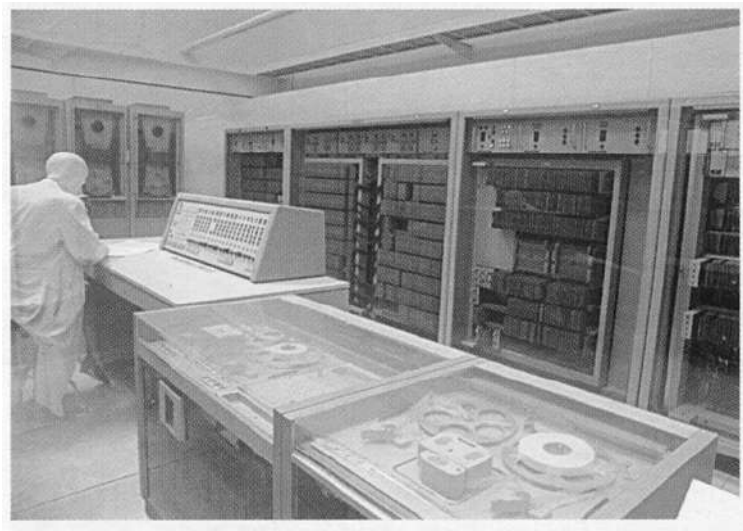


Abbildung 2.28: Der Siemens 2002 – Großrechner.

Hier skizziert FEYNMAN erstmals die Idee, dass Informationen auf quantenmechanischer Ebene verarbeitet werden können [86].

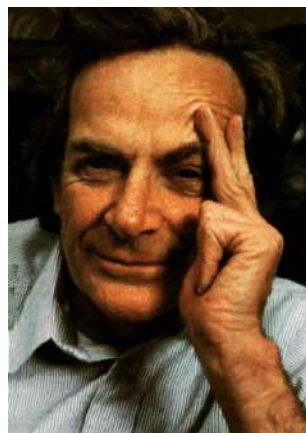


Abbildung 2.31: RICHARD FEYNMAN

### 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 [164] von MCCARTHY



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



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

dokumentiert.<sup>30</sup>

## 1961

Beginn der Datenfernverarbeitung (Teleprocessing, IBM).

Die amerikanische Firma Fairchild Semiconductor beginnt mit der Massenproduktion von integrierten Schaltkreisen.

## 1962

Der Mitarbeiter am Stanford Research Institute (SRI) DOUGLAS ENGELBART

---

<sup>30</sup>Siehe dazu [239], pp. 170.



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

erfindet die Maus. Generell untersucht man zu dieser Zeit am SRI die Interaktion zwischen Mensch und Maschine.

### 1964

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

## 2.4 Zeitalter der Rechner der 3. Generation

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  $100\text{ mm}^2$  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 Microsekundenbereich ( $10^{-6}\text{ sec}$ ).

### 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 forciert. 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 [148, 149, 150] stellen die 'Bibel' der Algorithmik dar.<sup>31</sup> Siehe auch [27, 26].

<sup>31</sup>Siehe auch Donald E. Knuths Homepage

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

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)

- 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

**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 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**

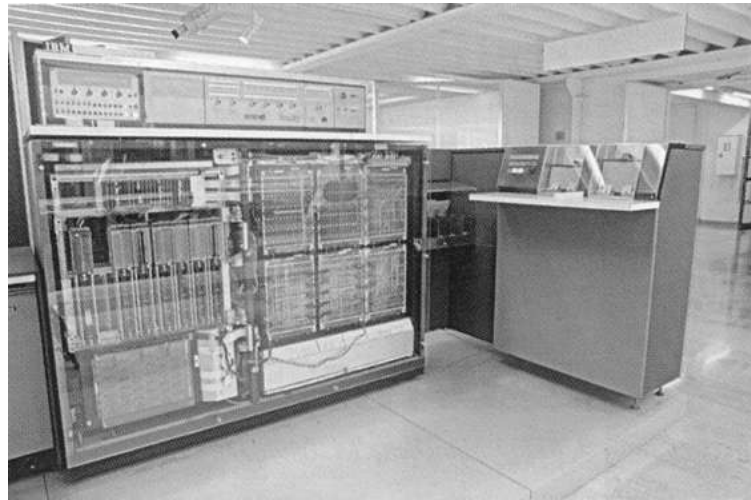


Abbildung 2.33: Das IBM Großrechnersystem /360.

Das *American National Standards Institute* (ANSI) akzeptiert den 7-Bit ASCII<sup>32</sup> Code als Standardcodierung für den Informationsaustausch.

Das *Institute of Radio Engineers* (IRE) und das *American Institute of Electrical Engineers*<sup>33</sup> (IEEE).

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

<sup>32</sup>ASCII = American Standard Code for Information Interchange.

<sup>33</sup>Siehe auch die URL: <http://www.ieee.org>.

Flugzeugs war. Falls das Radarsignal ein sich nähernder feindlicher Bomber symbolisierte, wurden automatisch Details über die Flugbahn des Bombers zu nächstgelegenen Abwehreinheit übertragen.<sup>34</sup>

### 1964

**Gordon Moore** formuliert das MOORESche Gesetz, demzufolge sich die Anzahl der Transistoren auf einem Chip etwa alle 18 Monate verdoppelt [175]. Diese Gesetzmäßigkeit hat sich bis heute bewahrheitet.<sup>35</sup>



Abbildung 2.34: GORDON MOORE

---

<sup>34</sup>Siehe dazu [35] und [211, pp. 153].

<sup>35</sup>Einen Überblick der zukünftigen Mikroprozessorentwicklung findet man in dem Artikel von ARNDT BODE und HERBERT CORNELIUS [24].



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](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. Dies nennt man in der Chiptechnologie **Strukturgröße**.

Jahr	Prozessor	Strukturgröße
1971	Intel 4004	10 $\mu\text{m}$
1984	Intel i386DX	1.5 $\mu\text{m}$
1992	Intel i486DX2-66	0.8 $\mu\text{m}$
1993	Intel Pentium P5	0.8 $\mu\text{m}$
1999	AMD Athlon	0.25...0.18 $\mu\text{m}$
2002	Infenion Speicherchip	140nm
2007	Intel Core 2 Duo	45 nm
2010	Intel Core i3	32 nm
2019	AMD Ryzen	7 nm

Anmerkung: Es werden die Einheiten  $\mu\text{m}$  = Mikrometer und  $\text{nm}$  = Nanometer verwendet. Es ist

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

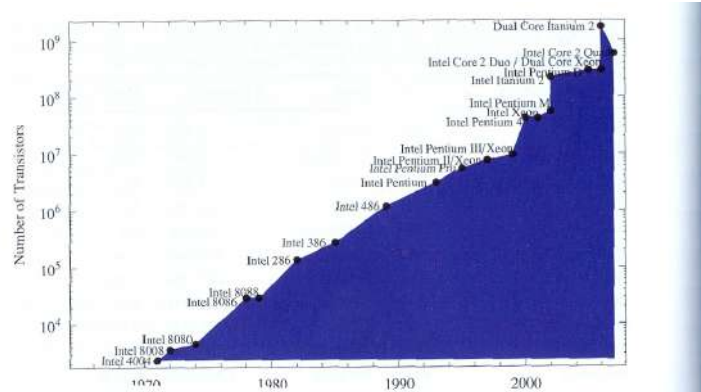


Abbildung 2.35: Anzahl der Transistoren pro Chip der aufeinanderfolgenden Generationen der Intel Prozessoren.

IBM stellt das Großrechnersystem System/360 der Öffentlichkeit vor, was die dritte Computergeneration einläutet (siehe [7]).

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.

## 1965

**Lotfi Zadeh** entwickelt die **Fuzzy-Logik** ([255]).

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**

## 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 **Association for Computing Machinery**, kurz ACM<sup>36</sup>, 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 TURING. In technischen Kreisen wird diese Auszeichnung gleichwertig zu dem Nobel-Preis angesehen. Seit 1966 sind die Preisträger:

1966	A. J. Perlis	1983	Dennis M. Ritchie, Ken Thompson
1967	Maurice V. Wilkes	1984	Niklaus Wirth
1968	Richard Hamming	1985	Richard M. Karp
1969	Marvin Minsky	1986	John Hopcroft, Robert Tarjan
1970	J. H. Wilkinson	1987	John Cocke
1971	John McCarthy	1988	Ivan Sutherland
1972	E. W. Dijkstra	1989	William Kahan
1973	Charles Bachman	1990	Fernando J. Corbato
1974	Donald E. Knuth	1991	Robin Milnor
1975	Allen Newell, Herbert A. Simon	1992	Butler W. Lampson
1976	Michael O. Rabin, Dana S. Scott	1993	Juris Hartmanis
1977	John Backus	1994	Richard E. Stearns
1978	Robert W. Floyd	1995	Edward Feigenbaum
1979	Kenneth E. Iverson	1996	Amir Pnueli
1980	C. Anthony R. Hoare	1997	Douglas Engelbart
1981	Edgar F. Codd	1998	James Gray
1982	Stephen A. Cook	1999	Frederick P. Brooks, Jr.
		2000	Andrew Chi-Chih - Yao
		2001	Ole-Johan Dahl, Kristen Nygaard
		2002	Ronald L. Rivest, Adi Shamir, Leo Adleman
		2003	Alan Kay
		2004	Vinton Cerf und Robert Kahn
		2005	Peter Naur
		2006	Frances E. Allen
		2007	Edmund M. Clarke, E. Allen Emerson, Joseph Sifakis
		2008	Barbara Liskow
		2009	Charles Thacker
		2010	Leslie Valiant
		2011	Judea Pearl
		2012	Silvio Micali und Shafi Goldwasser
		2013	

## 1967

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

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

<sup>36</sup>Siehe die URL: <http://www.acm.org>.

**1968**

Die beiden Fairchild Semiconductor Mitarbeiter ROBERT NOYCE (1912 – 1989) und GORDON MOORE (1929 – ) gründen zusammen mit ANDY GROVE im Silicon Valley am 18. Juli die *Integrated Electronics Corporation*, kurz Intel [136].<sup>37</sup>

**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 ([178, 38]).

**Edsger Dijkstra** (siehe Abbildung [2.36]) untersucht die verheerenden Auswirkungen der Verwendung der GOTO-Anweisung in Programmiersprachen. Ein Letter an den Herausgeber der Zeitschrift *Communications of the ACM* beginnt mit der Feststellung ([79]):

*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 ([38]). Unter diesem Begriff vereinheitlichen sich eine Reihe von Methoden und Techniken zur Verbesserung der Programmmzuverlässigkeit.



Abbildung 2.36: EDSGER WYBE DIJKSTRA, University of Texas, Austin.

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

---

<sup>37</sup>Siehe dazu auch [199] und die Biographie von ROBERT NOYCE von LESLIE BERLIN [20]. Die Story von Intel kann man in dem Buch von ANDREW GROVE [106] nachlesen.

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 Mausstechnik einer breiten Öffentlichkeit präsentiert.<sup>38</sup>

## 1969

Unter Federführung der *Advanced Research Project Agency* (ARPA), eine Unterabteilung des amerikanischen Verteidigungsministeriums, wird das Arpanet [108, 18, 19] in Betrieb genommen, das erste Datenübertragungsnetz nach dem Paketübermittlungssystem. Das Arpanet ist der Vorläufer des heutigen INTERNET.<sup>39</sup> 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).<sup>40</sup>

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

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) RFCs<sup>41</sup> handelt es sich um technische Reports über Spezifikationen des Internet-Standards. Die RFCs sind sämtlich chronologisch nummeriert, gegenwärtig (Herbst 2018) ist man bei etwa 8.500 RFCs angelangt.

## 1969

---

<sup>38</sup>Die komplette 90 minütige Demo von DOUGLAS ENGELBART ist Online unter

[sloan.stanford.edu/mousesite/1968Demo.html](http://sloan.stanford.edu/mousesite/1968Demo.html)

zu sehen.

<sup>39</sup>Eine sehr detaillierte Zeittafel über die Geschichte des Internets findet man im WWW unter der URL:

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

<sup>40</sup>Eine ausführliche Beschreibung der Entwicklung des Arpanets findet man in [209].

<sup>41</sup>Siehe zum Beispiel die URL:

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

Die erste Version des Betriebssystems UNIX<sup>42</sup> 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 Assemblersprache<sup>43</sup> 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 (turm hohen) 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 maschinenspezifische Software gab, das heißt, jede Maschine hatte ihre eigene, speziell auf sie zugeschnittene Software.



Abbildung 2.37: DENNIS RITCHIE.

<sup>42</sup>Der 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).

<sup>43</sup>Die 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 Adressierung (und nicht die physikalische) verwendet.

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.



Abbildung 2.38: KEN THOMPSON (links) und DENNIS RITCHIE.



Abbildung 2.39: Das System /370 von IBM aus dem Jahre 1972.

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 [2.40]), ein Meilenstein der Computerentwicklung. Dieser Rechner wog 32 Kilogramm und bildete erstmals überhaupt ein integriertes System mit IC-Technik.<sup>44</sup>



Abbildung 2.40: Der Apollo Guidance Computer.

## 1970

DENNIS M. RITCHIE (1948 — 2011) entwickelt zusammen mit BRIAN W. KERNIGHAN (1942 — ) die Programmiersprachen 'B' und 'C' (siehe zum Beispiel [142]).

Der Mathematiker **Edgar Frank Codd** (1923 — 2003) entwickelt bei IBM das *relationale Datenbankmodell* [50].<sup>45</sup>

WINSTON ROYCE (1929 – 1995) veröffentlicht eine Studie mit dem Titel [205]:

*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.

<sup>44</sup>Siehe Heise Online vom 20.07.2019.

<sup>45</sup>Siehe auch den Artikel [67].





Abbildung 2.41: Nochmals das System /370 von IBM im Einsatz.

Die Firma Xerox gründet das **Palo Alto Research Center** (XeroxPARC) an der Stanford University.<sup>46</sup>

Das Xerox Palo Alto Research Center (Xerox PARC) wurde auf Anregung des Xerox-Chefwissenschaftlers JACK GOLDMAN gegründet. Xerox — damals führend 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. [2.42]) geführt, der zuvor bereits bei DARPA am ARPANET-Projekt beteiligt war.

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,

<sup>46</sup>Die Entwicklung des Xerox PARCs ist sehr ausführlich in [123] beschrieben. Siehe auch [93].

- 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 Benutzeroberfläche<sup>47</sup> wird entwickelt und im Xerox-Alto-Rechner erstmals eingesetzt,
- 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),

---

<sup>47</sup>In der Informatik spricht man von dabei von der *Graphical User Interface*, kurz GUI.

- 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,<sup>48</sup> John Haugeland, DANA SCOTT<sup>49</sup> und NIKLAUS WIRTH<sup>50</sup> Xerox PARC.



Abbildung 2.42: 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** das **ALO-HAnet** 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 Kommunikationsnetz, das Datenkommunikation über ein Radio-Funknetz

<sup>48</sup>Später Mitgründer der Firma SUN Microsystems.

<sup>49</sup>DANA SCOTT ist ein amerikanischer Mathematiker, Logiker, Informatiker und Philosoph, der bedeutende Beiträge zur Automatentheorie, Modelltheorie, axiomatischen Mengenlehre und Semantik der Programmiersprachen geleistet hat.

<sup>50</sup>NIKLAUS WIRTH ist ein schweizer Informatiker, der an der ETH Zürich einen Lehrstuhl hatte und u.e. die Programmiersprache PASCAL entwickelte.

ermöglichte und dabei Datenpakete für die Übertragung nutzte. Die bei diesem Prototypen gewonnenen Erfahrungen hatten entscheidenden Einfluß auf die zukünftige Netzwerktechnologien wie das Ethernet.

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



## Kapitel 3

# Die Jahre 1971 bis heute

Das letzte Quartal dieses Jahrhunderts, also grob die Jahre seit 1971 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 [196].

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 ([56]):

*The Complexity of Theorem Proving Procedures*

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

---

## 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.<sup>1</sup>. [167]

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.

---

<sup>1</sup>Diese fünf Gründungsmitglieder sind: CLAUD WELLENREUTHER, HANS-WERNER HECTOR, KLAUS TSCHIRA, 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.

---

## 1973

---

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





Abbildung 3.2: Der im XEROX PARC entwickelte Rechner Alto.

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

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**.<sup>2</sup>

---

## 1974

---

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

Die Elektronikfirma MITS (Micro Instrumentation and Telemetry Systems) in

---

<sup>2</sup>Siehe [123], Chap. 13.

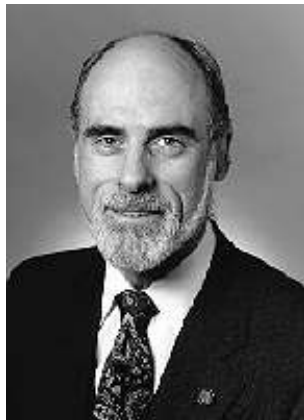


Abbildung 3.3: VINTON CERF.

Albuquerque, New Mexico, entwickelt um den INTEL 8080 Mikroprozessor Computerbausätze ('Kits') für Elektronikbastler.

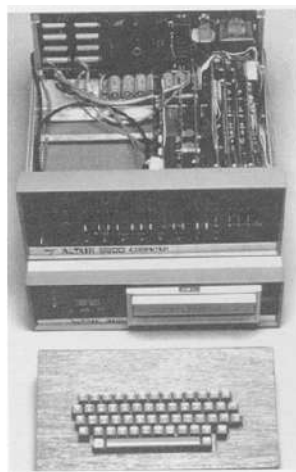


Abbildung 3.4: Der zusammengebaute Altair - Rechner.

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*).

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 Entfernungen 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.

---

## 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 Mietgeschäftes, für das die Mitbewerber nicht die notwendigen finanziellen Rücklagen haben.
4. Diskriminierende Sondervereinbarungen mit Universitäten



Abbildung 3.5: Mittlerweile einer der reichsten Männer der Welt (wenn nicht *der reichste*): 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 Cray<sup>3</sup>** bringt die CRAY-1 auf den Markt, der *schnellste Rechner der Welt*.

---

3

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 eine neue 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 zur 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 unerreichbar.

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, 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 vermied 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, „auf 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.“

---

## 1976

---

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



Abbildung 3.6: Die Apple Gründer **STEPHEN WOZNAK** und **STEVEN JOBS**.

**WHITFIELD DIFFIE** und **MARTIN E. HELLMAN** (siehe Abb. [3.7]) veröffentlichen eine Arbeit mit dem Titel *New Directions in Cryptography* ([78]), in der die Grundlage der *Public-Key Kryptographie* gelegt wird.

Seymour Cray war unverwundlich, 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.

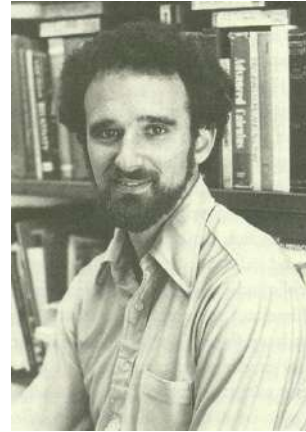


Abbildung 3.7: WHITFIELD DIFFIE (links) und MARTIN E. HELLMAN.

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 [212] und [65]).

IBM entwickelt den Tintenstrahldrucker.

---

## 1977

---

KENNETH OLSEN — CEO der Digital Equipment Corporation (DEC) — stellt die erste VAX – 11/780<sup>4</sup> vor, ein 32Bit Computersystem mit dem Betriebssystem VAX/VMS.

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

RONALD RIVEST, ADI SHAMIR und LEONARD ADLEMAN (MIT) entwickeln das **RSA-Verfahren** der *asymmetrischen Verschlüsselung* ([201]). Siehe auch [221, 213].

---

<sup>4</sup>VAX = Virtual Addressing EXperimental.

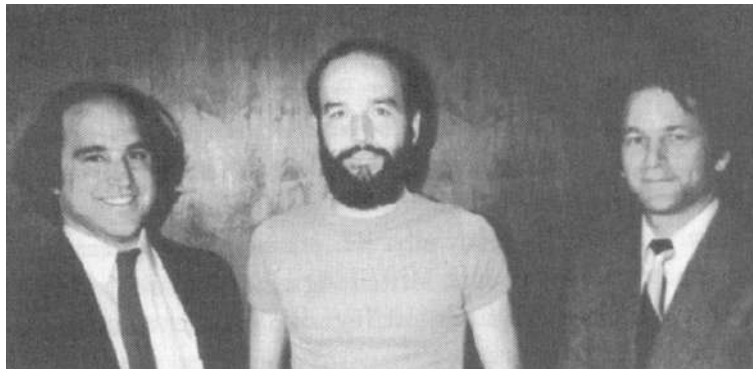


Abbildung 3.8: RONALD RIVEST, ADI SHAMIR und LEONARD ADLEMAN.

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

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

DENNIS C. HAYES und DALE HEATHERINGTON entwickeln das PC Modem.<sup>5</sup> Sie erstellen damit die kritische Technologie, die die heutige Online und Internetindustrie ermöglichte.

---

## 1978

---

DAN BRICKLIN und BOB FRANKSTON entwickeln *Visicalc*, die erste elektronische Tabellenkalkulation.

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

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

Am Xerox PARC wird das Ethernet durch einen Wurm lahmgelegt.<sup>6</sup>

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

---

<sup>5</sup>Modem 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.

<sup>6</sup>Siehe [123], Chap. 20



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



Abbildung 3.9: 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**. Heute ist 3COM ein führender Hersteller von Netzwerkkarten, Servern, Routern, Hubs, Switches und anderer Netzwerkkomponenten.

Zelluläre Telephone werden in Japan und den USA getestet.

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

---

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.

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.<sup>7</sup> 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

---

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.

Die Firmen DEC, INTEL und XEROX arbeiten gemeinsam an Spezifikationen für das lokale Computernetzwerk *Ethernet*.

---

<sup>7</sup>Eine detaillierte Diskussion dieses Events findet man in [123], Chap. 23.

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 und entwickelt zusammen mit JOHN HENNESSY (Stanford) die Konzepte, die zu den RISC-Prozessoren führt. (RISC = Reduced Instruction Set Computing).<sup>8</sup>

---

## 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.

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 (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.

COMMODORE bringt mit dem VC-20 den ersten Heimcomputer auf den Markt.

---

<sup>8</sup>PATTERSON und HENNESSY haben zusammen zwei wichtige Monographien über diesen Prozessordesign publiziert, [120], [185].

NIXDORF kündigt das Programmpaket *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

---

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 [3.10]) 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 3.10: 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.

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.<sup>9</sup>

PAUL BENIOFF<sup>10</sup> 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

---

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.<sup>11</sup> 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.

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.

---

<sup>9</sup>Siehe [87, 88] und RICHARD P. FEYNMAN, Feynman Lectures on Computing, Westview, Boulder Colorado 1996, page 182.

<sup>10</sup>*Quantum Mechanical Models of Turing Machines that Dissipate no Energy*, Phys. Rev. Lett. **48**, 1581 – 1585, (1982).

<sup>11</sup>XT steht für *eXtended Technology*.

MICROSOFT entwickelt das Textverarbeitungsprogramm MS Word 1.0.

Die Firmen *Thinking Machines* und *Ncube* werden gegründet.

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 ([155]).

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. 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)<sup>12</sup> 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 5 1/4-Zoll-Diskettenlaufwerke mit jeweils 871 kB Kapazität. Eine externe Festplatte mit einer Maximalgröße von 10 MB konnte nachgerüstet werden.



Abbildung 3.11: Der Apple Lisa.

Die britische Firma Acorn beginnt mit der Entwicklung eines RISC-Prozessors, dem *Acorn RISC Machines*<sup>13</sup> kurz ARM. Die ARM Prozessoren sind aufgrund

<sup>12</sup>MMU = Memory Management Unit.

<sup>13</sup>Später wurde dieses Akronym in Advanced RISC Machines umfirmiert.

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 [246]. Diese Arbeit stammt aus den Jahren 1969/70, WIESNER wendet hier erstmals quantenmechanische Methoden auf Verschlüsselungsverfahren an.

---

## 1984

---

Am 22. Januar kündigt STEVE JOBS in einem spektakulären, legendären Werbespot,<sup>14</sup> der nur ein einziges Mal während des Super Bowls lief, den Apple Macintosh an [241, 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 und damit ist Multitasking möglich. Betriebssystem ist MS–DOS 3.0, das für die 80286er Architektur angepasst ist.

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.

---

<sup>14</sup>Diesen Werbespot gibt es unter YouTube unter der URL:

<https://www.youtube.com/watch?v=R706isyDrqI>



Abbildung 3.12: Der IBM AT

Im Oktober verabschiedet das CCITT<sup>15</sup> 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.

Die Firma DELL COMPUTER wird von MICHAEL DELL in Austin, Texas gegründet.

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.<sup>16</sup>

---

## 1985

---

---

<sup>15</sup>CCITT = Comité Consultatif International Telegraphique et Telephonique.

<sup>16</sup>In der Kryptographie sind traditionell Alice und Bob die beiden Protagonisten, die sichere Kommunikation aufbauen möchten.



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 ([156]).

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 [72].<sup>17</sup>

---

## 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

---

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.

---

<sup>17</sup>Zum Themenkreis der deterministischen, nicht-deterministischen, probabilistischen und quantenmechanischen Erweiterung von TURING Maschine findet man einen guten Überblick in YANOFKY and MANNUCCI, [254], Chapt. 8.

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.



Abbildung 3.13: IBMs Serie PS/2, die Modelle 30, 50, 65 und 80.

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 [184], in der RAID Systeme vorgestellt werden. RAID steht ursprünglich für *redundant array of inexpensive disks*, aus marketingtechnischen Gründen wurde später aus *inexpensive* das sympathischere 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



Abbildung 3.14: Ein Hardware RAID-System.

---

IBM, DEC und HEWLETT PACKARD gründen die *Open System Foundation*, ein Gegenstück zur Open UNIX Group.

IBM stellt den Midrange Rechner AS/400 vor.



Abbildung 3.15: Eine AS/400, heute IBM i-Series.

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 Internet Würmern. Aufgabe des CERTs ist die Erkennung neuer Gefahren für das Internet und die Entwicklung geeigneter Gegenmaßnahmen.

BARRY W. BOEHM veröffentlicht das **Spiralmodel** der Software Entwicklung [25].

---

## 1989

---

Im April bringt INTEL den 80486 Chip mit 1.2 Millionen Transistoren auf den Markt.

Im März veröffentlicht TIM BERNERS-LEE [21] am CERN eine Arbeit mit dem Titel

*Information Management: A Proposal*

Aus diesen Anfängen entwickelt sich die Seitenbeschreibungssprache *Hypertext Markup Language* (HTML).



Abbildung 3.16: TIM BERNERS-LEE, der 'Erfinder' des WWW.

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.

Die erste SPEC Benchmark Suite wird verabschiedet. Dies erlaubt den Vergleich der Leistungsfähigkeit von unterschiedlichen Rechnern.

---

## 1990

---

Am 1. Januar 1990 werden die Lizenzen für den Mobilfunk der zweiten Generation — das ist der heutige **GSM** – Standard<sup>18</sup> — vergeben.

Der finnische Informatikstudent LINUS TORVALDS beginnt mit der Erstellung eines UNIX Derivates für die INTEL 80x86 Prozessoren (LINUX)[232, 195, 76].



Abbildung 3.17: LINUS TORVALDS und DENNIS RITCHIE.

MICROSOFT führt im Mai die Betriebssystemerweiterung Windows 3.0 ein.

RS/6000 von IBM mit RISC Technologie.

Im Oktober beginnt TIM BERNERS-LEE mit der Arbeit am WWW-Browser/-Editor.

Das ARPANET wird abgeschaltet und geht in das INTERNET über.

---

## 1991

---

<sup>18</sup>GSM = *Global System for Mobile communications*.



Abbildung 3.18: RS/6000, IBMs Eintritt in die RISC-Welt.

---

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 [221, 54]). 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 Lage<sup>19</sup>.

IBM, MOTOROLA und APPLE kündigen eine Gemeinschaftsproduktion des PowerPC Prozessors an.

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*.

---

<sup>19</sup>Siehe zum Beispiel [34], pp. 160, über die restriktiven US-Exportbedingungen von Verschlüsselungssoftware.



Abbildung 3.19: PHIL ZIMMERMANN.

Im Septemberheft des *Scientific American* veröffentlichte MARK WEISER — damals Head des Computer Science Laboratory am XEROX PARC — eine Arbeit mit dem Titel [242]

*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.<sup>20</sup>

Am 17. September erscheint das erste Release von LINUX mit Versionsnummer V 0.01 ([232]).

CRAY Research gibt die CRAY Y-MP C90 frei mit 16 Prozessoren und einer Leistung von 16 GigaFLOPS.

Gründung des Bundesamtes für Sicherheit in der Informationstechnologie in Bonn (BSI)

---

## 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*).

---

<sup>20</sup>Diese Arbeit findet man Online unter

<https://www.iri.fr/~mbl/Stanford/CS477/papers/weiser-SciAm.pdf>



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.

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

---

Der Pentium-Rechner von INTEL erblickt im März auf der CeBIT das Licht der Welt.

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 Zusatztools.

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).



Abbildung 3.20: Der erste Web-Server am CERN.

Am 27. Juli bringt MICROSOFT das neue Server-Betriebssystem **Windows NT 3.1** (NT = New Technology) auf den Markt.

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-Rechner falsch rechnet.

MICROSOFT implementiert Visual Basic for Applications (VBA) in Excel.

LEONARD ADLEMAN (University of Southern California) zeigt, dass die DNA 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 Raumfluggzentrum der NASA wird der erste PC Cluster aufgebaut und zum Laufen gebracht (Siehe [114]).

Am 15. Dezember wird Netscape Navigator 1.0 freigegeben.

PETER SHOR publiziert eine Arbeit ([219]), 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.

---

## 1995

---

Die Programmiersprache JAVA, entwickelt von JAMES GOSLING und seinem Team von SUN, wird freigegeben.

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 [241, 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 Glasfaser.

---

## 1996

---

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.<sup>21</sup> Der Fehler lag in einer einzigen Zeile des

---

<sup>21</sup>Der offizielle Bericht findet man unter der URL:

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 IEEE<sup>22</sup> 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.

---

## 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.

Am 8. Juni wird SETIHome eingeführt.

MICROSOFT setzt das PC – Betriebssystem WINDOWS 98 am 24. Juni in die Software-Welt.

---

[sunnyday.mit.edu/nasa-dass/Ariane5-Report.html](http://sunnyday.mit.edu/nasa-dass/Ariane5-Report.html)

<sup>22</sup>IEEE ist ein Kürzel für *Institute of Electrical and Electronical Engineers* und bezeichnet ein weltweit agierende Organisation, die eine Vielzahl von IT-Standards — insbesondere im Netzwerkbereich — entwickelt hat. Siehe auch die URL: <http://www.ieee.org>.



Abbildung 3.21: Der iMac G3

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 zusammengeschaltet.

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.

---

## 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.

---

## 2000

---

Am 13. Januar 2000 gibt BILL GATES den Vorstandsvorsitz von MICROSOFT an die Nummer zwei des Unternehmens STEVE BALLMER ab.

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 [213]).

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
Inferion	6.7

Tabelle 3.3: Die weltgrößten Chiphersteller, Umsätze im Jahre 2000.

## 2001

Crash der Kurse an den Wachstumsbörsen für viele *dot.com* Companies.

Apple bringt den iPod auf den Markt.

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**<sup>23</sup> 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 ([30]). 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.

<sup>23</sup>Siehe die URL: <http://agilemanifesto.org>.

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 [116]).

Dell erreicht den ersten Platz unter den PC Herstellern und löst damit den bisherigen Marktführer Compaq ab.

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 einem Plug&Play System auf einer Teststrecke von Genf nach Lausanne (67 km) (siehe die Abbildungen [3.22] und [3.23]).

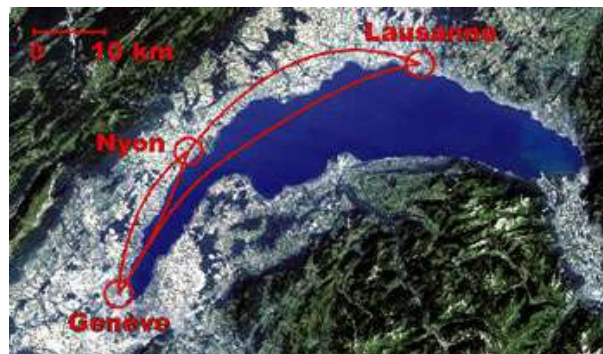


Abbildung 3.22: Die Teststrecke für den Schlüsselaustausch zwischen Genf und Lausanne.

---





Abbildung 3.23: Das Plug& Play System zur Quantenkryptographie.

## 2003

---

Im September bringt AMD den ersten 64 Bit Prozessor für Desktops auf den Markt.

---

## 2004

---

Am 4. Februar wird von DUSTIN MOSKOVITZ, CHRIS HUGHES, EDUARDO SAVERIN und MARK ZUCKERBERG das soziale Netzwerk **Facebook** veröffentlicht.

Die Queen adelt 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 geheim gehaltene Schnittstellen offenlegen.

---

## 2005

---

Im Februar kündigen IBM und Sony die Gemeinschaftsproduktion eines neuen Prozessorchips 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

---

## 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 eine Blu-Ray Disk beträgt 25 GB auf einer Layer bzw. 50 GB auf einer Double-Layer Disk.<sup>2425</sup>

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.

---

<sup>24</sup>Die offizielle Site ist <http://www.blu-ray.com>.

<sup>25</sup>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.

Am 19. November bringt `amazon.com` das erste elektronische Buch **kindle** auf den Markt.



Abbildung 3.24: Kindle.

Apple bringt am 26. Oktober das Betriebssystem Mac OS X 10.5, Codename *Leopard* auf den Markt.

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.

---

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 **Blu-ray**.

---

## 2009

---

In Santa Clara, Kalifornien, 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.

Im Mai ist der APPLE **iPad** auch in Deutschland zu haben.

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.

---

## 2013

---

März: SIR TIM BERNES-LEE erhält zusammen mit MARC ANDREESSEN, VINTON CERF, ROBERT KAHN und LOUIS POUZIN den erstmals vergebenen, mit 1 Million britischen Pfund dotierten *Queen Elizabeth Prize of Engineering*.

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 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 [3.25]) aus dem Jahre 1976 die stolze Summe von 905.000 Dollar bezahlt.

---

## 2015

---

Im März wird die Markteinführung der Apple Watch angekündigt (siehe Abbildung [3.26]).



Abbildung 3.25: Der Apple 1 für 900 000 Dollar.



Abbildung 3.26: Die Apple Watch.

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 seien.<sup>26</sup>

---

## 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.

---

## 2017

---

---

<sup>26</sup><http://googleresearch.blogspot.ca/2015/12/when-can-quantum-annealing-win.html>

IBM stellt ihren 5-Qubit Quantenrechner online der Allgemeinheit zur Verfügung. IBM kündigt im März an, dass geplant ist, in den kommenden Jahren eine 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.

## 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 $\mu$ sec	1.000
3	Chips	1 $\mu$ sec	10
4	Hochintegrierte Chips	1 nanosec	1

Tabelle A.1: Leistungsfähigkeit der verschiedenen Rechnergenerationen im Überblick.



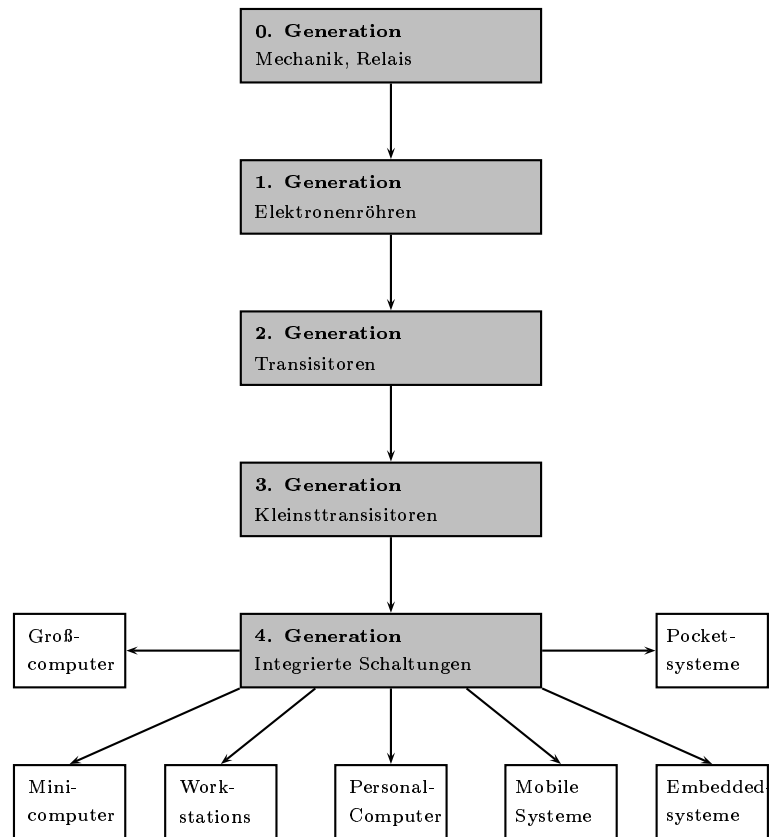


Abbildung A.1: Überblick über die verschiedenen Computergenerationen.

# Anhang B

## Zeittafel

Jahr	Idee/Erfindung	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 Helmut Schreyer	1910	1996
1936	Turing - Maschine	Alan Turing	1912	1954
1939	Atanasoff und Berry entwickeln ersten elektronische Rechner	J.V. Atanasoff		
1941	Erster einwandfrei funktionierender Digitalrechner mit Relais als Schaltgliedern (Z3)	Konrad Zuse	1910	1996
1942	Bell Relay Interpolator	Stibitz, Bell		
1943	England decodiert mit dem COLOSSOS den ENIGMA Code der dt. Kriegsmarine	Alan Turing Thomas Flowers		
1944	Relais-Rechner Mark I	Howard Aiken	1900	1973
1945	Speicherprogrammierung, Sprungbefehle	John v. Neumann	1903	1957
1946	Rechner ENIAC mit Elektronenröhren	John P. Eckert John W. Mauchly Herman Goldstine	1919 1907 1913	1980

Jahr	Idee/Erfindung	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	Maurice V. Wilkes		
1950	Turing - Test	Alan Turing		
1951	Magnetkernspeicher	Forrester, Rajchman		
1951	Erster Serienrechner UNIVAC I			
1956	Programmiersprache FORTRAN	Backus		
1956	Die Firma ZUSE KG die Serienfertigung von Rechengерäten auf	K. Zuse		
1957	Erster volltransistorisierter Computer, Siemens 2002			
1958	KI - Seminar am MIT in Boston	Marvin Minsky J. McCarthy Jack Kilby		
1958	Semiconductor-Chip			
1958	Erste Transistorrechner			
1958	Programmiersprache ALGOL			
1959	Programmiersprache COBOL			
1959	Integrierte Festkörperschaltkreise	Robert N Noyce Jack Kilby		1990
1965	Erste Rechner mit Mikroschaltkreisen			
1968	Labor für Impulstechnik	Heinz Nixdorf	1925	1985
1968	Photochemische Fertigung von "Chips"	Robert Noyce Gordon Moore Andrew Grove		
1969	Entwicklung des Betriebssystems UNIX	Ken Thompson Dennis Ritchie		
1969	Eröffnung des ARPANET, das erste Datenübertragungsnetz nach dem Paketvermittlungsdienst (Vorläufer des INTERNET)			
1970	Programmiersprache C	Dennis Ritchie Brian Kernighan Ted Hoff		
1971	1. Intel - Prozessor 4004	Edgar Codd		
1971	Relationenmodell für Datenbanken			
1972	Gründung der SAP			
1974	AEG Telefunken bringt den CPF 3 als ersten Mikrocomputer			
1975	Der erste Tischcomputer Altair 8800	Ed Roberts Bill Yates		
1975	Microsoft wird gegründet	Bill Gates, Paul Allen		
1976	Der erste Supercomputer (Vektorrechner) die Cray 1	Seymour Cray		
1976	Der erste fehlertolerante Rechner Tandem T/16 kommt auf den Markt			
1976	Gründung der Firma Apple	Steven Jobs Steve Wozniak		
1977	DEC bringt die VAX			
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			
	Apple Macintosh mit Motorola 68000			
1985	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
ASCI	American Standard Code of
AT	Information Interchange
AT	Advanced Technology
AT&T	American Telephone and
ATM	Telegraph Company
ATM	Automated Teller Machine
B2B	Business to Business
B2C	Business to Consumer
BASIC	Beginners All-purpose Symbolic
	Instruction Code

Akronym	Klartext
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 Resonse Team
CGI	Common Gateway Interface
CIS	Cloud Infrastructure
CISC	Complex Instruction Set Computing
CMM	Capabiltiy Maturing Model
CMMI	Capabiltiy 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
DMZ	Demilitarisierte Zone

---

<b>Akronym</b>	<b>Klartext</b>
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
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
HTTP	Hypertext Transfer Protocol

---



Akronym	Klartext
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
MSI	Medium Scale Integration

Akronym	Klartext
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
REST	Representational State Transfer
RFC	Request for Comments
RFID	Radio Frequency Identification
RGB	Red Green Blue
RISC	Reduced Instruction Set Computing

Akronym	Klartext
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
TCO	Total Cost of Ownership
TCP	Transmission Control Protocol
TFT	Thin Film Transistor
TLS	Transport Layer Security
TRADIC	Transistor Digital Computer

---

<b>Akronym</b>	<b>Klartext</b>
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 Associaton
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
WWW	World Wide Web
XML	Extensible Markup Language
XSL	Extensible Stylesheet Language
XT	Extended Technology

---



# 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] JÜRGEN ALEX  
*Wege und Irrwege des Konrad Zuse*  
Spektrum der Wissenschaften  
Januar 1997, Seite 78.
- [4] PAUL ALLEN  
**Idea Man**  
A memoir by the co-founder of Microsoft  
Penguin, 2011.
- [5] 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.
- [6] 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.

- [7] 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)
- [8] HERBERT L. ANDERSON  
*Metropolis, Monte Carlo, and the MANIAC*  
Los Alamos Science, Fall 1986.
- [9] 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 Knauer, München, 1986, Kapitel 7.
- [10] WILLIAM ASPRAY  
**John von Neumann and The Origins of Modern Computing**  
The MIT Press  
Cambridge, MA, London, 1990.
- [11] 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.
- [12] GEOFFREY D. AUSTRIAN  
**Hermann Hollerith**  
Forgotten Giant of Information Processing  
Columbia University Press, New York, 1982.
- [13] CRAIG P. BAUER  
**Secret History**  
The Story of Cryptology  
CRC Press, Boca Raton, 2013.
- [14] FRIEDRICH L. BAUER  
**Entzifferte Geheimnisse**  
*Methoden und Maximen der Kryptologie*  
2., erweiterte Auflage  
Springer Verlag  
Berlin, Heidelberg, New York, 1997.

- [15] FRIEDRICH L. BAUER  
**Kurze Geschichte der Informatik**  
Heinz Nixdorf MuseumsForum  
Wilhelm Fink Verlag  
München, 2007.
- [16] E.T. BELL  
**Men of Mathematics**  
The Lives and Achievements of the Great Mathematicians from Zeno to Poincaré  
Simon & Schuster  
New York, 1965.
- [17] WILFRIED DE BEAUCLAIR  
**Rechnen mit Maschinen**  
Eine Bildgeschichte der Rechentechnik  
2. Auflage  
Springer Verlag  
Berlin, Heidelberg, New York, 2003.
- [18] HENNING BEHME  
*Was wirklich war*  
Von der EMail zum Web Hosting  
iX Magazin für professionelle Informationstechnik  
November 1998, Seite 126 - 129.
- [19] HENNING BEHME  
*New Frontiers*  
Internet: Anfang vor dreißig Jahren  
iX Magazin für professionelle Informationstechnik  
September 1999, Seite 94 - 95.
- [20] LESLIE BERLIN  
**The Man Behind The Microchip**  
Robert Noyce and the Invention of Silicon Valley  
Oxford University Press, Oxford, 2005.
- [21] TIM BERNERS-LEE  
**Der WEB-Report**  
Econ Verlag  
München, 1999.
- [22] KLAUS BEYRER (Hrg.)  
**Streng geheim**  
*Die Welt der verschlüsselten Kommunikation*  
Umschau/Braus  
Heidelberg, 1999.



- [23] ANDREAS BLEUL  
*Computer ad astra*  
Die Bordrechner der NASA-Raumfahrtmissionen  
c't magazin für computer technik  
Heft 5/99, Seite 108 - 113.
- [24] ARNDT BODE, HERBERT CORNELIUS  
*Der Mikroprozessor als Alleskönner*  
Spektrum der Wissenschaft, November 2013, p. 86.
- [25] BARRY W. BOEHM  
*A Spiral Model of Software Development and Enhancement*  
IEEE Computer. Vol. 21, Ausg. 5, Mai 1988, S. 61-72.
- [26] 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.
- [27] 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.
- [28] ERICH BONNERT  
*Großes Eisen*  
Mainframe-Jubiläum: Das System /360 wird 40  
c't - Magazin für Computertechnik  
Heft 09, 2004, Seite 61.
- [29] 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.
- [30] DETLEF BORCHERS  
*Hewlett Packard*  
HP kauft Compaq und will den Computermarkt dominieren  
c't - Magazin für Computertechnik  
Heft 19, 2001, Seite 40.
- [31] 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.

- [32] WERNER BRECHT  
**Theoretische Informatik**  
Grundlagen und praktische Anwendungen  
Friedrich Vieweg Verlag  
Braunschweig 1995.
- [33] ALLAN G. BROMLEY  
*Charles Babbage's Analytical Engine, 1838*  
IEEE Annals of the History of Computing, Vol 20, No. 4, 1998, 29 – 45.
- [34] JULIAN BROWN  
**The Quest for the Quantum Computer**  
Simon & Schuster  
New York, London, 2001.
- [35] 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.
- [36] 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.
- [37] VANNEVAR BUSH  
*As we may think*  
Atlantic Monthly, **176** (1945), S. 101 – 108.  
<http://web.mit.edu/sts.035/www/PDFs/think.pdf>
- [38] J.N. BUXTON, B. RANDELL (Eds.)  
**Software Engineering Techniques: Report on a Conference**  
Rome, 1969  
Brussels; NATO Scientific Affairs Division, 1969.
- [39] 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.
- [40] MARTIN CAMPBELL-KELLY and WILLIAM ASPRAY  
**Computer**  
*A History of the Information Machine*  
Basic Books  
New York, 1996.

- [41] PAUL CARROLL  
**Der Computerkrieg**  
IBM gegen Bill Gates Microsoft, ein Kampf ums Überleben  
Paul Zsolnay Verlag  
Wien, 1994.
- [42] JOHN L. CASTI  
**Das Cambridge Quintett**  
Berlin Verlag  
Berlin, 1998.
- [43] PAUL E. CERUZZI  
**A History of Modern Computing**  
The MIT Press  
Cambridge, Massachusetts, 2000.
- [44] JEAN-LUC CHABERT *et al.*  
**A History of Algorithms**  
*From the Pebble to the Microchip*  
Springer Verlag  
Berlin, Heidelberg, New York, 1999.
- [45] GREGORY J. CHAITIN  
**Der Einbruch des Zufalls in die Zahlentheorie**  
Spektrum der Wissenschaft  
September 1988, S. 62 – 67.
- [46] SABINE CIANCIOLO  
*Drei gegen einen*  
Prognosen zur Entwicklung des Prozessor-Marktes  
c't-Magazin für Computertechnik  
12/98, S. 48.
- [47] BARRY A. CIPRA  
*The Best of the 20th Century: Editors Name Top 10 Algorithms*  
SIAM News, Vol. 33, No. 4, (2000).
- [48] ARTHUR C. CLARKE  
**Voice Across the Sea**  
Luscombe Publisher, London, 1974.
- [49] PAUL COCKSHOTT, LEWIS M. MACKENZIE, and GREG MICHAELSON  
**Computation and its Limits**  
Oxford University Press, Oxford, 2013.
- [50] E.F. CODD  
*A Relational Model for Large Shared Data Banks*  
Communications of the ACM  
Vol. 13, Nr. 6, pp. 377, 1970.

- [51] BRUCE COLLIER and JAMES MACLACHLAN  
**Charles Babbage**  
And the Engines of Perfection  
Oxford University Press, Oxford, New York, 1998.
- [52] **20 Jahre Computerwoche**  
Sonderausgabe zum 20jährigen Bestehen  
Computerwoche Verlag GmbH  
München, 1994.
- [53] Computerwoche  
*Die Zukunft der Informationstechnik*  
Jubiläumsausgabe  
Computerwoche Verlag GmbH  
München, 1999.
- [54] KIERSTEN CONNER-SAX, ED KROL  
**The Whole Internet**  
*The Next Generation*  
O'Reilly & Associates, Inc.  
Beijing, Cambridge, Köln, Paris, Sebastopol, 1999.
- [55] 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.
- [56] 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.
- [57] STEPHEN A. COOK  
*An Overview of Computational Complexity*  
Turing Award Lecture  
Communications of the ACM  
Vol. 26, 6, pp. 401–408 (1983).
- [58] S. BARRY COOPER and ANDREW HODGES ed.  
**The Once and Future Turing**  
Computing the World  
Cambridge University Press, Cambridge, 2016.
- [59] B. JACK COPELAND  
*Colossus: Its Origins and Originators*  
IEEE Annals of the History of Computing  
October – December 2004, 38 – 45.

- [60] B. JACK COPELAND  
**The Essential Turing**  
The ideas that gave birth to the computer age  
Oxford University Press  
Oxford, 2004.
- [61] B. JACK COPELAND *et al.*  
**Colossus**  
The Secrets of Bletchley Park's Codebreaking Computers  
Oxford University Press  
Oxford 2006.
- [62] 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.
- [63] B. JACK COPELAND  
**Turing**  
Pioneer of the Information Age  
Oxford University Press, New York, 2012.
- [64] JAMES W. CORTADA  
**Before The Computer**  
IBM, NCR, Burroughs, & Remington Rand & the Industry They Created  
1865 – 1956  
Princeton University Press  
Princeton, New Jersey, 1993.
- [65] *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://csrc.nist.gov>
- [66] RICHARD COTTLE, ELLIS JOHNSON, and ROGER WETS  
*George B. Dantzig (1914 – 2004)*  
Notices of the AMS, Vol. 54, 3. pp. 344 – 362 (2007).
- [67] HUGH DARWEN  
*The Relational Model: Beginning of an Era*  
*IEEE Annals of the History of Computing*, Oct. – Dec. 2012.
- [68] MARTIN DAVIS  
**Engines of Logic**  
Mathematicians and the Origin of the Computer

- W. W. Norton & Company  
New York, London, 2000.
- [69] MARTIN DAVIS and REUBEN HERSH  
*Hilbert's 10th Problem*  
Scientific American, Vol. 229, No. 5 (Nov. 1973), 84 – 91.
- [70] JOHN W. DAWSON JR.  
**Kurt Gödel: Leben und Werk**  
Springer Verlag  
Wien, New York, 1999.
- [71] LEAN-PAUL DELAHAYE  
*Bedrohliche Unentscheidbarkeit*  
Spektrum der Wissenschaft, S. 72, September 2017.
- [72] DAVID DEUTSCH  
*Quantum theory, the Church-Turing principle and the universal quantum computer*  
Proc. Roy. Soc. A **400**, 97 – 117 (1985).
- [73] Deutsches Museum, München  
**Informatik**  
Führer durch die Ausstellung  
München, 2004.
- [74] KEITH DEVLIN  
**The Man of Numbers**  
Fibonacci's arithmetic revolution  
Walker & Company  
New York, 2011.
- [75] A.K. DEWDNEY  
**Der Turing Omnibus**  
Eine Reise durch die Informatik in 66 Stationen  
Springer Verlag  
Berlin, Heidelberg, New York, 1995.
- [76] CHRIS DiBONA, SAM OCKMAN & MARK STONE (Ed.)  
**Open Sources**  
*Voices from the Open Source Revolution*  
O'Reilly & Associates, Inc.  
Beijing, Cambridge, Köln, Paris, Sebastopol, 1999.
- [77] OLIVER DIEDRICH  
*Happy Birthday, Tux!*  
Zehn Jahre Freies Betriebssystem  
c't - Magazin für Computertechnik  
Heft 19, 2001, Seite 162 – 169.

- [78] WHITFIELD DIFFIE and MARTIN E. HELLMAN  
*New Directions in Cryptography*  
IEEE Transactions on Information Theory  
IT-22, **6** (1976), 644-654.
- [79] EDSGER DIJKSTRA  
*Goto Statement Considered Harmful*  
Communications of the ACM, Vol. 11 (1968), p. 147.
- [80] BERNHARD DOTZLER (Hrsg.)  
**Babbages Rechen-Automaten**  
Computerkultur Band VI  
Springer Verlag  
Wien, New York, 1996.
- [81] GEORGE DYSON  
**Turing's Cathedral**  
The Origins of the Digital Universe  
Allen Lane, Penguin Books, London, New York, 2012.
- [82] 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.
- [83] JENNIFER EDSTROM, MARLIN ELLER  
**Barbarians Led by Bill Gates**  
*Microsoft von innen betrachtet*  
MITP Verlag  
Bonn, 1999.
- [84] JAMES ESSINGER  
**Jacquard's Web**  
Oxford University Press, Oxford, 2004.
- [85] EUKLID  
**Die Elemente**  
Ostwalds Klassiker der exakten Naturwissenschaften  
Verlag Harri Deutsch  
Thun und Frankfurt am Main, 1997.
- [86] RICHARD P. FEYNMAN  
*There's Plenty of Room at the Bottom*  
URL: <http://www.zyvex.com/nanotech/feynman.html>
- [87] RICHARD P. FEYNMAN  
*Simulating Physics with Computers*  
Int. Jour. Theor. Phys. **21**, (1982), No. 6/7, 467-488.

- 
- [88] RICHARD P. FEYNMAN  
*Quantum Mechanical Computers*  
Foundations of Physics **16** (6), 1986, 507 – 531.
- [89] MICHAEL J. FLYNN  
*Some Computer Organizations and Their Effectiveness*  
IEEE Trans. Comput., Band C-21, S. 948960, 1972.
- [90] KENNETH W. FORD  
**Building the H Bomb**  
A Personal History  
World Scientific Press, Singapore, 2015.
- [91] LANCE FORTNOW  
*The Status of the P versus NP Problem*  
Communications of the ACM, **52**, 9, pp. 78 (2009).
- [92] LANCE FORTNOW and STEVE HOMER  
*A Short History of Computational Complexity*  
Bulletin of the European Association for Theoretical Computer Science,  
80 (2003).
- [93] PAUL FREIBERGER and MICHAEL SWAINE  
**Fire in the Valley**  
*The Making of the Personal Computer*  
Second Edition  
McGraw-Hill  
New York, San Francisco, 2000.
- [94] MARIANNE FREIBERGER, RACHEL THOMAS  
**Zahlenreich**  
Eine Entdeckungsreise in eine vertraute, fremde Welt  
Springer Verlag, Berlin, 2016.
- [95] W. BARKLEY FRITZ  
*ENIAC — A Problem Solver*  
*IEEE Annals of the History of Computing*  
Vol.16, No. 1, 1994, 25 — 45.
- [96] BILL GATES  
**The Road Ahead**  
Viking Penguin  
London, New York, 1995.
- [97] JON GERTNER  
**The Idea Factory**  
Bell Labs and the Great Age of American Innovation  
Penguin Books, New York, 2012.



- [98] JAMES GILLIES and ROBERT CAILLIAU  
**Die Wiege des Web**  
Die spannende Geschichte des WWW  
dpunkt Verlag  
Heidelberg 2002.
- [99] JAMES GLEICK  
**The Information**  
A History, a Theory, a Flood  
Fourth Estate  
London, 2011.
- [100] 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.
- [101] KURT GÖDEL  
*Über formal unentscheidbare Sätze der Principia Mathematica und verwandte Systeme I*  
Monatshefte für Mathematik und Physik  
**38** (1931), 173 - 198.
- [102] HERMAN H. GOLDSTINE  
**The Computer from Pascal to von Neumann**  
Princeton University Press  
Princeton, New Jersey, 1972.
- [103] VOLKER GRASSMUCK  
*Offene Quellen*  
Open Source – Betriebssystem für eine freiheitliche Gesellschaft  
Linux Magazin  
Heft 09, 2000, Seite 54 – 61.
- [104] JOHN GRIBBIN  
**Computing with Quantum Cats**  
From Colossus to Qubits  
Bantam Press, London, 2013.
- [105] DAVID ALAN GRIER  
**When Computers were Human**  
Princeton University Press  
Princeton, New Jersey, 2005.
- [106] ANDREW S. GROVE  
**Nur die Paranoiden überleben**  
Strategische Wendepunkte vorzeitig erkennen  
Die Intel Erfolgsstory  
Heyne Verlag, München, 1999.

- [107] HEINZ-PETER GUMM und MANFRED SOMMER  
**Einführung in die Informatik**  
Addison Wesley  
Bonn, Paris, Reading Massachusetts, 1994.
- [108] KATIE HAFNER und MATTHEW LYON  
**Arpa Kadabra**  
Die Geschichte des Internet  
dpunkt Verlag  
Heidelberg 1997.
- [109] E. HAIRER, G. WANNER  
**Analysis by Its History**  
UTM, Springer, 2008.
- [110] JON HALL  
*Happy Birthday*  
Gedanken zum LINUX-Jubiläum  
iX Magazin für professionelle Informationstechnik  
Oktober 2001, Seite 88 – 91.
- [111] RICHARD W. HAMMING  
*Error Detecting and Error Correcting Codes*  
The Bell System Technical Journal  
Vol. XXVI, No. 2, April 1950, pp. 147 – 161.
- [112] RICHARD W. HAMMING  
**Coding and Information Theory**  
Prentice Hall, Englewood Cliffs  
New Jersey, 1986.
- [113] DAVID HAREL  
**Das Affenpuzzle**  
und weitere bad news aus der Computerwelt  
Springer Verlag  
Berlin, Heidelberg, New York, 2002.
- [114] WILLIAM W. HARGROVE, FORREST M HOFFMAN, THOMAS STERLING  
*Der selbst gebastelte Supercomputer*  
in: *Supercomputing*  
Spektrum der Wissenschaft, Dossier 2/2007
- [115] JULIAN HAVIL  
**Gamma**  
Eulers Konstante, Primzahlstrände und die Riemannsche Vermutung  
Springer Verlag, Berlin, Heidelberg, 2007.
- [116] BRIAN HAYES  
*Im Reich der Terabytes*  
Omega, 4/2003, S. 47.

- [117] JEFF HECHT  
**City of Light**  
The Story of Fiber Optics  
Revised and Expanded Edition  
Oxford University Press, Oxford, 1999.
- [118] STEVE H. HEIMS  
**John von Neumann and Norbert Wiener**  
From Mathematics to the Technologies of Life and Death  
MIT Press, Cambridge, Massachusetts, 1980.
- [119] HANS DIETER HELIGE (Hrsg.)  
**Geschichten der Informatik**  
Visionen, Paradigmen, Leitmotive  
Springer Verlag  
Berlin, Heidelberg, New York, 2004.
- [120] JOHN L. HENNESSY and DAVID A. PATTERSON  
**Computer Architecture, A Quantitative Approach**  
Second Edition  
Morgan Kaufmann Publishers, San Francisco, 1990.
- [121] ROLF HERKEN  
**The Universal Turing Machine**  
A Half-Century Survey  
Springer Verlag  
Wien, New York 1995.
- [122] DAVID HILBERT  
**Die Hilbertschen Probleme**  
Ostwalds Klassiker der exakten Naturwissenschaften  
Band 252  
Verlag Harri Deutsch  
Frankfurt/Main, 1998.
- [123] MICHAEL HILTZIK  
**Dealers of Lightning: Xerox PARC and the Dawn of the Computer Age**  
Harper & Row, 2000.
- [124] ANDREW HODGES  
**Alan Turing, Enigma**  
Zweite Auflage  
Springer-Verlag  
Wien, New York, 1994.
- [125] DIRK W. HOFFMANN  
**Grenzen der Mathematik**  
Eine Reise durch die Kerngebiete der mathematischen Logik

- Spektrum Akademischer Verlag  
Heidelberg, 2011.
- [126] DIRK W. HOFFMANN  
**Die Gödelschen Unvollständigkeitssätze**  
Eine geführte Reise durch Kurt Gödels historischen Beweis  
Spektrum Akademischer Verlag  
Heidelberg, 2013.
- [127] DOUGLAS R. HOFSTADTER  
**Gödel, Escher, Bach**  
Ein Endloses Geflochtenes Band  
Klett Cotta  
Stuttgart, 1985.
- [128] JOHN E. HOPCROFT  
*Turingmaschinen*  
Spektrum der Wissenschaften, Juli 1984  
Seite 34.
- [129] ANTHONY HYMAN  
**Charles Babbage, 1791 – 1871**  
Philosoph, Mathematiker, Computerpionier.  
Ernst Klett Verlage GmbH u. Co. KG  
Stuttgart, 1987.
- [130] DANIEL ICHBIAH  
**Die Microsoft Story**  
Wilhelm Heyne Verlag  
München, 1996.
- [131] GEORGES IFRAH  
**Universalgeschichte der Zahlen**  
Campus Verlag  
Frankfurt/New York, 1998.
- [132] GEORGES IFRAH  
**The Universal History Of Computing**  
From the Abacus to the Quantum Computer  
John Wiley & Sons.  
New York, Chichester, 2001.
- [133] BERNHARD IRRGANG und JÖRG KLAWITTER  
**Künstliche Intelligenz**  
S. Hirzel, Wissenschaftliche Verlagsgesellschaft  
Stuttgart, 1990.
- [134] M.M. IRVINE  
*Early Digital Computers at Bell Telephone Laboratories*  
IEEE Annals of the History of Computing, July – Sept. 2001, 22 – 42.

- [135] WALTER ISAACSON  
**The Innovators**  
How a Group of Hackers, Geniuses and Geeks Created the Digital Revolution  
Simon & Schuster, London, 2014.
- [136] TIM JACKSON  
**Inside Intel**  
Die Geschichte des erfolgreichsten Chip-Produzenten der Welt  
Hoffmann und Campe Verlag  
Hamburg, 1998.
- [137] BRIAN JOHNSON  
**Streng Geheim**  
Wissenschaft und Technik im Zweiten Weltkrieg  
Wiener Verlag  
Himberg bei Wien, 1978.
- [138] DAVID KAHN  
**The Codebreakers**  
The Comprehensive History of Secret Communication from Ancient Times to the Internet  
Scribner, New York, 1996.
- [139] DAVID KAHN  
**Seizing the Enigma**  
Arrow Books, London, 1992.
- [140] ROBERT KAPLAN  
**Die Geschichte der Null**  
Piper Verlag  
München, 2003.
- [141] VICTOR J. KATZ  
**A History of Mathematics**  
An Introduction  
3rd Edition  
Addison Wesley  
Reading, Massachusetts, 2009.
- [142] BRIAN W. KERNINGHAN und DENNIS M. RITCHIE  
**Programmieren in C**  
Carl Hanser Verlag  
München, 1990.
- [143] EUGENE ERIC KIM, BETTY ALEXANDRA TOOLE  
*Ada und der erste Computer*  
Spektrum der Wissenschaft  
Juli 1999, Seite 80 - 85.

- 
- [144] RUDOLF KIPPENHAHN  
**Verschlüsselte Botschaften**  
Geheimschrift, Enigma und Chipkarte  
Rowohlt Verlag GmbH  
Reinbek bei Hamburg, 1997.
- [145] CHIGUSA ISHIKAWA KITA  
*J.C.R. Licklider's Vision for the IPTO*  
IEEE Annals of the History of Computing, July – Sept. 2003, 62 – 77.
- [146] MORRIS KLINE  
**Mathematical Thought From Ancient to Modern Times**  
Volumes 1 – 3  
Oxford University Press  
New York, Oxford, 1990.
- [147] WILLIAM KNEALE and MARTHA KNEALE  
**The Development of Logic**  
The Clarendon Press  
Oxford, 1962.
- [148] DONALD E. KNUTH  
**The Art of Computer Programming**  
VOLUME 1  
Fundamental Algorithms  
Third Edition  
Addison Wesley  
Reading, Massachusetts, 1997.
- [149] DONALD E. KNUTH  
**The Art of Computer Programming**  
VOLUME 2  
Seminumerical Algorithms  
Third Edition  
Addison Wesley  
Reading, Massachusetts, 1998.
- [150] DONALD E. KNUTH  
**The Art of Computer Programming**  
VOLUME 3  
Sorting and Searching  
Second Edition  
Addison Wesley  
Reading, Massachusetts, 1998.
- [151] THOMAS KOSHY  
**Fibonacci and Lucas Numbers with Applications**  
John Wiley & Sons, Inc.  
New York, Chichester, 2001.

- [152] DAVID LEAVITT  
**The Man Who Knew Too Much**  
Alan Turing and the Invention of the Computer  
W.W. Norton Company  
New York, London, 2006.
- [153] J. A. N. LEE  
**Computer Pioneers**  
IEEE Computer Society Press, Los Alamitos, Cal., 1995.
- [154] STEVEN LEVY  
**Hackers**  
Heros of the Computer Revolution  
Penguin Books Ltd  
New York, London, 1984.
- [155] STEVEN LEVY  
**Künstliches Leben aus dem Computer**  
Knaur  
München, 1996.
- [156] STEVEN LEVY  
**Crypto**  
How the Code Rebels Beat the Government—  
Saving Privacy in the Digital Age  
Penguin Books Ltd.  
New York, London, 2001.
- [157] J.C.R. LICKLIDER  
*Man-Computer Symbiosis*  
*IRE Transactions on Human Factors in Electronics*, 1, 4 – 11 (1960).
- [158] J.C.R. LICKLIDER, ROBERT W. TAYLOR  
*The Computer as a Communication Device*  
*Science and Technology*, April 1968.
- [159] HEINZ LÜNEBURG  
**Leonardi Pisani Liber Abbaci oder Lesevergnügen eines Mathematikers**  
2. Auflage  
BI Wissenschaftsverlag, Mannheim, 1993.
- [160] NORMAN MACRAE  
**John von Neumann**  
Mathematik und Computerforschung — Facetten eines Genies  
Birkhäuser Verlag  
Basel, Boston, Berlin, 1994.

- [161] CHRISTIAN MÄRTIN  
**Rechnerarchitekturen**  
CPUs, Systeme, Software-Schnittstellen  
Fachbuchverlag Leipzig  
im Carl Hanser Verlag  
München, Wien, 2001.
- [162] HUBERT MANIA  
**Gauß**  
Eine Biographie  
Rowohlt, 2014.
- [163] HERBERT MATIS  
**Die Wundermaschine**  
*Die unendliche Geschichte der Datenverarbeitung: Von der Rechenuhr zum Internet*  
MITP Verlag  
Bonn, 2002.
- [164] JOHN MCCARTHY  
*Recursive Functions of Symbolic Expressions and Their Computation by Machine, Part I*  
Communications of the ACM, 2 (4), 184 – 195 (1960).
- [165] 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.
- [166] CHRISTIAN J. MEIER  
**Eine kurze Geschichte des Quantencomputers**  
Wie bizarre Quantenphysik eine neue Technologie erschafft  
Telepolis, Heise Verlag, Hannover, 2015.
- [167] GERD MEISSNER  
**SAP, die heimliche Software Macht**  
Wilhelm Heyne Verlag  
München, 1999.
- [168] UTA C. MERZBACH and CARL B. BOYER  
**A History of Mathematics**  
Third Edition  
John Wiley & Sons, Inc. New Jersey, 2011.
- [169] NICHOLAS METROPOLIS  
*The Beginning of the Monte Carlo Method*  
Los Alamos Science, Special Issue, 1987.
- [170] NICHOLAS METROPOLIS and STANISLAW ULAM  
*The Monte Carlo Method*



- Journal of the American Statistical Association, **44** (247), 335 – 341 (1949).
- [171] 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.
- [172] NICOLAS METROPOLIS, J. HOWLETT, and GIAN-CARLO ROTA (Eds.)  
**A History of Computing in the Twentieth Century**  
Academic Press, New York, 1980.
- [173] 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.
- [174] MARVIN MINSKY  
**The Society of Mind**  
Simon & Schuster  
New York, London, Toronto, Sydney, Tokyo, Singapore, 1986.
- [175] GORDON E. MOORE  
*Cramming more Components onto Integrated Circuits*  
Electronics, Vol. 38, No. 8, April 1965.
- [176] JOHN NAPIER  
**The Construction of the Wonderful Canon of Logarithms**  
Blackwood and Sons, 1889.
- [177] FRIEDRICH NAUMANN  
**Vom Abakus zum Internet**  
Die Geschichte der Informatik  
Primus Verlag  
Darmstadt, 2001.
- [178] PETER NAUR and B. RANDELL (Eds.)  
**Software Engineering: Report on a Conference**  
Garmisch, 1968  
Brussels; NATO Scientific Affairs Division, 1968.
- [179] HANS NEUKOM  
*The Second Life of ENIAC*  
*IEEE Annals of the History of Computing*  
April – June, 2006.
- [180] MARGARET O'MARA  
**The Code**

- Silicon Valley and The Remaking of America  
Penguin Press, New York, 2019.
- [181] GERARD O'REGAN  
**A Brief History of Computing**  
Springer Verlag  
London, 2008.
- [182] GERARD O'REGAN  
**Giants of Computing**  
A Compendium of Select, Pivotal Pioneers  
Springer Verlag  
London, 2013.
- [183] JOHN PALFREMAN and DORON SWADE  
**The Dream Machine**  
Exploring the Computer Age  
BBC Books, London, 1992.
- [184] 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>
- [185] DAVID A. PATTERSON and JOHN L. HENNESSY  
**Computer Organization & Design**  
The Hardware/Software Interface  
Morgan Kaufmann Publishers, San Francisco, 1998.
- [186] ABRAHAM PELED  
*Die nächste Computer-Revolution*  
Sonderheft 6; Die nächste Computerrevolution  
Spektrum der Wissenschaften, 1988.
- [187] 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.
- [188] ROGER PENROSE  
**Das Große, das Kleine und der menschliche Geist**

- Spektrum Akademischer Verlag GmbH  
Heidelberg, Berlin, 1998.
- [189] PETER PESIC  
**Abels Beweis**  
Springer Verlag  
Berlin, Heidelberg, New York, 2007.
- [190] CHARLES PETZOLD  
**Code**  
The Hidden Language of Computer Hardware and Software  
Microsoft Press, Redmond, 2000.
- [191] CHARLES PETZOLD  
**The Annotated Turing**  
A Guided Tour through Alan Turing's Historic Paper on Computability  
and the Turing Machine  
Wiley Publishing  
Indianapolis, 2008.
- [192] JOHN R. PIERCE  
*The Early Days of Information Theory*  
IEEE Transactions on Information Theory, Vol. IT-19, 1, 3 – 8, (1973).
- [193] JOHN R. PIERCE  
**An Introduction to Information Theory**  
Symbols, Signals and Noise  
Dover Publications, Inc.  
New York, 1980.
- [194] MARK PRIESTLEY  
**A Science of Operations**  
Machines, Logic and the Invention of Programming  
Springer Verlag  
London, 2011.
- [195] 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.
- [196] CONSTANCE REID  
**Hilbert**  
Springer Verlag  
New York, 1996.
- [197] T.R. REID  
**The Chip**

- How Two Americans Invented the Microchip and Launched a Revolution  
Random House, New York, 2001.
- [198] RICHARD RHODES  
**Dark Sun**  
The Making of the Hydrogen Bomb  
Touchstone Simon & Schuster  
New York, 1996.
- [199] 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.
- [200] MICHAEL RIORDAN und LILIAN HODDESON  
*Der Beginn der Mikroelektronik*  
Spektrum der Wissenschaft  
März 3/1998, Seite 80.
- [201] 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.
- [202] DENNIS M. RITCHIE  
*The Development of the C Language*  
Second History of Programming Languages conference  
Cambridge, Mass. April 1993.
- [203] RAÚL ROJAS  
*Konrad Zuses Rechenmaschinen: sechzig Jahre Computergeschichte*  
Spektrum der Wissenschaften  
Mai 1997, Seite 54.
- [204] RAÚL ROJAS (Hrsg.)  
**Die Rechenmaschinen von Konrad Zuse**  
Springer Verlag  
Berlin, Heidelberg, New York, 1998.
- [205] WINSTON W. ROYCE  
*Managing the Development of Large Software Systems*  
*Proceedings IEEE WESCON*, August 1970, pp. 1–9.  
<http://leadinganswers.typepad.com/>
- [206] STUART RUSSELL and PETER NORVIG  
**Artificial Intelligence**  
A Modern Approach  
Prentice Hall  
New Jersey, 1995.

- [207] LUCIA RUSSO  
**Die vergessene Revolution**  
oder die Wiedergeburt des antiken Wissens  
Springer Verlag, Berlin, 2005.
- [208] ANTHONY E. SALE  
*The Rebuilding of Colossus at Bletchley Park*  
IEEE Annals of the History of Computing  
July – September 2005, 61 – 69.
- [209] PETER SALUS  
**Casting the Net: From ARPANET to INTERNET and Beyond**  
Addison Wesley, 1995.
- [210] MARCUS DU SAUTOY  
**Eine mathematische Mystery Tour durch unser Leben**  
Verlag C.H. Beck, München, 2011.
- [211] ERIC SCHLOSSER  
**Command and Control**  
Penguin Books, New York, 2013.
- [212] BRUCE SCHNEIER  
**Applied Cryptography**  
Protocols, Algorithms and Source Code in C  
John Wiley & Sons, Inc.  
New York, 1996.
- [213] BRUCE SCHNEIER  
**Secrets & Lies**  
Digital Security in a Networked World  
John Wiley & Sons, Inc.  
New York, 2000.
- [214] MANFRED R. SCHROEDER  
**Number Theory in Science and Communication**  
*With Applications in Cryptography, Computing, Physics, Digital Informa-  
tion, and Self-Similarity*  
Third Edition  
Springer Verlag  
Berlin, Heidelberg, New York, 1997.
- [215] HUGH SEBAG-MONTEFIORE  
**Enigma**  
The Battle For The Code  
Phoenix, London, 2000.
- [216] CLAUDE E. SHANNON  
*A Mathematical Theory of Communication*  
The Bell System Technical Journal, Vol. **27**, 1948, 379 - 423.

- [217] CLAUDE E. SHANNON and WARREN WEAVER  
*The Mathematical Theory of Communication*  
University of Illinois Press, 1998.
- [218] RONALD W. SHONKWILER and FRANKLIN MENDIVIL  
**Explorations in Monte Carlo Methods**  
UTM, Springer Verlag, Dordrecht, 2009.
- [219] PETER W. SHOR  
*Polynomial-Time Algorithms for Prime Factorization and Discrete Logarithms on a Quantum Computer*  
SIAM Journal on Computing. 26/1997, S. 14841509 (arXiv:quant-ph/9508027).
- [220] JOEL N. SHURKIN  
**Broken Genius**  
The Rise and Fall of William Shockley Creator of the Electronic Age  
MacMillan, London, 2006.
- [221] SIMON SINGH  
**Geheime Botschaften**  
*Die Kunst der Verschlüsselung von der Antike bis in die Zeiten des Internet*  
Carl Hanser Verlag  
München, Wien, 2000.
- [222] SIMON SINGH  
**Big Bang**  
Harper Perennial  
London, 2005.
- [223] 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).
- [224] N.J.A. SLOANE and AARON D. WYNER (Eds.)  
**Claude Elwood Shannon**  
Collected Papers  
IEEE Press  
New York, 1993.
- [225] BRUCE L.R. SMITH  
**The RAND Corporation**  
Case Study of a Nonprofit Advisory Corporation  
Harvard University Press  
Cambridge, Massachusetts, 1966.

- [226] THOMAS SONAR  
*Die Berechnung der Logarithmentafeln durch Napier und Briggs*  
[www.rechenschieber.org/sonar.pdf](http://www.rechenschieber.org/sonar.pdf)
- [227] ANDREAS STILLER  
*Fröhliche Oldies*  
Der PC feiert seinen 20. Geburtstag  
c't - Magazin für Computertechnik  
Heft 16, 2001, Seite 172 – 177.
- [228] JOHN STILLWELL  
**Mathematics and its History**  
Second Edition  
Springer, Berlin, Heidelberg, New York, 2002.
- [229] DORON D. SWADE  
*Der mechanische Computer des Charles Babbage*  
Spektrum der Wissenschaft  
April 1993, Seite 78.
- [230] 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.
- [231] CHRISTOF TEUSCHER (Ed.)  
**Alan Turing: Life and Legacy of a Great Thinker**  
Springer Verlag  
Berlin, Heidelberg, 2004.
- [232] LINUS TORVALDS, DAVID DIAMON  
**Just for Fun**  
Wie ein Freak die Computerwelt revolutionierte  
Carl Hanser Verlag  
München, Wien, 2001.
- [233] 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.
- [234] ANDREW J. VITERBI  
*Information Theory in the Sixties*  
IEEE Transactions on Information Theory, Vol. IT-19, 3, 257 – 262,  
(1973).
- [235] HANNSPETER VOLTZ  
**Menschen und Computer**

Markt & Technik Buch – und Software – Verlag GmbH & Co.  
Haar bei München, 1993.

- [236] 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.
- [237] JOHN VON NEUMANN  
**The Computer and the Brain**  
Second Edition  
Yale University Press  
New Haven, London, 2000.
- [238] EDGAR P. VORNDRAN  
**Entwicklungsgeschichte des Computers**  
2., überarbeitete Auflage  
VDE Verlag  
Berlin und Offenbach, 1986.
- [239] M. MITCHELL WALDROP  
**The Dream Machine**  
J.C.R. Licklider and the Revolution That Made Computing Personal  
Viking Peguin, New York, 2001.
- [240] M. MITCHELL WALDROP  
*Mehr als Moore*  
<http://www.spektrum.de/news/mehr-als-moore/1405206>
- [241] IAN WATSON  
**The Universal Machine**  
From the Dawn of Computing to Digital Consciousness  
Springer Verlag  
Berlin, Heidelberg, 2012.
- [242] MARK WEISER  
*The Computer for the 21st Century*  
Scientific American, September 1991, 94 – 104.
- [243] ROBERT WEISS  
**Mit dem Computer auf Du**  
Midas Verlag  
Männedorf, Schweiz, 1993.
- [244] H.R. WIELAND  
**Computergeschichte(n) — nicht nur für Geeks**  
Von Antikythera zur Cloud  
Galileo Press  
Bonn, 2011.



- [245] NORBERT WIENER  
**Cybernetics**  
or Control and Communication in the Animal and the Machine  
Second edition  
The MIT Press  
Cambridge, Massachusetts, 1998.
- [246] STEPHEN WIESNER  
*Conjugate Coding*  
SIGACT News **15**, 78 (1983).
- [247] MAURICE V. WILKES  
**Computer Perspectives**  
Morgan Kaufmann Publishers Inc.  
San Francisco, California, 1995.
- [248] COLLIN P. WILLIAMS and SCOTT H. CLEARWATER  
**Ultimate Zero and One**  
Computing at the Quantum Frontier  
Copernicus, Springer Verlag  
New York, 2000.
- [249] 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.
- [250] MICHAEL R. WILLIAMS  
**History of Computing Technology**  
IEEE Computer Society Press  
Los Alamitos, 1997.
- [251] J.B. WILLIAMS  
**The Electronics Revolution**  
Inventing the Future  
Springer, 2017.
- [252] JACK K. WOLF  
*A Survey of Coding Theory: 1967 – 1972*  
*IEEE Transactions on Information Theory*, Vol. IT-19, 4, 381 – 389,  
(1973).
- [253] CHRISTIAN WURSTER  
**Computers**  
Eine illustrierte Geschichte  
Taschen Verlag  
Köln, 2002.
- [254] NOSON S. YANOFSKY, MIRCO A. MANNUCCI  
**Quantum Computing for Computer Scientists**

Cambridge University Press,  
Cambridge, 2008.

- [255] LOTFI ZADEH  
*Fuzzy Sets*  
Information and Control  
Vol. 8 (1965), pp. 338 – 353.

**Online-Quellen**

- [256] IEEE  
<http://www.computer.org/history>
- [257] Charles Babbage Institute  
<http://cbi.umn.edu/tc-html>
- [258] Department of Computer Science, Virginia Tech  
<http://ei.cs.vt.edu/~history/>
- [259] Heinz Nixdorf Museum, Paderborn  
<http://www.hnf.de/index.html>
- [260] Bletchley Park  
<http://www.codesandciphers.org.uk/>
- [261] The Computer History Museum Center  
<http://www.computerhistory.org/>
- [262] CED in the History of Media Technology  
<http://www.cedmagic.com/history>
- [263] Das Online Computer Museum  
<http://www.old-computers.com>
- [264] Abakus  
<http://home.t-online.de/home/benjamin.wrightson/abakus/abakus.html>
- [265] LEO  
<http://leo-computers.org.uk/pageone.htm>
- [266] Alan Turing Home Page  
<http://www.turing.org.uk>
- [267] The Turing Archive for the History of Computing  
<http://www.alanturing.net>
- [268] National Archive for the History of Computing  
<http://www.chstm.man.ac.uk/nahc/>
- [269] The Virtual Museum of Computing  
<http://icom.museum/vlmp/computing.html>
- [270] DOUGLAS ENGELBARTS Demo  
[sloan.stanford.edu/mousesite/1968Demo.html](http://sloan.stanford.edu/mousesite/1968Demo.html)
- [271] CLAUDE E. SHANNON, Father of the Information Age  
[http://www.youtube.com/watch?v=z2Whj\\_nL-x8](http://www.youtube.com/watch?v=z2Whj_nL-x8)

- [272] Timeline Speichertechnologie  
<http://www.computerhistory.org/timeline/memory-storage>
- [273] Timeline Programmiersprachen  
<http://www.computerhistory.org/timeline/software-languages>
- [274] Timeline Mikroprozessoren  
<http://processortimeline.info/>

# Index

- 386er, 111
- 3COM, 102
- 486SX, 116
- 486er, 114
  
- 4004, 91
- 8008, 92
- 8080, 94
- 8086, 101
- 8088, 103
- 68000, 102
- 80286, 105
- 80386, 110
  
- Abakus, 1
- ABRAMSON, NORMAN, 88
- ACE, 56
- Acorn, 107
- ACTON, BRIAN, 129
- ADA, 104
- ADLEMAN, LEO, 100, 107, 119
- Adobe, 87
- Adobe Systems, 106
- Advanced Micro Devices, 84
- Advanced Research Project Agency, 82
- AES, 123
- Agiles Manifest, 124
- AIEE, 56
- AIKEN, HOWARD H., 48
- ALGOL, 70
- ALLEN, PAUL, 96, 132
- ALOHAnet, 88
- Alpha RISC, 118
- Altair, 96
- Alto, 93
- Amazon, 128
  
- AMD, 84, 126
- AMDAHL, GENE, 67
- Analytical Engine, 24
- ANDERSON, HARLAN, 69
- ANDREESSEN, MARC, 119, 130
- ANSI, 76
- ANSI C, 114
- ANSI C++, 120
- Antikythera, 3
- Apache, 120
- Apollo Guidance Computer, 85
- Apple, 99, 108, 116, 118, 127
  - iPad, 129
  - iPhone, 127
  - iPod, 124
  - Leopard, 128
- Apple 1, 130
- Apple Lisa, 107
- Apple Macintosh, 107
- Apple Watch, 130
- Arbeitsspeicher, 53
- ARM-Prozessor, 107
- ARPA, *siehe* Advanced Research Project Agency
- Arpanet, 82, 115
- AS/400, 113
- ASCII-Code, 76
- ASSANGE, JULIAN, 127
- ATANASOFF, JOHN VINCENT, 44
- AUGUSTA ADA COUNTESS OF LOVE-LACE, 27
  
- BÜRGL, JOST, 7
- BABBAGE, CHARLES, 20
- BACKUS, JOHN, 67, 69
- BALLMER, STEVE, 123
- Barcode, 59

- BARDEEN, JOHN, 60  
BASIC, 79  
BCPL, 80  
BECHTOLSHEIM, ANDREAS VON, 88  
Bell Laboratories, 33  
Bell Labs, 44  
BENNETT, CHARLES, 109  
BERNERS-LEE, TIM, 114, 115, 126, 130  
BERRY, CLIFFORD, 44  
Bit, 62  
Bletchley Park, 46  
Blu-Ray, 129  
Blu-Ray Disc, 127  
BOEHM, BARRY W., 114  
BOOLE, GEORGE, 18, 29  
BOOLEsche Algebra, 39  
BOOLEsche Algebra, 29  
Borland, 107  
Borland International, 105  
BRASSARD, GILLES, 109  
BRATTAIN, WALTER H., 60  
BRIGGS, HENRY, 8  
Briggssche Logarithmen, 8  
BUFFON, GEORGES-LOUIS LECLERC DE, 19  
BUFFONSches Nadelproblem, 19  
Bundesamt für Sicherheit in der Informationstechnologie, 117  
BURKS, ARTHUR W., 56  
Burroughs, 81  
Bus, 53  
BUSH, VANNES, 56  
  
C, 85  
C++, 35  
C++, 104  
C64, 105  
Cache-Speicher, 79  
CAD, 79  
Capability Maturity Model, 112  
CCITT, 109  
CD-ROM, 108  
CDC, 69, 70  
CDC 6600, 79  
CeBIT, 111, 132  
  
Centronics, 88  
CERF, VINTON, 94, 96, 130  
CERT, *siehe* Computer Emergency Response Team  
Chip, 74  
CLARK, JIM, 119  
Cluster, 119  
COBOL, 70, 105  
CODD, EDGAR FRANK, 85  
Codierung, 28  
COHEN, FRED, 107  
COLMENAUER, ALAIN, 92  
Colossus, 46  
Comet, 105  
Commodore, 104, 105  
Compaq, 105, 106, 121, 124, 125  
Compiler, 66  
Computer Emergency Response Team, 114, 125  
Computervirus, 107  
COOK, STEPHEN, 92  
COOPER, MARTIN, 94  
CP/M, 100  
CRAY, SEYMOUR, 70, 79, 115  
CRAY 3, 115  
Cray Computer Corporation, 115  
CRAY I, 97  
Cray Research, 93  
CRAY X-MP, 106  
CRAY XP, 111  
CRAY Y-MP C90, 117  
Cray, Seymour, 97  
CROCKER, STEVE, 82  
Cyberspace, 109  
  
DAEMEN, JOAN, 123  
Dahl, Ole-Johan, 80  
DANTZIG, GEORGE B., 58  
DARPA, 114  
Data Encryption Standard, 100  
Datenbankmodell, relationales, 85  
Datenwege, 53  
DATEV, 80  
dBase II, 104  
DEC, 69, 79, 100, 101, 113, 118, 121  
DEC PDP-8, 79

- DEC PDP-1, 69  
 DELL, MICHAEL, 109  
 Dell Computer, 109, 125  
 DeMarco, Tom, 102  
 DEUTSCH, DAVID, 111  
 Difference Engine, 20  
 DIFFIE, WHITFIELD, 99  
 Digital Research, 102  
 DIJKSTRA, EDSGER, 81, 125  
 Diophantische Gleichungen, 40  
 Domain Name Service, 107  
 DOS, 102  
  
 eBay, 120  
 Echtzeitverarbeitung, 65  
 ECKERT, JOHN P., 50, 58, 64  
 Eckert–Mauchly Computer Corporation, 58  
 EDS, 75  
 EDVAC, 51, 64  
 Electronic Control Company, 56  
 Elemente, 5  
 ENGELBART, DOUGLAS, 72, 82, 130  
 ENIAC, 50  
 Enigma, 36  
 Entscheidungsproblem, 63  
 ESTRIDGE, DON, 104, 110  
 Ethernet, 86, 94, 103, 110  
 Ethernet, 100Gigabit, 129  
 Euklid, 5  
 Euklidischer Algorithmus, 5  
 EVERETT, ROBERT, 65  
  
 Facebook, 126, 130  
 Fairchild Semiconductor, 72  
 Fairchild Semiconductor Corporation, 69  
 Fall Joint Computer Conference, 82  
 Fast Ethernet, 120  
 FEYNMAN, RICHARD, 70, 106  
 FIBONACCI, 5  
 FIPS, 82  
 Firefox, 126  
 Floppy Disk, 88  
 FLOWERS, TOMMY, 46  
 FLYNN, MICHAEL, J., 80  
  
 FORRESTER, JAY, 65  
 Forrester, Jay, 65  
 FORTRAN, 67  
 FTP-File Transfer Protocol, 92  
 Fuzzy-Logik, 79  
  
 GÖDEL, KURT, 41  
 GATES, WILLIAM, 96  
 Gates, William, 123  
 GESCHKE, CHARLES, 106  
 GIBSON, WILLIAM, 109  
 Gigabit Ethernet, 122  
 GOLDBERG, ADELE, 93  
 GOLDSTINE, HERMAN, 52, 55  
 Google, 122, 130  
 Google Maps, 127  
 GOSLING, JAMES, 120  
 Graphical User Interface, 87  
 GROVE, ANDY, 81  
 GSM, 115  
  
 Halteproblem, 41  
 HAMMING, RICHARD W., 62, 121  
 Harvard MARK I, 48  
 HAYES, DENNIS, 101  
 HEATHERINGTON, DALE, 101  
 HELLMAN, E. MARTIN, 99  
 HENNESSY, JOHN, 104  
 HEWLETT, WILLIAM, 44  
 Hewlett Packard, 108, 111, 113, 124  
 Hewlett–Packard, 44  
 HILBERT, DAVID, 39  
 Hilberts zehntes Problem, 40  
 Hitachi, 108, 125  
 HOLLERITH, HERMAN, 30  
 HOPP, DIETMAR, 92  
 HOPPER, GRACE, 70  
 Hopper, Grace, 66  
 HTML, *siehe* Hypertext Markup Language, 118  
 HTTP-Protokoll, 118  
 HUGHES, CHRIS, 126  
 Hypertext Markup Language, 114  
  
 IAS, 66

- IBM, 31, 66, 68, 79, 100, 113, 115,  
116, 118, 125–127  
IBM 605, 66  
IBM PC–XT, 106  
IBM System/360, 79  
IBM–AT, 108  
IBM–PC, 104  
ICANN, 123  
IEEE, 56, 76, 110, 120, 121  
IEEE 802.11, 121  
Informationstheorie, 61  
INGALS, DAN, 93  
Integrierter Schaltkreis, 70  
Intel, 91, 92, 101, 105, 110, 116, 118,  
121, 127  
    Core Duo, 127  
Internet, 82, 96, 115, 119  
Internet Explorer, 120  
IPv4, 122  
IPv6, 122  
ISDN, 109  
ISO/OSI-Modell, 103  
Itanium, 124  
  
JACQUARD, JOSEPH-MARIE, 20  
Jacquard, Joseph-Marie, 26  
Java, 120  
JOBS, STEVE, 99, 108, 127, 129  
  
Künstliche Intelligenz, 68  
KAHN, PHILLIPE, 105  
KAHN, ROBERT, 96, 130  
KAY, ALAN, 87, 93  
Kemeny, John G., 79  
Kepler, Johannes, 15  
KERNIGHAN, BRIAN W., 85  
KILBY, JACK, 70  
Kilby, Jack, 123  
KILDALL, GARY, 100  
Kindle, 128  
KNUTH, DONALD E., 74  
Komplexitätstheorie, 92  
KOUM, JAN, 129  
KURTZ, THOMAS E., 79  
Kybernetik, 58  
  
Laptop, 87  
  
Laserdrucker, 86, 108  
LEIBNIZ, GOTTFRIED WILHELM, 18  
LEO, 66  
LEONARDO VON PISA, 5  
Levono, 126  
Liber Abbaci, 5  
Linus, 118  
LINUX, 115, 117  
LISP, 71  
Local Area Network, 101  
Lochkarte, 31  
Logarithmentafel, 7  
Logarithmus  
    Charakteristik, 9  
    Mantisse, 9  
Lotus 1-2-3, 105  
Lotus Notes, 110  
Lyons, 66  
  
Macintosh, 108  
Manchester MARK I, 58  
MANIAC, 66  
MARKOV-Prozess, 63  
Matrixspeicher, 65  
MAUCHLY, JOHN W., 50, 58, 64  
Maus, 73  
McCARTHY, JOHN, 71  
McCarthy, John, 68  
McCULLOCH, WARREN, 47  
METCALFE, ROBERT, 87, 94, 102  
METROPOLIS Simulationsalgorithmus,  
67  
METROPOLIS, NICHOLAS, 66  
METROPOLIS, NICHOLAS, 66  
METROPOLIS, NIKOLAS, 59  
Microsoft, 96, 104, 110, 120, 124,  
126  
    MS-DOS 6.0, 118  
    Vista, 127  
    Windows 2.0, 112  
    Windows NT, 119  
Mikroprogrammierung, 65  
MINSKY, MARVIN, 131  
Minsky, Marvin, 68  
MIPS, 116  
Mittlere Datentechnik, 66



- MMX, 121  
 MOCKAPETRIS, PAUL, 107  
 Monte Carlo Simulation, 19  
 Monte Carlo Verfahren, 59, 67  
 MOORE, GORDON, 77, 81  
 Moore School Lectures, 54  
 Moore School of Science, 47  
 MOORESches Gesetz, 77  
 MORSE, SAMUEL, 28  
 MORSE-Code, 28  
 MOSKOVITZ, DUSTIN, 126  
 Motorola, 35, 94, 102, 116  
 MS Word, 107  
 MS-DOS, 104  
  
 Nadel-Drucker, 88  
 NAPIER, JOHN, 7  
 National Cash Register Corporation, 30  
 National Science Foundation, 110  
 Ncube, 107  
 Netscape, 119  
 Neuronale Netze, 47  
 NEWMAN, MAX, 46  
 Newton, 118  
 NEWTON, ISAAC, 18  
 NeXT Incorp., 110  
 NIST, 100  
 Nixdorf, 105  
 NIXDORF, HEINZ, 111  
 Nixdorf, Heinz, 66  
 NORTON, PETER, 105  
 NOYCE, ROBERT, 81  
 NSA, 130  
 Nygaard, Kristen, 80  
 Nyquist Shannon Theorem, 61  
  
 Objektorientierte Programmiersprachen, 87, 104  
 OLSEN, KENNETH, 69, 100  
 OMIDYAR, PIERRE, 120  
 Open System Foundation, 113  
 Open UNIX Group, 110  
 Operations Research, 56, 63  
 Optimierung  
     mathematische, 63  
     Optimierungsmodell, 63  
 ORACLE, 103  
 Oracle, 129  
 OS/2, 116  
 OUGHTRED, WILLIAM, 15  
  
 PA-RISC, 111  
 PACKARD, DAVID, 44  
 Pagemaker, 110  
 PAKE, GEORGE, 86  
 Pascal, 81, 92  
 PASCAL, BLAISE, 18  
 PATTERSON, DAVID A., 104, 112  
 Pentium, 118  
 Pentium II, 121  
 Pentium III, 122  
 Pentium IV, 123  
 PentiumPro, 120  
 PERL, 111  
 PEROT, H. ROSS, 75  
 Personal Digital Assistant, 118  
 Philips, 108  
 PITTS, WALTER, 47  
 Plankalkül, 50  
 PLATTNER, HASSO, 92  
 POSTEL, JON, 92  
 PostScript, 87, 106  
 POUZIN, LOUIS, 130  
 PowerPC, 116, 125  
 Public-Key Kryptographie, 99  
  
 Quantencomputer, 132  
 Quantum Artificial Intelligence Lab, 130  
 Quantum Computing, 130  
 Quantum Flagship, 132  
 Quantum key distribution, 125  
  
 RAID, *siehe* Redundant Array of Independent Disks  
 RAMAC, 68  
 RAND, 56  
 RATLIFF, WAYNE, 104  
 Rechenstäbchen, 7  
 Redundant Array of Independent Disks, 112

- Relationale Datenbank, 103  
Remington Rand, 65  
Replica, 18  
RFC, 82  
RICHARDS, MARTIN, 80  
RIJMEN, VINCENT, 123  
Rijndael, 123  
RISC, 115  
RISC Prozessor, 104  
RITCHIE, DENNIS, 115  
RITCHIE, DENNIS, 35, 83, 85, 92, 129  
RITTY, JAMES, 30  
Rivest, Ronald, 100  
ROUSSEL, PHILLIP, 92  
ROYCE, WINSTON, 85  
RS-232-C, 82  
RS/6000, 115  
RSA-Verschlüsselung, 100  
  
SAA, 111  
SAGE, 76  
SAP, 92, 122  
SAP R/3, 116  
SAVERIN, EDUARDO, 126  
SCAROTT, GORDON, 79  
SCHICKARD, WILHELM, 15  
SCHREYER, HELMUT, 43  
SCOTT, DANA, 88  
Shamir, Adi, 100  
SHANNON, CLAUDE, 39, 61, 124  
Shannon, Claude, 68  
SHOCKLEY, WILLIAM B., 60  
SHOCKLEY, WILLIAM, 67  
SHOR, PETER W., 119  
Short Message Service, 118  
Sieb des Eratosthenes, 3  
Siemens 2002, 69  
Siemens-Nixdorf, 66  
Silicon Valley, 44, 67  
SILVER, BERNARD, 59  
SIMONYI, CHARLES, 96  
Simplex Verfahren, 58  
SIMULA, 80  
Simulation, 63  
Simulationsmodell, 63  
  
Smalltalk, 87, 93  
SMS, 118  
SNA, 96  
SNOWDEN, EDWARD, 130  
Software-Engineering, 81  
Sony, 108, 127  
SPEC, 115  
Spiralmodell, 114  
Stanford Research Institute, 72, 82  
Stellenwertsystem, 6  
STIBITZ, GEORGE, 44  
STROUSTRUP, BJARNE, 35, 104  
Strukturgröße, 78  
Strukturierte Analyse, 102  
SUN, 105, 129  
SuSE, 118  
System Nixdorf 8870, 95  
  
Tabulating Machine Company, 31  
TAYLOR, ROBERT W., 88  
TAYLOR, ROBERT W., 86  
TCP, 96, 106  
TCP/IP, 106  
Telnet, 92  
Texas Instruments, 70  
Thinking Machine, 107  
THOMPSON, KEN, 35, 83  
Tintenstrahldrucker, 100  
Token Ring, 110  
TOMLINSON, RAY, 92, 131  
TORVALDS, LINUS, 115  
TRADIC, 67  
Transistor, 60  
Transmission Control Protocol, 94  
Traveling Salesman Problem, 92  
TSCHIRA, KLAUS, 92  
Turbo Pascal, 107  
TURING, ALAN, 39, 80  
Turing Award, 80  
Turing Maschine, 39  
Turing Test, 62  
Turing, Alan, 56, 62  
  
Ubiquitous computing, 117  
ULAM, STANISLAW, 59  
Unidata, 96

- Unisys Corporation, 111  
UNIVAC, 65, 66  
Universal Serial Bus, 120  
Universelle TURING Maschine, 42  
UNIX, 83, 108  
Unvollständigkeitssatz, 41  
USB 2.0, 124  
  
VAX, 100  
Very Large Scale Integration, 91  
Vigenère Verschlüsselung, 26  
Visicalc, 101  
Visual Basic, 119  
VON NEUMANN, JOHN, 51  
VON NEUMANN Rechnerarchitektur,  
42, 52  
von Neumann, John, 66  
  
W3C, 121  
WALL, LARRY, 111  
WARNOCK, JOHN, 87, 106  
Warteschlangentheorie, 63  
Wasserfall Modell, 85  
WATSON, THOMAS, 66  
WEISER, MARK, 117  
WhatsApp, 129, 130  
Whirlwind, 65  
WIENER, NORBERT, 58  
WIESNER, STEPHEN, 108  
Wikileaks, 127  
Wikipedia, 125  
WILKES, MAURICE, 65, 79  
Windows 1.0, 110  
Windows 2000, 123  
Windows 3.0, 115  
Windows 95, 120  
Windows 98, 121  
Windows XP, 124  
WIRTH, NIKLAUS, 81, 88, 92  
WOODLAND, NORMAN JOSEPH, 59  
Wordstar, 101  
World Wide Web Consortium, 119  
WOZNIAK, STEPHEN G., 93, 99  
  
X/Open, 110  
Xenix, 103  
  
Xerox, 86  
XeroxPARC, 86  
XML, 121  
Xuanpan, 1  
  
YouTube, 127  
  
Z1, 43  
Z3, 45  
ZADEH, LOTFI, 79, 132  
Zentralprozessor, 53  
ZIMMERMANN, PHIL, 116  
ZUCKERBERG, MARK, 126  
ZUSE, KONRAD, 43, 50