

***dies ist die weiterführende und ausführliche Version zur Print-Darstellung
in der Publikation „50 Jahre DVV BW“***

Vom Abakus zum Quanten-Computer

Ein Schnelldurchlauf durch die Geschichte des Computers

Schon vor Tausenden von Jahren erkannten Menschen, dass für das Speichern und Verarbeiten von Daten und Informationen technische Hilfsmittel vorteilhaft sind, und mit ihnen ihre eignen unzureichenden Möglichkeiten ausgeglichen werden können. Die ersten Formen von Speichermedien waren wohl Holzstöckchen, auf denen Hirten mit Kerben die Anzahl der Tiere ihrer Herden speicherten.

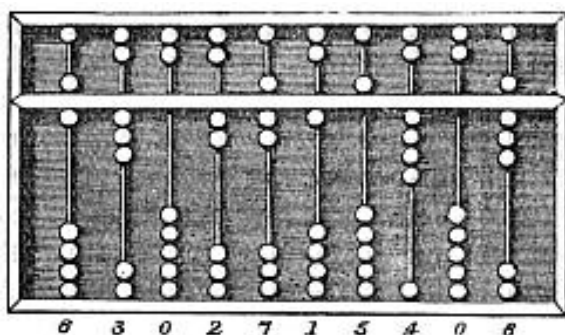
Die Entwicklungsgeschichte der Informationsverarbeitung umfasst dabei deutlich mehr, als nur mechanische bzw. elektrische Hilfsmittel (Hardware). Sie umfasst z. B. auch die Entwicklung von Zahlensystemen und Rechenmethoden, wie sie zunächst für Vorgänge auf Papier und Tafeln entwickelt wurden.

Im Folgenden wird versucht, einen kurzen Überblick über diese Entwicklungen zu geben.

Ziffern, Zahlen und Mathematik sind die Basis der modernen IT

Zunächst wurden Zahlen „erfunden“ weil sie neben dem reinen Merken von Mengen wichtig auch für die Kommunikation zweier Individuen waren, die sich über ihre jeweiligen Mengen von irgend etwas austauschen wollten. Die Weiterentwicklung war dann der Übergang von der reinen Anzahlbenennung zum Gebrauch mathematischer Rechenoperationen wie Addition, Subtraktion, Multiplikation und Division; auch Quadratzahlen und Quadratwurzel sind hierunter zu fassen. Diese Operationen wurden in Formeln dargestellt und dadurch überprüfbar. Im Mittelalter erreichte das ursprünglich aus Indien stammende arabische Zahlensystem Europa und erlaubte eine größere Systematisierung bei der Arbeit mit Zahlen. Es erlaubte die Darstellung von Zahlen, Ausdrücken und Formeln auf Papier und die Tabellierung von mathematischen Funktionen wie der Quadratwurzel, des einfachen Logarithmus und trigonometrischer Funktionen.

Erste Entwicklungen von Rechenmaschinen und -hilfsmitteln

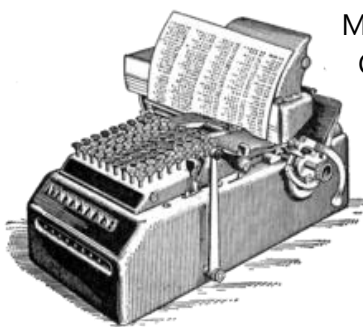


Das früheste Gerät, das in rudimentären Ansätzen mit einem heutigen Computer verglichen werden kann, ist der Abakus, eine mechanische Rechenhilfe, die vermutlich um 1100 v. Chr. im indochinesischen Kulturraum erfunden wurde. Der Abakus wurde bis ins 17. Jahrhundert benutzt und dann durch die ersten Rechenmaschinen ersetzt. In einigen Regionen der Welt wird der Abakus auch heute noch immer verwendet.

1623 baute Wilhelm Schickard die erste Vier-Spezies-Maschine mit getrennten Werken für Addition/Subtraktion und Multiplikation/Division und damit den ersten mechanischen Rechner, wodurch er zum „Vater der Computerära“ wurde. Seine Konstruktion basierte auf dem Zusammenspiel von Zahnrädern, die im Wesentlichen aus dem Bereich der Uhrmacherskunst stammten.

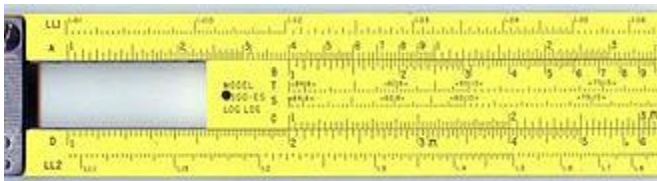
1642 folgte Blaise Pascal mit seiner Zweispezies-Rechenmaschine, der Pascaline. 1673 baute Gottfried Wilhelm Leibniz seine erste Vierspezies-Maschine und erfand 1703 (erneut) das binäre Zahlensystem (Dualsystem), das später die Grundlage für die Digitalrechner und darauf aufbauend die digitale Revolution wurde.

1805 nutzte Joseph-Marie Jacquard Lochkarten, um Webstühle zu steuern. 1820 baute Charles Xavier Thomas de Colmar das „Arithmometer“, den ersten Rechner, der in Massenproduktion hergestellt wurde und somit den Computer für Großunternehmen erschwinglich machte. Charles Babbage entwickelte von 1820 bis 1822 die Differenzmaschine (englisch Difference Engine). 1843 bauten Edvard und George Scheutz in Stockholm den ersten mechanischen Computer nach den Ideen von Babbage. Im gleichen Jahr entwickelte Ada Lovelace eine Methode zur Programmierung von Computern nach dem Babbage-System und schrieb damit das erste Computerprogramm. 1890 wurde die US-Volkszählung mit Hilfe des Lochkartensystems von Herman Hollerith durchgeführt. 1912 baute Torres y Quevedo eine Schachmaschine, die mit König und Turm einen König matt setzen konnte,– und somit den ersten Spielcomputer.



Mechanische Rechner wie die darauf folgenden Addierer, der Comptometer, der Monroe-Kalkulator, die Curta und der Addo-X wurden bis in die 1970er Jahre genutzt. Anders als Leibniz nutzten die meisten Rechner das Dezimalsystem, das technisch schwieriger umzusetzen war. Dies galt sowohl für die Rechner von Charles Babbage um 1800 wie auch für den ENIAC von 1945, den ersten vollelektronischen Universalrechner überhaupt.

Mechanische Rechenmaschine von 1914



Neuzeitlicher ist der Rechenschieber, eine der wichtigsten mechanischen Rechenhilfen für Multiplikation und Division.

Vom Beginn des 20. Jahrhunderts

1935 stellten IBM die IBM 601 vor, eine Lochkartenmaschine, die eine Multiplikation pro Sekunde durchführen konnte. Es wurden ca. 1500 Exemplare verkauft.

1938 stellte Konrad Zuse die Zuse Z1 fertig, einen frei programmierbaren mechanischen Rechner, der allerdings aufgrund von Problemen mit der Fertigungspräzision nie voll funktionstüchtig war. Die Z1 verfügte bereits über Gleitkommarechnung. Sie wurde im Krieg zerstört und später nach

Originalplänen neu gefertigt, die Teile wurden auf modernen Fräs- und Drehbänken hergestellt. Dieser Nachbau der Z1, welcher im Deutschen Technikmuseum in Berlin steht, ist mechanisch voll funktionsfähig und erledigt eine Rechenoperation pro Sekunde.

Während des Zweiten Weltkrieges gab Alan Turing die entscheidenden Hinweise zur Entzifferung der Enigma-Codes und baute dafür einen speziellen mechanischen Rechner, Turing-Bombe genannt.

Entwicklung des modernen turingmächtigen Computers

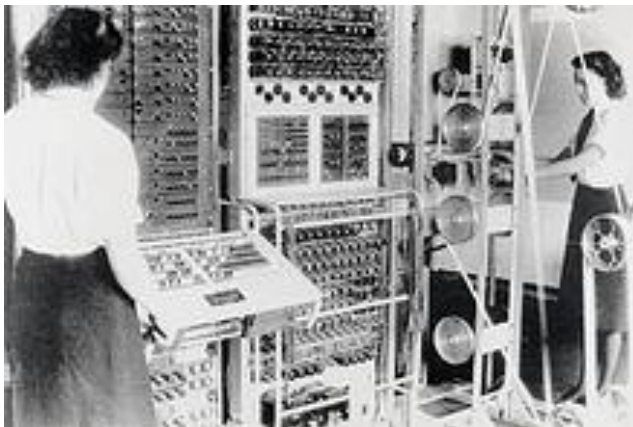
Bis zum Ende des Zweiten Weltkrieges



Nachbau der Zuse Z3 im Deutschen Museum in München

Ebenfalls im Krieg (1941) baute Konrad Zuse die erste funktionstüchtige programmgesteuerte binäre Rechenmaschine, bestehend aus einer großen Zahl von Relais, die Zuse Z3. Sie war die erste Maschine, die – im Rahmen des verfügbaren Speicherplatzes – beliebige Algorithmen automatisch ausführen konnte. Aufgrund dieser Eigenschaften wird sie oft als erster funktionsfähiger Computer der Geschichte

betrachtet.[2] Die nächsten Digitalrechner waren der in den USA gebaute Atanasoff-Berry-Computer (Inbetriebnahme 1941) und die britische Colossus (1941).

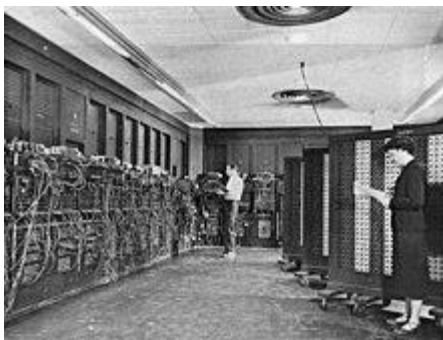


Colossus Mark II

Auf das Jahr 1943 wird auch die angeblich von IBM-Chef Thomas J. Watson stammende Aussage „Ich glaube, es gibt einen weltweiten Bedarf an vielleicht fünf Computern.“ datiert.

Computermodell	Land	Inbetriebnahme	Gleitkommaarithmetik	Binär	Elektronisch	Programmierbar	Turingmächtig
Zuse Z3	Deutschland	Mai 1941	Ja	Ja	Nein	Ja, mittels Lochstreifen	Ja, ohne Praxisnutzen
Atanasoff-Berry-Computer	USA	Sommer 1941	Nein	Ja	Ja	Nein	Nein
Colossus	UK	1943	Nein	Ja	Ja	Teilweise, durch Neuverkabelung	Nein
Mark I	USA	1944	Nein	Nein	Nein	Ja, mittels Lochstreifen	Ja
Zuse Z4	Deutschland	März 1945	Ja	Ja	Nein	Ja, mittels Lochstreifen	Ja, ohne Praxisnutzen
		um 1950	Ja	Ja	Nein	Ja, mittels Lochstreifen	Ja
ENIAC	USA	1946	Nein	Nein	Ja	Teilweise, durch Neuverkabelung	Ja
		1948	Nein	Nein	Ja	Ja, mittels Widerstandsmatrix	Ja

Nachkriegszeit



ENIAC auf einem Bild der US-Armee



Röhrenrechner Ural-1 aus der Sowjetunion

Im Jahr 1946 wurde der Electronical Numerical Integrator and Computer (ENIAC) entwickelt und gebaut. Der ENIAC ist der erste vollelektronische digitale Universalrechner (Konrad Zuses Z3 verwendete 1941 noch Relais, war also nicht vollelektronisch). 1947 baute IBM den Selective Sequence Electronic Calculator (SSEC), einen Hybridcomputer mit Röhren und mechanischen Relais. Im gleichen Jahr wurde auch der erste Transistor realisiert, der heute aus der modernen Technik nicht mehr wegedacht werden kann.

Im Jahr 1949 stellte Edmund C. Berkeley, Begründer der ACM, mit „Simon“ den ersten digitalen, programmierbaren Computer für den Heimgebrauch vor. Er bestand aus 50 Relais und wurde in Gestalt von Bauplänen vertrieben, von denen in den ersten zehn Jahren ihrer Verfügbarkeit über 400 Exemplare verkauft wurden.

1950er

In den 1950er Jahren setzte die Produktion kommerzieller (Serien-)Computer ein. 1955 wird der erste Computer der Welt gebaut, der komplett mit Transistoren statt Röhren bestückt war. Ebenfalls 1955 baute die DDR mit der „OPTik-REchen-MASchine“ (OPREMA) ihren ersten Computer mit Hilfe von Relais; 1956 tauchte der Begriff „Computer“ erstmals in der DDR-Presse auf, nämlich im Zusammenhang mit dem Eniac-„Rechenautomaten“, dessen Akronym für „Electronic Numerical Integrator and Computer“ stand. Weltweit geläufig wurde der Begriff erst Mitte der 1960er Jahre.

1956 fertigte IBM das erste Magnetplattensystem. 1959 begann Siemens mit der Auslieferung des Siemens 2002, ihres ersten in Serie gefertigten und vollständig auf Basis von Transistoren hergestellten Computers.

1960er

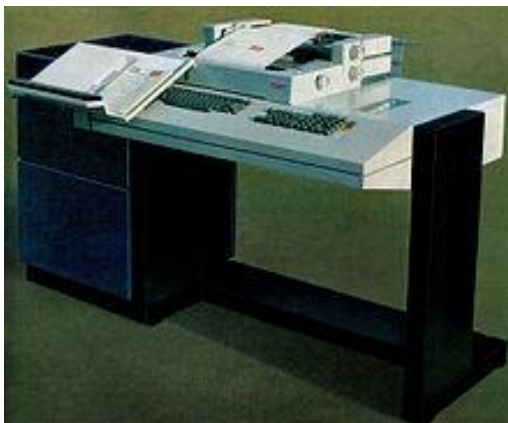
1960 baute IBM den IBM 1401, einen transistorisierten Rechner mit Magnetbandsystem, und DECs (Digital Equipment Corporation) erster Minicomputer, die PDP-1 (Programmierbarer Datenprozessor) erscheint. 1962 lieferte die Telefunken AG die ersten TR 4 aus. 1964 baute DEC den Minicomputer PDP-8 für unter 20.000 Dollar.

1964 definierte IBM die erste Computerarchitektur S/360, womit Rechner verschiedener Leistungsklassen denselben Code ausführen konnten und bei Texas Instruments wurde der erste „integrierte Schaltkreis“ (IC) entwickelt.



Olivetti Programma 101

Der erste frei programmierbare Tischrechner der Welt, der „Programma 101“ von der Firma Olivetti, erschien 1965 für einen Preis von \$3,200[10] (was auf das Jahr 2017 bezogen einer Summe von \$24,746[11] entspricht).



Nixdorf 820 von 1968.

1968 bewarb Hewlett-Packard (HP) den HP-9100A in der Science-Ausgabe vom 4. Oktober 1968 als „personal computer“, obgleich diese Bezeichnung nichts mit dem zu tun hat, was seit Mitte der 1970er Jahre bis heute unter einem Personal Computer verstanden wird. Die 1968 entstandene Nixdorf Computer AG erschloss zunächst in Deutschland und Europa, später auch in Nordamerika, einen neuen Computermarkt: die Mittlere Datentechnik bzw. die dezentrale elektronische Datenverarbeitung.

Massenhersteller wie IBM setzten weiterhin auf Großrechner und zentralisierte Datenverarbeitung, wobei Großrechner für kleine und mittlere Unternehmen schlicht zu teuer waren und die Großhersteller den Markt der Mittleren Datentechnik nicht bedienen konnten. Nixdorf stieß in diese Marktnische mit dem modular aufgebauten Nixdorf 820 vor, brachte dadurch den Computer direkt an den Arbeitsplatz und ermöglichte kleinen und mittleren Betrieben die Nutzung der elektronischen Datenverarbeitung zu einem erschwinglichen Preis. Im Dezember 1968 wurde die erste Computermaus vorgestellt, mangels sinnvoller Einsatzmöglichkeit (es gab noch keine grafischen Benutzeroberflächen) interessierte dies jedoch kaum jemanden. 1969 werden die ersten Computer per Internet verbunden (Das Internet begann am 29. Oktober 1969 als Arpanet. Es wurde zur Vernetzung der Großrechner von Universitäten und Forschungseinrichtungen genutzt. Das Ziel war zunächst, die Rechenleistungen dieser Großrechner effizienter zu nutzen, zuerst nur in den USA, später weltweit).

1970er

Mit der Erfindung des serienmäßig produzierbaren Mikroprozessors wurden die Computer immer kleiner, leistungsfähiger und preisgünstiger. Doch noch wurde das Potential der Computer verkannt. So sagte noch 1977 Ken Olson, Präsident und Gründer von DEC: „Es gibt keinen Grund, warum jemand einen Computer zu Hause haben wollte.“



Intel 8008, Vorläufer des Intel 8080

1971 war es Intel, die mit dem 4004 den ersten in Serie gefertigten Mikroprozessor baute. Er bestand aus 2250 Transistoren. 1971 lieferte Telefunken den TR 440 an das Deutsche Rechenzentrum Darmstadt sowie an die Universitäten Bochum und München. 1972 ging der Illiac IV, ein Supercomputer mit Array-Prozessoren, in Betrieb. 1973 erschien mit Xerox Alto der erste Computer mit Maus, graphischer Benutzeroberfläche (GUI) und eingebauter Ethernet-Karte; und die französische Firma R2E begann mit der Auslieferung des Micral. 1974 stellte HP mit dem HP-65 den ersten programmierbaren Taschenrechner vor und Motorola baute den 6800-Prozessor, währenddessen Intel den 8080-Prozessor fertigte. 1975 begann MITS mit der Auslieferung des Altair 8800. 1975 stellte IBM mit der IBM 5100 den ersten tragbaren Computer vor. Eine Wortlänge von 8 Bit und die Einengung der (schon existierenden) Bezeichnung Byte auf dieses Maß wurden in dieser Zeit geläufig.

1975 Maestro I (ursprünglich Programm-Entwicklungs-Terminal-System PET) von Softlab war weltweit die erste Integrierte Entwicklungsumgebung für Software. Maestro I wurde weltweit 22.000 Mal installiert, davon 6.000 Mal in der Bundesrepublik Deutschland. Maestro I war in den 1970er und 1980er Jahren führend auf diesem Gebiet.



Zilog Z80

1976 entwickelte Zilog den Z80-Prozessor und Apple Computer stellte den Apple I vor, den weltweit ersten Personal Computer, gefolgt 1977 vom Commodore PET und dem Tandy TRS-80. Der ebenfalls im Jahr 1977 veröffentlichte Apple II gilt bislang als letzter in Serie hergestellter Computer, der von einer einzelnen Person, Steve Wozniak, entworfen wurde. 1978 erschien die VAX-11/780 von DEC, eine Maschine speziell für virtuelle Speicheradressierung. Im gleichen Jahr stellte Intel den 8086 vor, ein 16-Bit-Mikroprozessor; er ist der Urvater der noch heute gebräuchlichen x86-Prozessor-Familie. 1979 schließlich startete Atari den Verkauf seiner Rechnermodelle 400 und 800. Revolutionär war bei diesen, dass mehrere ASIC-Chips den Hauptprozessor entlasteten.

1980er



C64 mit 5 1/4"-Diskette und Laufwerk

Die 1980er waren die Blütezeit der Heimcomputer, zunächst mit 8-Bit-Mikroprozessoren und einem Arbeitsspeicher bis 64 KiB (Commodore VC20, C64, Sinclair ZX80/81, Sinclair ZX Spectrum, Schneider/Amstrad CPC 464/664, Atari XL/XE-Reihe), später auch leistungsfähigere Modelle mit 16-Bit- (Texas Instruments TI-99/4A) oder 16/32-Bit-Mikroprozessoren (z. B.

Amiga, Atari ST).

Das Unternehmen IBM stellte 1981 den IBM-PC vor, legte die Grundkonstruktion offen und schuf einen informellen Industriestandard; sie definierten damit die bis heute aktuelle Geräteklasse der „IBM-PC-kompatiblen Computer“. Dank zahlreicher preiswerter Nachbauten und Fortführungen wurde diese Geräteklasse zu einer der erfolgreichsten Plattformen für den Personal Computer; die heute marktüblichen PCs mit Windows-Betriebssystem und x86-Prozessoren beruhen auf der stetigen Weiterentwicklung des damaligen Entwurfs von IBM.

1982 brachte Intel den 80286-Prozessor auf den Markt und Sun Microsystems entwickelte die Sun-1 Workstation. Nach dem ersten Büro-Computer mit Maus, Lisa, der 1983 auf den Markt kam, wurde 1984 der Apple Macintosh gebaut und setzte neue Maßstäbe für Benutzerfreundlichkeit. 1985 produzierte Commodore den ersten Amiga-Heimcomputer. 1986 brachte Intel den 80386-Prozessor auf den Markt, 1989 den 80486.

Die Computer-Fernvernetzung, deutsch „DFÜ“ (Datenfernübertragung), über das Usenet wurde an Universitäten und in diversen Firmen immer stärker benutzt. Auch Privatleute strebten nun eine Vernetzung ihrer Computer an; Mitte der 1980er Jahre entstanden Mailboxnetze, zusätzlich zum FidoNet das Z-Netz und das MausNet.

1990er



Die 1990er sind das Jahrzehnt des Internets und des World Wide Web. 1991 spezifizierte das AIM-Konsortium (Apple, IBM, Motorola) die PowerPC-Plattform. 1992 stellte DEC die ersten Systeme mit dem 64-Bit-Alpha-Prozessor vor. 1993 brachte Intel den Pentium-Prozessor auf den Markt, 1995 den Pentium Pro. 1999 baute Intel den Supercomputer ASCI Red mit 9.472 Prozessoren und AMD stellte mit dem Athlon den Nachfolger der K6-Prozessorfamilie vor.

Entwicklung im 21. Jahrhundert

Zu Beginn des 21. Jahrhunderts sind Computer sowohl in beruflichen wie privaten Bereichen allgegenwärtig. Während die Leistungsfähigkeit in klassischen Anwendungsbereichen weiter gesteigert wird, werden digitale Rechner unter anderem in die Telekommunikation und Bildbearbeitung integriert. 2001 baute IBM den Supercomputer ASCI White, und 2002 ging der

NEC Earth Simulator in Betrieb. 2003 lieferte Apple den PowerMac G5 aus, den ersten Computer mit 64-Bit-Prozessoren für den Massenmarkt. AMD zog mit dem Opteron und dem Athlon 64 nach.

2005 produzierten AMD und Intel erste Dual-Core-Prozessoren, 2006 doppelte Intel mit den ersten Core-2-Quad-Prozessoren nach – AMD konnte erst 2007 erste Vierkernprozessoren vorstellen. Bis zum Jahr 2010 stellten mehrere Firmen auch Sechs- und Achtkernprozessoren vor. Entwicklungen wie Mehrkernprozessoren, Berechnung auf Grafikprozessoren (GPGPU) sowie der breite Einsatz von Tablet-Computern dominieren in den letzten Jahren das Geschehen.

Seit den 1980er Jahren stiegen die Taktfrequenzen von anfangs wenigen MHz bis zuletzt (Stand 2015) etwa 4 GHz. In den letzten Jahren konnte der Takt nur noch wenig gesteigert werden, stattdessen wurden Steigerungen der Rechenleistung eher durch mehr Prozessorkerne und vergrößerte Busbreiten erzielt. Außerdem werden zunehmend auch die in Computern verbauten Grafikprozessoren zur Erhöhung der Rechenleistung für spezielle Aufgaben genutzt.

Seit ca. 2005 spielen auch Umweltaspekte (wie z. B. Stromsparfunktionen von Prozessor und Chipsatz, verringerter Einsatz schädlicher Stoffe) – bei der Produktion, Beschaffung und Nutzung von Computern zunehmend eine Rolle (Green IT).

Die aktuelle Leistungsfähigkeit der bisher beschriebenen Computertechnologien trifft auf eine unüberwindlich scheinende Grenze, wo es um hochkomplexe Aufgabenstellungen geht. Bei der Lenkung von Verkehrsströmen, energetische Optimierungen, Optimierungen in der Finanzwirtschaft oder Logistik, bei Verschlüsselungsverfahren (Kryptographie) oder im Bereich von Simulationen (Werkstoffprüfungen oder neue Werkstoffe finden, neue chemische Stoffe finden, wie zum Beispiel für Biotechnologie bzw. Medikamente;) benötigen herkömmliche Technikarchitekturen in Computern inakzeptabel lange Rechenzeiten. Hier arbeitet man seit einiger Zeit an Lösungen aus dem Bereich der Quantenphysik.

Quantencomputer

Ein **Quantencomputer nutzt** die Gesetze der Quantenmechanik, und arbeitet im Unterschied zum klassischen Computer nicht auf der Basis elektrischer, sondern quantenmechanischer Zustände (quantenmechanische Kohärenz und Quantenverschränkung).

Theoretische Studien zeigen, dass unter Ausnutzung dieser Effekte bestimmte Probleme der Informatik, z. B. die Suche in extrem großen Datenbanken und die Faktorisierung großer Zahlen effizienter gelöst werden können als mit klassischen Computern. Dies würde es ermöglichen, die Berechnungszeit für viele mathematische und physikalische Problemstellungen deutlich zu verringern. (Bild:



IBM/Fraunhofer-Gesellschaft Quantum System One)

Für einen kommerziellen, produktiven Einsatz ist die Fehlerquote beim Rechnen und Auslesen noch zu groß. Es gilt jedoch nur noch als eine Frage der Zeit, dann werden Quantencomputer als eine der Schlüsseltechnologie des 21. Jahrhunderts grossflächig im Einsatz sein.

Als Reaktion der durch die COVID-19-Pandemie aufgetretenen wirtschaftlichen Verwerfungen 2020/21 beschloss die Bundesregierung am 3. Juni 2020 ein 130 Milliarden Euro umfassendes Konjunkturprogramm, das auch die Förderung der Quantentechnologien mit zwei Milliarden Euro vorsieht.

Einsatzbereiche für Quantencomputer werden wie oben schon beschrieben vor allem gesehen, wo klassische Supercomputer angesichts der Komplexität bestimmter Aufgaben unzureichend sind, und das durchaus auch in der klassischen öffentlich-rechtlichen IT im Bereich der Daseinsvorsorge/-Optimierung wie der

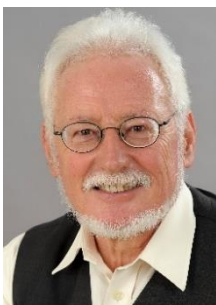
- Lenkung von Verkehrsströmen
- energetische Optimierungen
- Optimierungen in Finanzwirtschaft, Logistik
- Kryptographie;
- Simulationen (Werkstoffprüfungen oder neue Werkstoffe finden, neue chemische Stoffe finden, wie zum Beispiel für Biotechnologie bzw. Medikamente;

Exkurs: Software

Bisher wurde die Geschichte des Computers primär mit dem Fokus auf die Hardware betrachtet. Bis in die 1950er Jahren wurden Software und Hardware als funktionale Einheit wahrgenommen. Die Software war dabei Teil der Hardware und wurde als Programmcode bezeichnet. 1958 prägte der Statistiker John W. Tukey erstmals den Begriff Software.

In den 1970er Jahren sorgte eine Vorgabe der US-Regierung für die Trennung in Hard- und Software: IBM hatte auf Rechnungen Software und Hardware getrennt zu berechnen und aufzuführen. Das führte zur endgültigen Abgrenzung der Software von der Hardware.

Dieser Entwicklung folgte dann in den 1970er Jahren die Gründung von Firmen, die erstmals nur mit Software handelten und nur Software und keine Hardware entwickelten. Zu diesen Firmen gehörte in den USA Microsoft und in Deutschland SAP. Die Existenz solcher Firmen erscheint im 21. Jahrhundert als Selbstverständlichkeit, stellte damals jedoch eine erhebliche Neuerung dar.



Autor:

Helmut Schöpflin

- Regionalgeschäftsführer bei der KIVBF in Freiburg bis 2018

- Lehrbeauftragter für Verw.Informatik an der Hochschule für öffentliche Verwaltung, Kehl (seit 1988)

Quellen:

- [Konrad Zuse: Die Erfindung des Computers](#). In: swr.de. 17. Mai 1984,
- Wilfried de Beauclair: *Rechnen mit Maschinen*. Eine Bildgeschichte der Rechentechnik. 2. Auflage. Springer, Berlin Heidelberg New York 2005, ISBN 3-540-24179-5,
- Andreas Göbel: [Spiegel Geschichte: Mit diesem Monstrum konnte man rechnen](#). 14. Juni 2013.
- [Der Traum vom einfachen Computer](#). In: *Der Tagesspiegel*
- Frank Patalong: [30 Jahre IBM-PC: Siegeszug der Wenigkönnner](#). In: *spiegel.de*. 12. August 2011,
- Erich Sobeslavsky, Nikolaus Joachim Lehmann: [Rechentechnik und Datenverarbeitung in der DDR - 1946 bis 1968](#). Hannah-Arendt-Institut TU-Dresden, 1996,
- UCL: [Experts recreate a mechanical Cosmos for the world's first computer](#). 12. März 2021
- Stefan Betschon: *Der Zauber des Anfangs. Schweizer Computerpioniere*. In: Franz Betschon, Stefan Betschon, Jürg Lindecker, Willy Schlachter (Hrsg.): *Ingenieure bauen die Schweiz. Technikgeschichte aus erster Hand*. Verlag Neue Zürcher Zeitung, Zürich 2013, ISBN 978-3-03823-791-4,
- K. Dette: [Olivetti Personal Computer für Lehre und Forschung](#). Springer, 1989;
Brennan, AnnMarie: *Olivetti: A work of art in the age of immaterial labour*. In: *Journal of Design History* 28.3 (2015): 235–253;
- Wobbe Vegter: [Cyber Heroes of the past: Camillo Olivetti](#). 11. März 2009,
- Steven Levy: *Hackers: Heroes of the Computer Revolution*. Doubleday 1984, ISBN 0-385-19195-2
- Boris Gröndahl: *Hacker*. Rotbuch 3000, ISBN 3-434-53506-3
- Steve Wozniak: *iWoz: Wie ich den Personal Computer erfand und Apple mitgründete*. Deutscher Taschenbuchverlag, Oktober 2008, ISBN 978-3-423-34507-1
- <https://www.golem.de/news/ibm-quantum-system-one-europas-erster-quantencomputer-laeuft-2106-157338.html>
- Jan Goetz: [Europa braucht einen eigenen Quantencomputer – tut dafür aber nicht genug](#). In: *Handelsblatt*. 13. November 2019,
- Lars Jaeger: *Mehr Zukunft wagen!* Gütersloher Verlagshaus, 2019.;
- Barbara Gillmann: [Karliczek startet Quanten-Initiative](#). In: *Handelsblatt*. 2. Februar 2020,
- Bundesfinanzministerium 03.06.2020: [Eckpunkte des Konjunkturpakets: Corona-Folgen bekämpfen, Wohlstand sichern, Zukunftsfähigkeit stärken](#).
- diverse wikipedia-Seiten de.wikipedia.org