



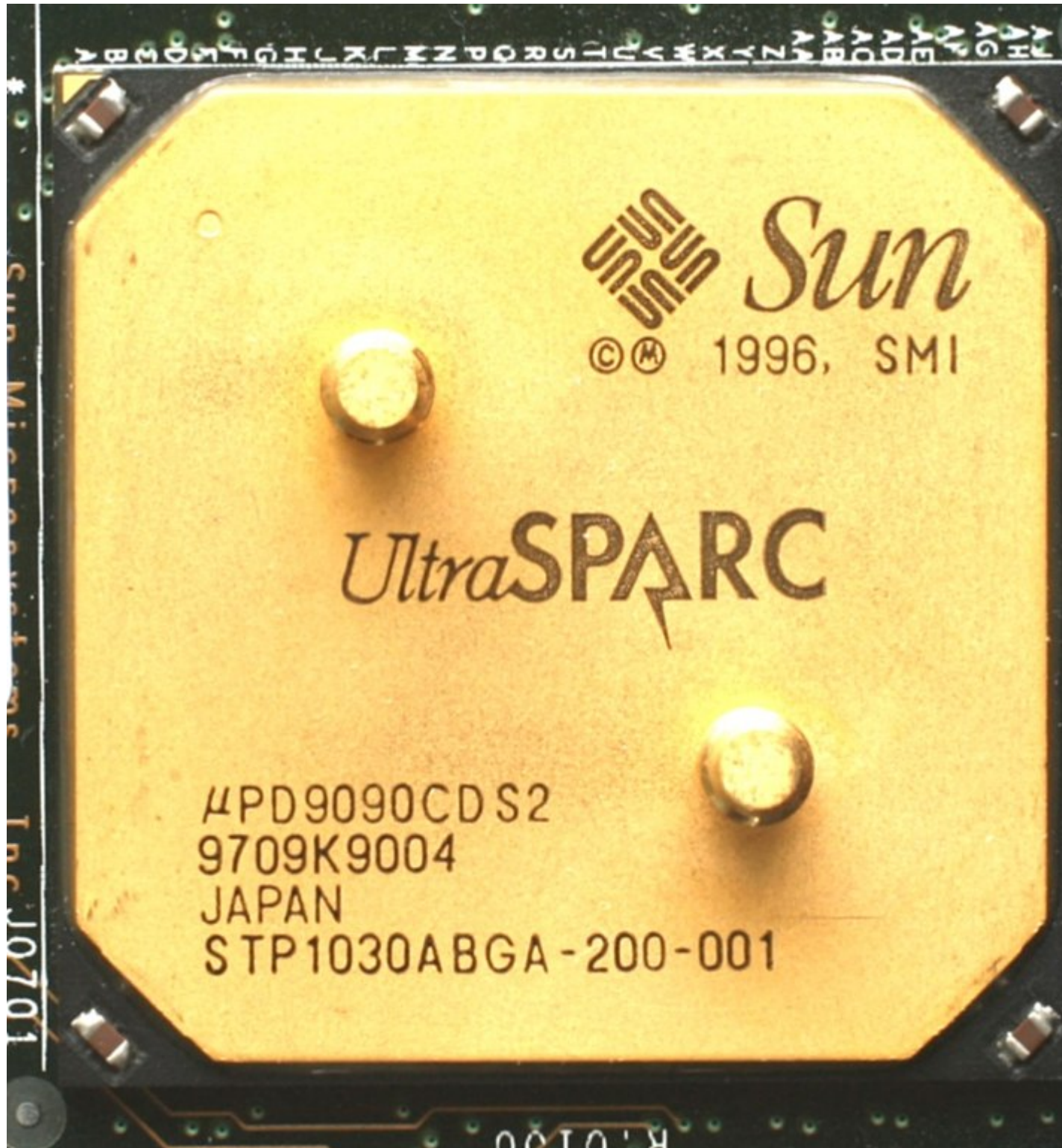
## Mikrowelten – Geschichten der Computertechnik – Teil 12: Der reduzierte Befehlssatz

### Description

Einfache Lösungen sind oft die genialsten. Wir neigen dazu, zunächst komplexe Strukturen zu schaffen, die im Laufe der Zeit vereinfacht werden. Das gilt im Leben, bei der Arbeit und beim Spielen. Programmierer kennen dieses Problem sehr gut. Sie entwickeln Pläne für Software, Spiele oder Funktionen. Je länger sie darüber nachdenken und ihren Code überarbeiten, desto häufiger stolpern sie über zu komplexe Denkansätze, die einfacher gelöst werden können. Das Gleiche gilt auch für die Entwicklung von Prozessoren.

### RISC

RISC-Prozessoren (Reduced Instruction Set Computing) sind Mikroprozessoren, die auf einer Architektur basieren, bei der die Anzahl der Befehle, die der Prozessor ausführen kann, minimiert wurde. Im Gegensatz zu komplexeren Architekturen sind RISC-Prozessoren in der Lage die Befehlen sehr schnell auszuführen. Die hohe Leistung wird dadurch erreicht, dass der Prozessor weniger Zeit damit verbringt, Befehle auszuführen, die nur selten verwendet werden.



Der UltraSPARC-Prozessor von Sun Microsystems ist eine Art RISC-Mikroprozessor. (Foto: Wikipedia)

Ein weiteres Merkmal von RISC-Prozessoren ist ihre geringe Stromaufnahme. Da sie weniger Befehle ausführen müssen benötigen sie weniger Energie. Dies macht sie besonders attraktiv für den Einsatz in mobilen Geräten.

Der erste RISC-Prozessor wurde von einer Gruppe von Ingenieuren an der University of California,

Berkeley, entwickelt. Die Entwicklung begann unter der Leitung von David Patterson und Carlo H. Sequin in den 1970er Jahren.

Der erste RISC-Prozessor hieß RISC I und wurde 1979 vorgestellt. Es war ein Prototyp und wurde hauptsächlich zu Forschungszwecken verwendet. Es folgten weitere Prototypen, darunter RISC II und RISC III, die im Laufe der 1980er Jahre entwickelt wurden.

Der erste kommerziell verfügbare RISC-Prozessor war der MIPS R2000, der von MIPS Computer Systems entwickelt und 1985 vorgestellt wurde.

## Acorn Computers

Am 25. Juli 1961 gründete Clive Sinclair die Firma Sinclair Radionics, um elektronische Geräte wie Taschenrechner herzustellen und zu verkaufen. Der Misserfolg der Armbanduhr Black Watch und der Wechsel vom LED- zum LCD-Taschenrechnermarkt führten zu finanziellen Schwierigkeiten und Sinclair wandte sich an die staatliche Behörde National Enterprise Board (NEB) um Hilfe. Nachdem er die Kontrolle über das Unternehmen an das NEB verloren hatte, ermutigte Sinclair Chris Curry, Radionics zu verlassen und Science of Cambridge (SoC) zu gründen. Im Juni 1978 brachte SoC den Mikrocomputer-Bausatz Mk 14 auf den Markt, den Curry weiterentwickeln wollte, aber Sinclair war nicht überzeugt und Curry trat zurück. Während der Entwicklung des Mk 14 besuchte Hermann Hauser, ein Freund von Curry, die Büros von SoC und zeigte Interesse an dem Produkt.



Hermann Hauser und Chris Curry in  
Cambridge (Foto: Wikipedia)

Curry und Hauser beschlossen, ihr gemeinsames Interesse an Mikrocomputern zu verfolgen und gründeten am 5. Dezember 1978 die Cambridge Processor Unit Ltd. (CPU). CPU erhielt bald einen Beratungsauftrag von Ace Coin Equipment (ACE) aus Wales, um eine mikroprozessorgesteuerte Fruchtmaschine zu entwickeln. Das ACE-Projekt wurde in Büroräumen in Cambridge begonnen. Anfangs basierte der ACE-Controller auf einem National Semiconductor SC/MP-Mikroprozessor, aber bald wurde auf einen MOS Technology 6502 umgestellt.

CPU finanzierte die Entwicklung eines SC/MP-basierten Mikrocomputersystems mit den Einnahmen aus ihrer Design-and-Build-Beratung. Dieses System wurde im Januar 1979 als erstes Produkt von Acorn Computer Ltd. auf den Markt gebracht, einem Handelsnamen, den CPU benutzte, um die Risiken der beiden verschiedenen Geschäftsbereiche zu trennen. Es wurde als Acorn System 75 bezeichnet. Der Name Acorn wurde gewählt, weil das Mikrocomputersystem erweiterbar und wachstumsorientiert sein sollte. Es hatte auch den Vorteil, dass es im Telefonbuch vor „Apple Computer“ erschien.



Das BBC-Mikro, 1981 von Acorn veröffentlicht (Foto: Wikipedia)

Zu dieser Zeit gründeten CPU und Andy Hopper Orbis Ltd., um das Cambridge Ring-Netzwerkssystem zu vermarkten, an dem Hopper im Rahmen seiner Doktorarbeit gearbeitet hatte. Es wurde jedoch bald beschlossen, ihn als Direktor in CPU einzubinden, da er die Interessen von CPU an dem Computerlabor der Universität Cambridge fördern konnte. Die CPU entwickelte auch den BBC Microcomputer, der von der British Broadcasting Corporation (BBC) als Bildungswerkzeug eingesetzt wurde. Im Mai 1981 wurde Acorn Computer Ltd. in Acorn Group Ltd. umbenannt und im November 1981 in Acorn Computers Ltd. Die CPU wurde in eine Tochtergesellschaft von Acorn Computers

integriert und ihr Name wurde in Acorn Computer Ltd. geändert.

## Acorn Atom

Die Entwicklung des Sinclair ZX80 begann bei Science of Cambridge im Mai 1979. Chris Curry, der von dem Projekt erfuhr, konzipierte das Atom-Projekt, das auf den Verbrauchermarkt ausgerichtet war. Er und Designer Nick Toop arbeiteten von Currys Haus in den Fens an der Entwicklung der Maschine.

Curry wollte den Verbrauchermarkt anvisieren, während andere innerhalb von Acorn, darunter auch Ingenieure, froh waren, aus diesem Markt herauszubleiben, da sie einen Heimcomputer für ein Unternehmen, das auf dem Markt für Laborgeräte tätig war, für ein unseriöses Produkt hielten.

Um die Kosten niedrig zu halten und den Zweiflern keinen Grund zu geben, den Atom abzulehnen, bat Curry den Industriedesigner Allen Boothroyd, ein Gehäuse zu entwerfen, das auch als externe Tastatur für die Mikrocomputersysteme dienen konnte. Das Innenleben des System 3 wurde in der Tastatur untergebracht, wodurch der typische Aufbau eines preiswerten Heimcomputers der frühen 1980er Jahre entstand: der relativ erfolgreiche Acorn Atom.



Der Atom war der erste Computer von Acorn, der direkt auf den Privatkundenmarkt ausgerichtet war.

Um die Softwareentwicklung zu erleichtern, wurde in Market Hill ein eigenes lokales Netzwerk installiert. Es wurde beschlossen, dieses Netzwerk, Econet, in den Atom einzubinden. Bei seiner

Vorstellung auf einer Computermesse im März 1980 wurden acht vernetzte Atoms mit Funktionen vorgeführt, die es ermöglichten, Dateien gemeinsam zu nutzen, Bildschirme aus der Ferne zu betrachten und Tastaturen aus der Ferne zu steuern.

## Sophie Wilson

Geboren als Roger Wilson, wuchs sie in Leeds, Yorkshire, auf. Wilson studierte ab 1975 Informatik an der University of Cambridge und war Mitglied der dortigen Mikroprozessor-Gesellschaft. Während ihres Studiums begann sie, für Acorn Computers zu arbeiten.

In den Osterferien entwarf Wilson einen Mikrocomputer mit einem 6502-Mikroprozessor von MOS Technology, der vom früheren Mk 14 inspiriert war, der zur elektronischen Steuerung der Fütterung von Kühen verwendet wurde. Wilson hatte auch eine führende Rolle bei der Entwicklung des BBC Micro.



Sophie Wilson, Chris Turner, Steve Furber, Chris Serle, Hermann Hauser, Chris Curry (v. l. n. r.)  
(Foto: Wikipedia)

Im Juli 1981 erweiterte Wilson den BASIC-Programmiersprachendialekt des Acorn Atom zu einer verbesserten Version für den Acorn Proton, einen Mikrocomputer, mit dem Acorn den Vertrag mit der

British Broadcasting Corporation (BBC) für ihr ehrgeiziges Computer-Bildungsprojekt gewinnen konnte.

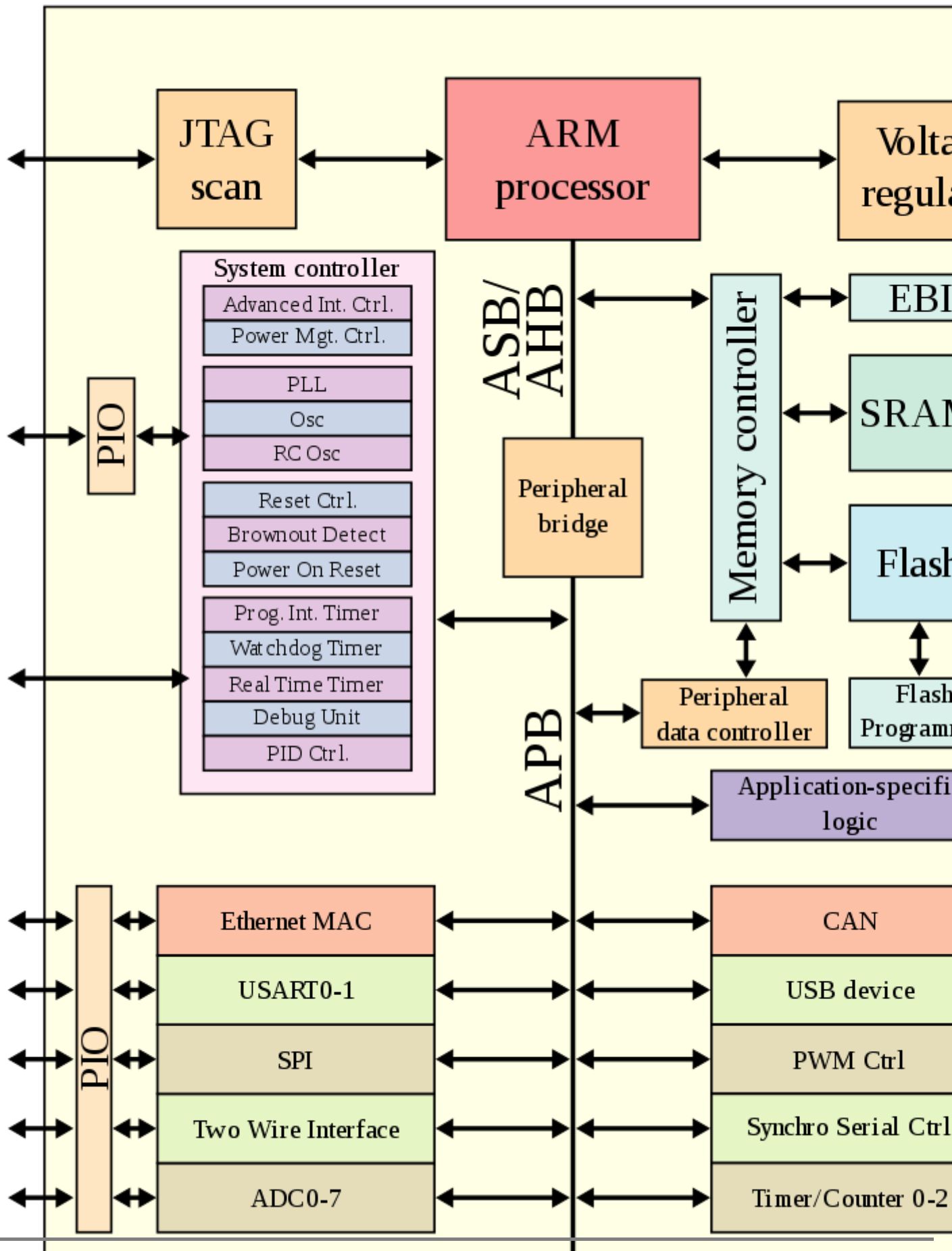
Zusammen mit Steve Furber war Wilson bei der ersten Ausstrahlung des Geräts im Fernsehen hinter der Bühne anwesend, falls Softwarekorrekturen erforderlich waren. Sie ist auch für ihre Arbeit an der Entwicklung von Assembler-Sprachen und für ihre Beiträge zur Erforschung von künstlicher Intelligenz bekannt. Sie hat mehrere Auszeichnungen für ihre Arbeit erhalten, darunter den Order of the British Empire und den BCS Lovelace Medal.

## Der ARM-Prozessor

Acorn begann in den 1980er Jahren damit, sich auf die Entwicklung von Mikroprozessoren zu konzentrieren. 1981 führte IBM den Personal Computer ein. Seine Einführung veränderte den Desktop-Computermarkt radikal: Was in den fünf Jahren zuvor hauptsächlich ein Hobby- und Spielmarkt gewesen war, begann sich zu einem unverzichtbaren Business-Tool zu entwickeln, bei dem die früheren 8-Bit-Designs einfach nicht mithalten konnten.

Acorn überlegte, wie man auf diesem Markt konkurrieren konnte, und entwickelte ein neues Papierdesign namens Acorn Business Computer. Sie setzten sich das Ziel, einen Computer mit der zehnfachen Leistung des BBC Micro zu produzieren, aber zum gleichen Preis. Er sollte den PC übertreffen und gleichzeitig preislich unterbieten.

Die Ingenieure begannen, alle verfügbaren CPU-Designs zu untersuchen. Sie kamen zu dem Schluss, dass die vorhandenen 16-Bit-Designs viel teurer und „ein bisschen mies“ waren und nur eine geringfügig höhere Leistung als ihr BBC Micro-Design boten. Außerdem erforderten sie fast immer eine große Anzahl von Hilfschips, um überhaupt auf diesem Niveau arbeiten zu können. Das trieb die Kosten für den Computer in die Höhe.



### Mikroprozessorgestütztes System auf einem Chip (Zeichnung: Wikipedia)

Diese Systeme würden das Entwicklungsziel nicht erreichen. Sie zogen auch die neuen 32-Bit-Designs in Betracht, aber diese kosteten noch mehr und hatten die gleichen Probleme mit den Support-Chips. Laut Sophie Wilson erbrachten alle damals getesteten Prozessoren ungefähr die gleiche Leistung, mit einer Bandbreite von etwa 4 Mbit/Sekunde.

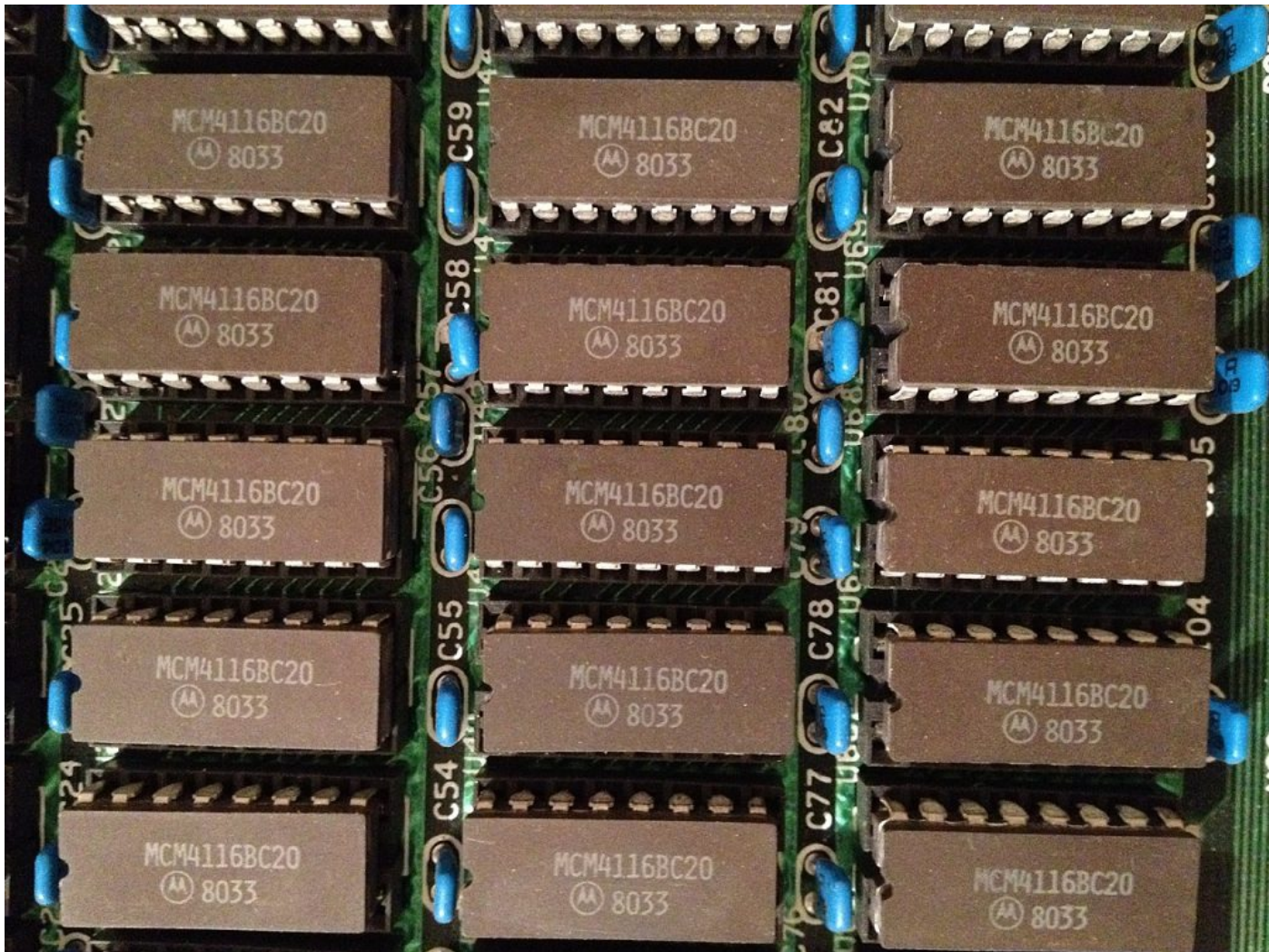
Zwei wichtige Ereignisse führten Acorn auf den Weg zu ARM. Das eine war die Veröffentlichung einer Reihe von Berichten der Universität von Kalifornien, die nahelegten, dass ein einfaches Chipdesign dennoch eine extrem hohe Leistung haben konnte, viel höher als die neuesten 32-Bit-Designs auf dem Markt.

Das zweite war ein Besuch von Steve Furber und Sophie Wilson beim Western Design Center, einem von Bill Mensch und seiner Schwester geführten Unternehmen. Das Acorn-Team sah High-School-Schüler, die Chip-Layouts auf Apple-II-Maschinen produzierten, was darauf hindeutete, dass es jeder tun konnte. Im Gegensatz dazu zeigte ein Besuch bei einer anderen Design-Firma, die an einer modernen 32-Bit-CPU arbeitete. Ein Team mit mehr als einem Dutzend Mitgliedern war damit beschäftigt. Sie werkten bereits an der Revision H ihres Designs, das aber immer noch Fehler enthielt. Dies zementierte ihre Ende 1983 getroffene Entscheidung, ihr eigenes CPU-Design zu beginnen, die Acorn RISC Machine (ARM).

Die ursprünglichen Berkeley-RISC-Entwürfe waren in gewisser Weise Lehrsysteme, die nicht speziell für eine hohe Leistung konzipiert waren. Zu den grundlegenden registerlastigen und Lade-/Speicherkonzepten des RISC fügte ARM eine Reihe der gut angenommenen Entwurfsmerkmale des 6502 hinzu. Dazu gehörte in erster Linie die Fähigkeit, Interrupts schnell zu bedienen, wodurch die Maschinen ohne zusätzliche externe Hardware eine angemessene Ein-/Ausgabeleistung bieten konnten. Um Interrupts mit ähnlicher Leistung wie beim 6502 anbieten zu können, beschränkte der ARM-Entwurf seinen physikalischen Adressraum auf 64 MB adressierbaren Gesamttraum, was 26 Bit Adresse erforderte. Da die Befehle 4 Byte (32 Bit) lang waren und an 4-Byte-Grenzen ausgerichtet werden mussten, waren die unteren 2 Bit einer Befehlsadresse immer Null.

Dies bedeutete, dass der Programmzähler (PC) nur 24 Bits lang sein musste, so dass er zusammen mit den 8-Bit-Prozessor-Flags in einem einzigen 32-Bit-Register gespeichert werden konnte. Das bedeutete, dass beim Empfang einer Unterbrechung der gesamte Maschinenzustand in einer einzigen Operation gespeichert werden konnte, während bei einem vollen 32-Bit-Wert des PC separate Operationen zur Speicherung des PC und der Statusflags erforderlich gewesen wären. Durch diese Entscheidung wurde der Interrupt-Overhead halbiert.

Eine weitere Änderung, die im Hinblick auf die Leistung in der Praxis mit am wichtigsten ist, war die Modifizierung des Befehlssatzes, um die Vorteile des DRAM page mode zu nutzen. Der kürzlich eingeführte Modus ermöglichte es, dass nachfolgende Speicherzugriffe doppelt so schnell abliefen, wenn sie sich ungefähr an der gleichen Stelle, der „Seite“, im DRAM-Chip befanden.



Array von Motorola 16 Kb dynamischen Direktzugriffs-Speicherchips, ungefähr 1981 (Foto: Wikipedia)

Der Berkeley-Entwurf berücksichtigte den Modus nicht und behandelte alle Speicher gleich. Der ARM-Entwurf fügte spezielle vektorähnliche Speicherzugriffsbefehle, die „S-Zyklen“, hinzu, die zum Füllen oder Speichern mehrerer Register in einer einzigen Seite verwendet werden konnten. Dies war besonders für die Grafikleistung wichtig.

Die Berkeley-RISC-Entwürfe verwendeten Registerfenster, um die Anzahl der Registerspeicherungen und -wiederherstellungen bei Prozeduraufrufen zu reduzieren; der ARM-Entwurf übernahm dies nicht.

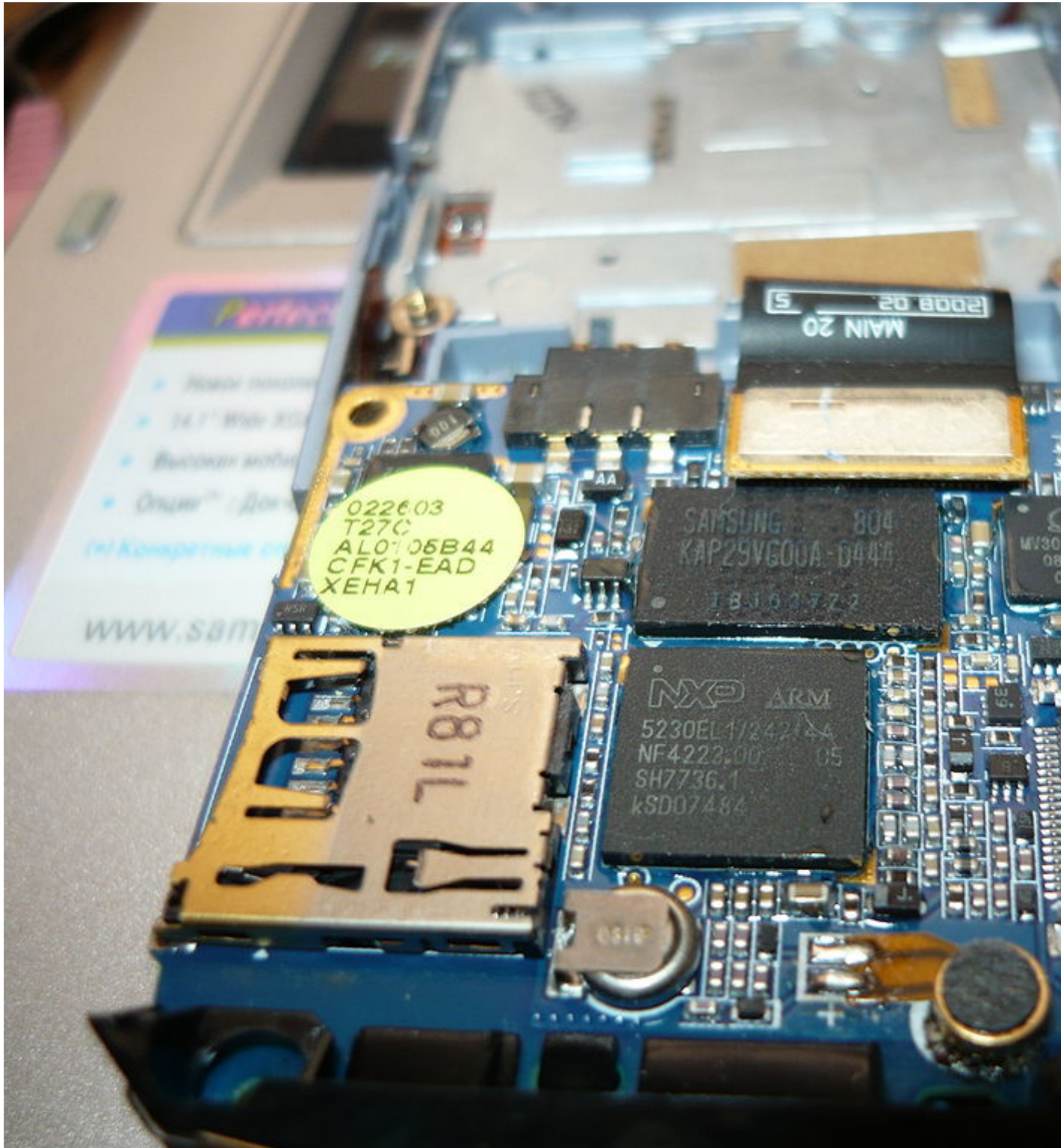
Wilson entwickelte den Befehlssatz und schrieb eine Simulation des Prozessors in BBC BASIC, die auf einem BBC Micro mit einem zweiten 6502-Prozessor lief. Dies überzeugte die Acorn-Ingenieure, dass sie auf dem richtigen Weg waren. Wilson wandte sich an den Geschäftsführer von Acorn, Hermann Hauser, und bat um mehr Ressourcen. Hauser stimmte zu und stellte ein kleines Team zusammen, um den eigentlichen Prozessor auf der Grundlage von Wilsons ISA zu entwickeln. Das Projekt startete im Oktober 1983.

Acorn entschied sich für VLSI Technology als „Siliciumpartner“, da sie eine Quelle für ROMs und kundenspezifische Chips für Acorn waren. Acorn lieferte das Design und VLSI das Layout und die

Produktion. Die ersten Muster des ARM-Siliciums funktionierten ordnungsgemäß, als sie am 26. April 1985 eintrafen und getestet wurden. Diese als ARM1 bezeichneten Versionen liefen mit 6 MHz.

Der erste Einsatz des ARM war als zweiter Prozessor für den BBC Micro, wo er bei der Entwicklung von Simulationssoftware half, um die Entwicklung der Support-Chips (VIDC, IOC, MEMC) abzuschließen, und die CAD-Software für die ARM2-Entwicklung beschleunigte. Anschließend schrieb Wilson BBC BASIC in ARM-Assemblersprache um. Dank der gründlichen Kenntnisse, die sie bei der Entwicklung des Befehlssatzes gewonnen hatte, konnte der Code sehr dicht sein, was ARM BBC BASIC zu einem extrem guten Test für jeden ARM-Emulator macht.

Das Ergebnis der Simulationen auf den ARM1-Boards führte Ende 1986 zur Einführung des ARM2-Designs, das mit 8 MHz lief, und Anfang 1987 zu einer beschleunigten Version mit 10 bis 12 MHz. Eine wesentliche Änderung der zugrunde liegenden Architektur war die Hinzufügung eines Booth-Multiplikators, während die Multiplikation zuvor in Software durchgeführt werden musste. Außerdem ermöglichte ein neuer Fast-Interrupt-ReQuest-Modus, kurz FIQ, dass die Register 8 bis 14 als Teil des Interrupts selbst ersetzt wurden. Dies bedeutete, dass FIQ-Anfragen ihre Register nicht auslagern mussten, was die Interrupts weiter beschleunigte.



NXP ARM-Prozessor in einem Samsung-Mobiltelefon (Foto: Wikipedia)

Der ARM2 war etwa siebenmal so schnell wie ein typisches 7-MHz-System auf 68000-Basis wie der Commodore Amiga oder der Macintosh SE. Er war doppelt so schnell wie ein Intel 80386, der mit 16 MHz lief, und etwa genauso schnell wie ein Multiprozessor-Superminicomputer VAX-11/784. Die einzigen Systeme, die ihn übertrafen, waren die Sun SPARC- und die MIPS R2000 RISC-basierten Workstations.

Da die CPU für Hochgeschwindigkeits-E/A ausgelegt war, konnte sie auf viele der in diesen Rechnern verwendeten Unterstützungschips verzichten; insbesondere fehlte ein dedizierter DMA-Controller (Direct Memory Access), wie er häufig in Workstations zu finden war. Auch das Grafiksystem wurde auf der Grundlage derselben grundlegenden Annahmen über Speicher und Timing vereinfacht. Das Ergebnis war ein drastisch vereinfachtes Design, das eine Leistung auf dem Niveau teurer Workstations bot, aber zu einem Preis, der mit dem moderner Desktops vergleichbar war.

Der ARM2 hatte eine Transistoranzahl von nur 30.000, verglichen mit dem sechs Jahre älteren 68000er-Modell von Motorola mit rund 68.000. Ein Großteil dieser Einfachheit ist auf das Fehlen von Mikrocode zurückzuführen, der etwa ein Viertel bis ein Drittel der Transistoren des 68000 ausmacht, sowie auf das Fehlen eines Cache. Dies ermöglichte es dem ARM2, einen niedrigen Stromverbrauch zu haben und dennoch eine bessere Leistung als der Intel 80286 zu bieten.

Ein Nachfolger, der ARM3, wurde mit einem 4-KB-Cache produziert, der die Leistung weiter verbesserte. Der Adressbus wurde beim ARM6 auf 32-Bit erweitert, aber der Programmcode musste wegen der reservierten Bits für die Statusflags immer noch innerhalb der ersten 64 MB des Speichers im 26-Bit-Kompatibilitätsmodus liegen.

## **ARM veränderte die Welt**

Die Einführung von ARM-Prozessoren hat die Welt der Computer- und Elektronikindustrie tiefgreifend verändert. Der Prozessor hat dazu beigetragen, dass Mobilgeräte immer leistungsfähiger wurden und heute eine wichtige Rolle in unserem täglichen Leben spielen. Sie ermöglichen es uns, überall und jederzeit mit dem Internet zu verbinden, zu kommunizieren, zu arbeiten und zu spielen. ARM-Prozessoren haben zudem dazu beigetragen, dass Cloud-Computing möglich wurde, da sie es ermöglichen, dass große Mengen von Daten schnell und effizient verarbeitet werden können.

Einige der bekanntesten Unternehmen, die ARM-Prozessoren lizenzieren, sind:

- Apple: Der iPhone-Hersteller verwendet ARM-Prozessoren in seinen mobilen Geräten, einschließlich des iPhone, des iPad und des iPod touch.
- Qualcomm: Qualcomm ist ein führender Hersteller von mobilen Prozessoren, der ARM-Prozessoren in seinen Produkten verwendet.
- Samsung: Der südkoreanische Elektronikhersteller verwendet ARM-Prozessoren in seinen mobilen Geräten, einschließlich des Galaxy S und des Galaxy Note.
- Huawei: Der chinesische Technologiekonzern verwendet ARM-Prozessoren in seinen mobilen Geräten, einschließlich des P40 und des Mate 30.
- Nvidia: Nvidia ist ein führender Hersteller von Grafikkarten und Prozessoren für Gaming-PCs und andere Hochleistungs-Anwendungen. Das Unternehmen verwendet ARM-Prozessoren in einigen seiner Produkte.

Intel hat in den letzten Jahren begonnen, sich auf den Markt für mobile Geräte und das Internet der Dinge (Internet of Things, IoT) auszudehnen. Um in diesen Märkten konkurrenzfähig zu bleiben, hat Intel einige ARM-Prozessoren entwickelt und lizenziert, die in einigen seiner Produkte verwendet werden. Zum Beispiel verwendet Intel ARM-Prozessoren in einigen seiner IoT-Plattformen und in manchen seiner mobilen Prozessoren. Allerdings ist Intel immer noch hauptsächlich auf x86-Prozessoren ausgerichtet und hat keine breite Palette von ARM-Prozessoren im Vergleich zu anderen ARM-Lizenznehmern.



Ein IBM PowerPC 601 RISC-Mikroprozessor (Foto: Wikipedia)

Der ARM-Prozessor wird auch beim Raspberry Pi verwendet. Er wurde ursprünglich mit einem ARM11-Prozessor ausgestattet, aber inzwischen gibt es verschiedene Modelle mit unterschiedlichen Prozessoren, darunter auch Modelle mit moderneren ARM-Prozessoren wie dem ARM Cortex-A72.

Der Raspberry Pi ist sehr beliebt und wurde seit seiner Einführung im Jahr 2012 in großen Stückzahlen verkauft. Laut der Stiftung Raspberry Pi Foundation, die den Raspberry Pi entwickelt hat, wurden bis Ende 2020 mehr als 50 Millionen Einheiten verkauft. Er wird weltweit von vielen verschiedenen Benutzern verwendet, darunter von Schülern und Studenten, die ihn als Lernplattform nutzen, von Entwicklern, die damit Prototypen erstellen, und von Heimautomatisierungs-Enthusiasten, die ihn als Steuerelement für verschiedene Geräte einsetzen. Der Raspberry Pi hat sich zu einem wichtigen Werkzeug für viele Anwendungsbereiche entwickelt und wird weiterhin in großen Stückzahlen verkauft.

## Links

- [1: Von Adam bis Zuse](#)
- [2: Die drei großen Buchstaben](#)
- [3: Kalifornien und Texas erobern die Welt](#)
- [4: Gleiche Geschwindigkeit bei doppelter Bit-Zahl](#)
- [5: Die Billig-CPU](#)
- [6: Computer für die Massen](#)
- [7: Der Zukunftsprozessor](#)
- [8: Die Legende des Außerirdischen](#)
- [9: Eine Freundin für den Geek](#)
- [10: Siegeszug der 8086er](#)
- [11: Der elektronische Apfel](#)
- [12: Der reduzierte Befehlssatz](#)
- [13: Made in Germany](#)

### **Date Created**

23. Dezember 2022

### **Author**

sven