

Mikrowelten – Geschichten der Computertechnik – Teil 5: Die Billig-CPU

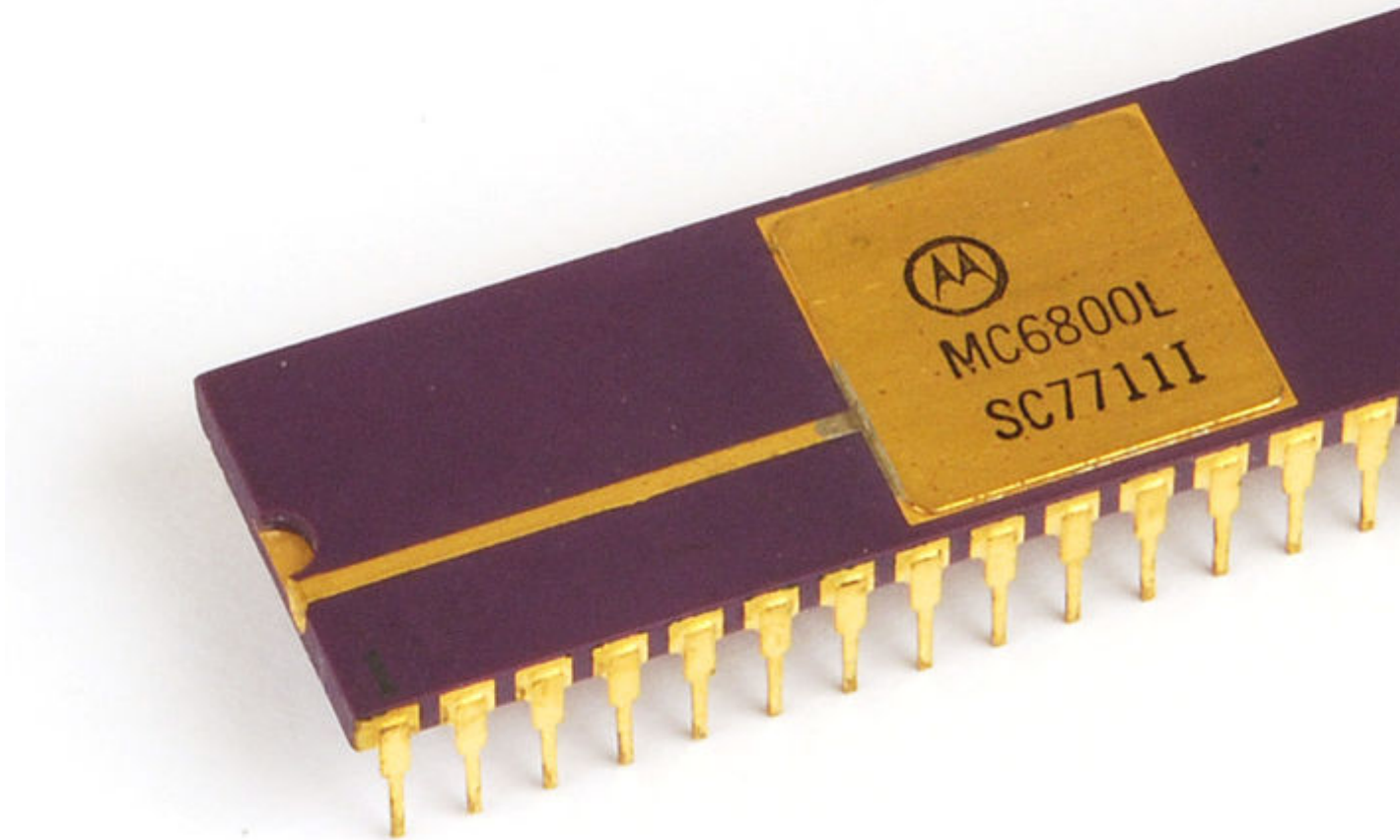
Description

Neben Intel und Texas Instruments entwickelten in den 1970er Jahren auch andere Firmen Prozessoren und Mikrocontroller. Eine der bekanntesten war Motorola, die u. a. mit der 68000er-Familie (z. B. Amiga) sehr populär waren. Und eine kleine Firma namens MOS Technology leitete Mitte 1975 eine Revolution ein.

Motorola 6800

Motorola wurde 1928 gegründet und 2011 aufgelöst. Dazwischen liegt eine interessante Firmengeschichte mit spannenden Produkten, auf die ich im übernächsten Teil tiefer eingehen möchte. Heute reicht es, den Blick auf den Motorola 6800 zu richten. Einem 8-Bit-Prozessor, der 1974 auf den Markt kam. Zur Einordnung: Der Intel 4004 erschien 1971, der 8008 1972. Der Motorola 6800 erschien im selben Jahr wie der Intel 8080.

Das Motorola-Mikroprozessorprojekt begann 1971 mit einem Team, das sich aus dem Designer Tom Bennett, dem technischen Leiter Jeff LaVell, dem Produktvermarkter Link Young und den Systemdesignern Mike Wiles, Gene Schriber und Doug Powell zusammensetzte. Als das Projekt abgeschlossen war, beschäftigte Bennett 17 Chipdesigner und Layouter, die an fünf Chips arbeiteten. LaVell hatte 15 bis 20 Systemingenieure.



Motorola MC6800 – Foto: Wikipedia

Tom Bennett hatte einen Hintergrund in industriellen Steuerungen und hatte in den 1960er Jahren für Victor Comptometer gearbeitet, wo er den ersten elektronischen Taschenrechner mit MOS-ICs, den Victor 3900, entwickelte. Im Mai 1969 zeigte Ted Hoff Bennett frühe Diagramme des Intel 4004, um herauszufinden, ob er die Anforderungen des Unternehmens an Taschenrechner erfüllen würde. Bennett kam 1971 zu Motorola, um Taschenrechner-ICs zu entwickeln. Schon bald wurde er zum Chefarchitekten des Mikroprozessorprojekts ernannt, aus dem der 6800 hervorging.

Nach dem 6800-Projekt arbeitete Bennett an Anwendungen für die Automobilindustrie, und Motorola wurde zu einem wichtigen Lieferanten von Mikroprozessoren für den Einsatz in Automobilen.

Der Motorola 6800 und der Intel 8080 wurden zur gleichen Zeit entwickelt und waren in ihrer Funktion ähnlich. Der 6800 hatte einen bidirektionalen 8-Bit-Datenbus, einen 16-Bit-Adressbus, der 64 KB Speicher adressieren konnte und war in einem 40-poligen DIP-Gehäuse untergebracht. Der 6800

verfügte über zwei 8-Bit-Akkumulatoren, ein 16-Bit-Indexregister und einen 16-Bit-Stapelzeiger. Der direkte Adressierungsmodus ermöglichte einen schnellen Zugriff auf die ersten 256 Byte des Speichers.

E/A-Geräte wurden wie Speicher adressiert, so dass es keine speziellen E/A-Befehle gab. Wenn der 6800 zurückgesetzt wurde, lud er den Programmzähler von der höchsten Adresse und begann die Ausführung an der dort gespeicherten Speicherstelle. Er verfügte über eine Drei-Zustands-Steuerung, die den Adressbus deaktivieren konnte, um einem anderen Gerät direkten Speicherzugriff zu ermöglichen. So konnte z. B. ein Diskettencontroller Daten in den Speicher laden, ohne dass eine Unterstützung durch die CPU erforderlich war. Es war sogar möglich, zwei 6800-Prozessoren auf denselben Speicher zugreifen zu lassen.

Chuck Peddle und MOS Technology

Charles „Chuck“ Peddle wurde 1937 geboren und machte 1959 seinen Bachelor in Engineering Physics. Daraufhin arbeitete er als Elektroingenieur bei General Electric und machte sich 1970 selbständig. Nachdem zwei seiner Firmen pleite gingen, heuerte er 1972 bei Motorola an und stieß 1973 zum Entwicklungsteam, nachdem die Entwicklung des 6800-Prozessors abgeschlossen war. Dennoch trug er zum Gesamtsystemdesign und zu mehreren Peripheriechips bei, insbesondere zur parallelen Schnittstelle 6820. Peddle ist bei sechzehn Motorola-Patenten als Erfinder aufgeführt, die meisten haben sechs oder mehr Miterfinder. Wie die anderen Ingenieure des Teams besuchte er potenzielle Kunden und holte deren Feedback ein. Er und John Buchanan bauten eine der ersten 6800-Demonstrationsplatinen.



Chuck Peddle –Foto: Wikipedia, 17 Oktober 2013

Peddle galt als Visionär, der von seinen Visionen und vor allem von sich selbst sehr überzeugt war. Er erkannte den Markt für einen sehr preisgünstigen Mikroprozessor und begann, sich für ein Design einzusetzen, das den 300-Dollar-Motorola 6800 ergänzen sollte. Seine Bemühungen wurden von der Motorola-Geschäftsführung zunichtegemacht, und er wurde aufgefordert, das Projekt fallen zu lassen.

Das ist in großen Unternehmen nicht unüblich. Wenn die Geschäftsführung nicht mehr auf gute Ingenieure hört, verlassen diese irgendwann die Firma. Sie gründen eigene Unternehmen oder schließen sich kleineren Firmen an. Im August 1974 verließ Chuck Peddle Motorola und ging zu einem kleinen Halbleiterunternehmen in Pennsylvania, MOS Technology. Bei dieser Gelegenheit nahm er auch gleich ein paar Kollegen mit. Er sollte dort und bei Commodore in den folgenden Jahren eine sehr wichtige Rolle spielen.

MOS Technology war ein junges Unternehmen, welches 1969 als Tochterunternehmen der Allen-Bradley Co. gegründet wurde. Zunächst waren sie Lieferant von Texas Instruments, später von Atari und produzierten ein kundenspezifisches Ein-Chip-Pong-System.

1975, als die Motorola-Leute zu MOS kamen, gab es noch keine reine Halbleiterfertigung, so dass sie sich mit einem Chip-Hersteller zusammenschließen mussten, um ihre neue CPU zu produzieren. Das Team von vier Entwicklungsingenieuren wurde von Chuck Peddle geleitet und umfasste auch Bill Mensch. Bei MOS machten sie sich daran, eine neue CPU zu entwickeln, die die 6800 übertreffen sollte, ihr aber in ihrer Funktion ähnelte und wesentlich preiswerter war. Das daraus resultierende Design des 6501 ähnelte dem des 6800, aber durch einige Vereinfachungen im Design sollte der 6501 bis zu viermal schneller sein.

6501 und 6502

Die 650x-Prozessorfamilie sollte höchstens 25 Dollar kosten. Zur Erinnerung: Der 6800 von Motorola lag damals bei 300 Dollar. Das berühmteste Mitglied der 650x-Serie war der 6502, der 1975 entwickelt wurde und 15 % des Preises eines Intel 8080 kostete. Er wurde in der Folge in vielen kommerziellen Produkten eingesetzt, darunter der Apple II, der Commodore PET und der Commodore VIC-20 (in Deutschland VC-20). Die größte Konkurrenz für den Prozessor war der Zilog Z80, welcher 1976 erschien.

Einführungsanzeige, in der der Mikroprozessor MOS 6501 auf der Western Electronic Show and Convention (WESCON) in San Francisco vom 16. bis 19. September 1975 zum Verkauf angeboten wird. – Foto: Wikipedia

Der 6502 zählte zu den wichtigsten 8-Bit-Prozessoren der Computergeschichte. Peddle und Bill Mensch gelten als Pioniere der Personalcomputer, da sowohl die 6502-Technologie als auch das Geschäftsmodell maßgeblich dazu beitrugen, die Revolution der Personalcomputer einzuleiten. Doch wie kam es dazu?

6501 und 6502 wurden gleichzeitig entwickelt, wobei man heute den 6501 als „Marketing Schachzug“ bezeichnet. Aufgrund der Abgänge von Motorola war absehbar, dass es schnell zu Patentstreitigkeiten kommen würde. Somit entwickelte MOS Technology zwei Prozessoren, um einen vor Gericht „opfern“ zu können. Dabei ist selbst die Namensgebung heute noch umstritten. Die einen meinen, es sei clever gewesen, die Zahl am Motorola-Vorbild zu orientieren, andere hingegen vertreten die Auffassung, dass dies einen Rechtsstreit unnötig provoziert hätte.



Die drei Computer, die das Byte Magazine als die „Dreifaltigkeit von 1977“ der Heimcomputer bezeichnete: Der Commodore PET 2001, der Apple II und der TRS-80 Model I. – Foto: Wikipedia

Der 6501 wurde in denselben Sockel wie der Motorola 6800 eingesteckt, während der 6502 die Pinbelegung neu anordnete, um einen On-Chip-Taktozillator zu unterstützen. Beide arbeiten mit anderen Chips zusammen, die für den 6800 entwickelt wurden. Sie konnten keine 6800-Software ausführen, da sie einen anderen Befehlssatz, andere Register und meist andere Adressierungsmodi hatten.

Die Einführung der Mikroprozessoren von MOS Technology unterschied sich von der traditionellen, monatelangen Produkteinführung. Die erste Serie eines neuen integrierten Schaltkreises wird normalerweise für interne Tests verwendet und an ausgewählte Kunden als „Entwicklungsmuster“ weitergegeben. Diese Chips weisen oft kleine Designfehler auf, die vor Beginn der Produktion korrigiert werden. Chuck Peddles Ziel war es, die erste Serie von 6501- und 6502-Chips an die Besucher der Wescon-Messe in San Francisco zu verkaufen, die am 16. September 1975 begann. Peddle war ein sehr guter Pressesprecher und in der Fachpresse wurde ausführlich über die Mikroprozessoren von MOS Technology berichtet.

Als MOS Technology auf der Wescon ankam, mussten sie feststellen, dass es den Ausstellern nicht gestattet war, auf der Messe etwas zu verkaufen. Sie mieteten die MacArthur Suite im St. Francis Hotel und leiteten Kunden dorthin, um die Prozessoren zu kaufen. In der Suite wurden diese in großen Gläsern aufbewahrt, um den Eindruck zu erwecken, die Chips seien in Produktion und sofort verfügbar. Die Kunden wussten nicht, dass die untere Hälfte jedes Glases nicht funktionsfähige Chips enthielt.

Bei Fertigungskosten von unter 12 Dollar kosteten die Chips 20 (6501) bzw. 25 Dollar (6502), das Dokumentationspaket zusätzlich 10 Dollar. Die Benutzer wurden aufgefordert, Fotokopien der Dokumente anzufertigen, eine kostengünstige Möglichkeit für MOS Technology, Produktinformationen zu verbreiten. Peddle wollte, dass jeder interessierte Ingenieur und Bastler Zugang zu den Chips und der Dokumentation hatte. Andere Halbleiterunternehmen wollten nur mit „seriösen“ Kunden zu tun haben.

Motorola reagiert

Die Vorstellung des 6501/6502 in der Presse und auf der Wescon war ein großer Erfolg. Der Nachteil war, dass die umfangreiche Berichterstattung die Aufmerksamkeit von Motorola erregte. Im Oktober 1975 senkte Motorola den Preis für einen einzelnen 6800-Mikroprozessor von 175 \$ auf 69 \$. Das 300 \$ teure Systemdesign-Kit wurde auf 150 \$ gesenkt und enthielt nun eine Leiterplatte.

Am 3. November 1975 beantragte Motorola beim Bundesgericht eine einstweilige Verfügung, um MOS Technology die Herstellung und den Verkauf von Mikroprozessorprodukten zu untersagen. Das Unternehmen reichte außerdem eine Klage wegen Patentverletzung und Veruntreuung von Geschäftsgeheimnissen ein. Motorola behauptete, dass sieben ehemalige Mitarbeiter zu MOS Technology wechselten, um die Mikroprozessorprodukte des Unternehmens zu entwickeln.

Motorola war ein milliardenschweres Unternehmen mit einer plausiblen Argumentation und Anwälten. Am 30. Oktober 1974 hatte Motorola zahlreiche Patente auf die Mikroprozessorfamilie angemeldet und erhielt fünfundzwanzig Patente. Das erste wurde im Juni 1976 erteilt, das zweite am 6. Juli 1976 an Bill Mensch für das Layout des 6820 PIA-Chips. Diese Patente deckten den 6800-Bus und die Art und Weise ab, wie die Peripheriechips mit dem Mikroprozessor verbunden waren.



Apple III+ – Foto: Wikipedia

Vier der ehemaligen Motorola-Ingenieure wurden in der Klage genannt: Chuck Peddle, Will Mathys, Bill Mensch und Rod Orgill. Alle waren als Erfinder in den 6800-Patentanträgen genannt. Während des Ermittlungsverfahrens stellte Motorola fest, dass ein Ingenieur, Mike Janes, Peddles Anweisungen ignoriert und seine 6800-Konstruktionsunterlagen zu MOS Technology gebracht hatte.

Im März 1976 ging der MOS Technology das Geld aus und sie musste den Fall beilegen. Sie erklärten sich bereit, den 6501-Prozessor fallen zu lassen, Motorola 200.000 Dollar zu zahlen und die Dokumente zurückzugeben, die Motorola als vertraulich bezeichnete. Beide Unternehmen vereinbarten eine gegenseitige Lizenzierung von Mikroprozessorpatenten. Im Mai dieses Jahres senkte Motorola den Preis für einen einzelnen 6800-Mikroprozessor auf 35 Dollar. Im November hatte Commodore, zu diesem Zeitpunkt durch den „Taschenrechner Krieg“ mit Texas Instruments schwer angeschlagen, MOS Technology übernommen.

Technische Besonderheiten

Was macht den 6502 so besonders und wie war es möglich, ihn so günstig herzustellen? Darüber hinaus übertraf der 6502 den 6800 auch in technischer Hinsicht.

Die wichtigste Änderung in Bezug auf die Chipgröße war der Wegfall der Tri-State-Treiber an den Adressbusausgängen. Diese waren in den 6800 eingebaut worden, um die Zusammenarbeit mit anderen Chips bei direktem Speicherzugriff (DMA) und Co-Processing zu ermöglichen, was jedoch einen erheblichen Platzbedarf zur Folge hatte. In der Praxis erforderte die Verwendung eines solchen Systems, das die anderen Bausteine ähnlich komplex waren, und die Entwickler tendierten stattdessen dazu, Systeme außerhalb des Chips zu verwenden, um solche Zugriffe zu koordinieren. Beim 6502 wurde diese Funktion einfach entfernt, was seiner Konzeption als preiswerter Controller für spezielle Aufgaben und die Kommunikation mit einfachen Geräten entsprach.



PRELIMINARY

DATA

SHEET

MAY, 1976

MCS6500 MICROPROCESSORS

The MCS6500 Microprocessor Family Concept -----

The MCS6500 Series Microprocessors represent the first totally software compatible microprocessor family. This family of products includes a range of software compatible microprocessors which provide a selection of addressable memory range, interrupt input options and on-chip clock oscillators and drivers. All of the microprocessors in the MCS6500 group are software compatible within the group and are bus compatible with the M6800 product offering.

The family includes five microprocessors with on-board clock oscillators and drivers and four microprocessors driven by external clocks. The on-chip clock versions are aimed at high performance, low cost applications where single phase inputs, crystal or RC inputs provide the time base. The external clock versions are geared for the multi processor system applications where maximum timing control is mandatory. All versions of the microprocessors are available in 1 MHz and 2 MHz ("A" suffix on product numbers) maximum operating frequencies.

Features of the MCS6500 Family

- . Single five volt supply
- . N channel, silicon gate, depletion load technology
- . Eight bit parallel processing
- . 56 Instructions
- . Decimal and binary arithmetic
- . Thirteen addressing modes
- . True indexing capability
- . Programmable stack pointer
- . Variable length stack
- . Interrupt capability
- . Non-maskable interrupt
- . Use with any type or speed memory
- . Bi-directional Data Bus
- . Instruction decoding and control
- . Addressable memory range of up to 65K bytes
- . "Ready" input
- . Direct memory access capability
- . Bus compatible with MC6800
- . Choice of external or on-board clocks
- . 1MHz and 2MHz operation
- . On-the-chip clock options
 - * External single clock input
 - * RC time base input
 - * Crystal time base input
- . 40 and 28 pin package versions
- . Pipeline architecture

Members of the Family

Microprocessors with On-Board Clock Oscillator

MCS6502
MCS6503
MCS6504
MCS6505
MCS6506

Microprocessors with External Two Phase Clock Input

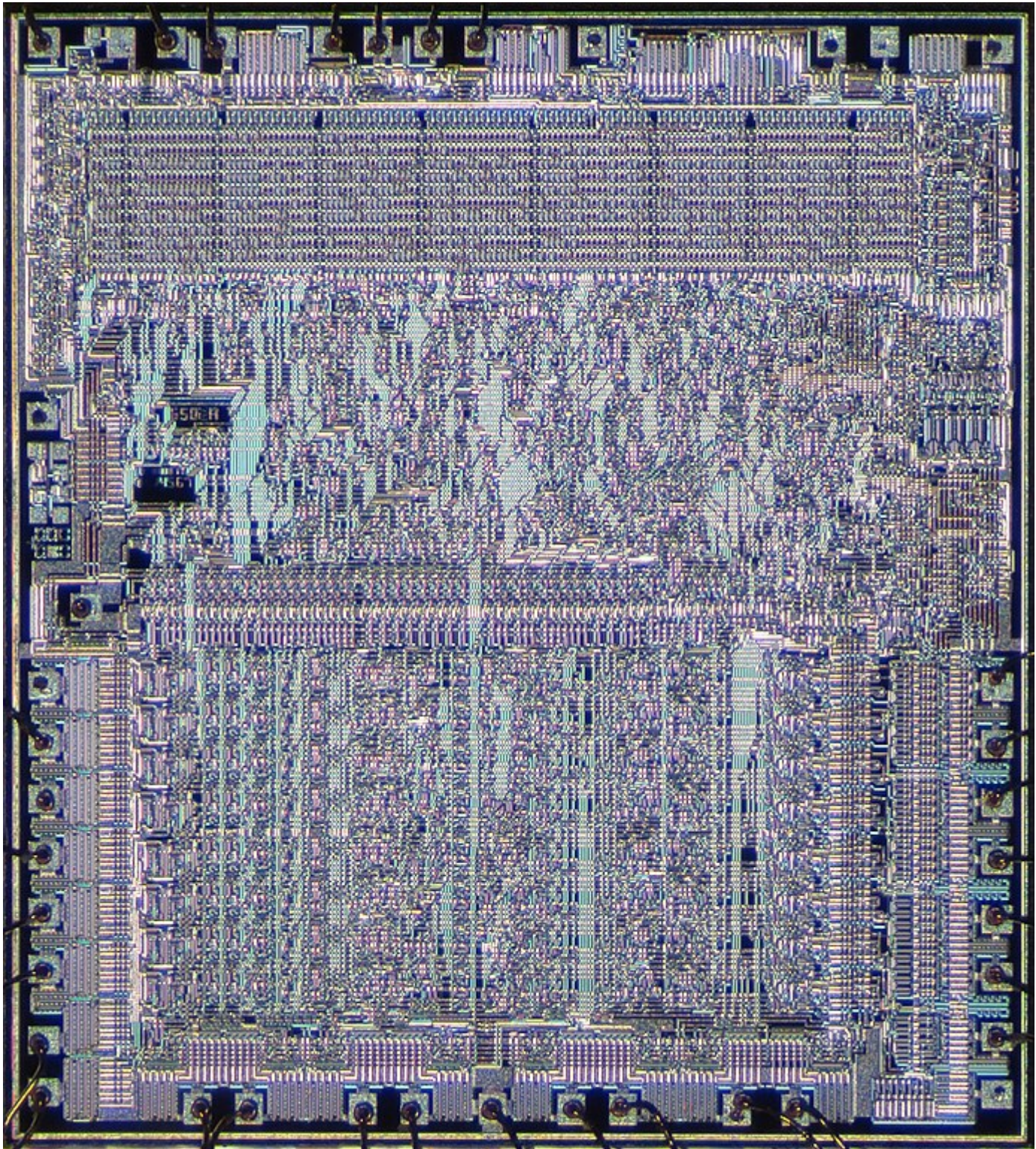
MCS6512
MCS6513
MCS6514
MCS6515

Vorläufiges Datenblatt zu den Mikroprozessoren MCS6500 von MOS Technology, Mai 1976. (Seite 1 von 12.) – Foto: Wikipedia

Der nächste große Unterschied bestand darin, die Register zu vereinfachen. Zunächst einmal wurde einer der beiden Akkumulatoren entfernt. Auf Allzweckregister wie Akkumulatoren muss von vielen Teilen des Befehlsdecoders zugegriffen werden, so dass ein erheblicher Verdrahtungsaufwand erforderlich ist, um Daten in und aus ihrem Speicher zu transportieren. Zwei Akkumulatoren erleichtern

zwar viele Kodieraufgaben, aber das Chipdesign selbst wird dadurch erheblich komplexer. Weitere Einsparungen wurden durch die Verringerung des Stapelregisters von 16 auf 8 Bits erzielt, was bedeutet, dass der Stapel nur 256 Byte lang sein konnte, was für die vorgesehene Rolle als Mikrocontroller ausreichend war.

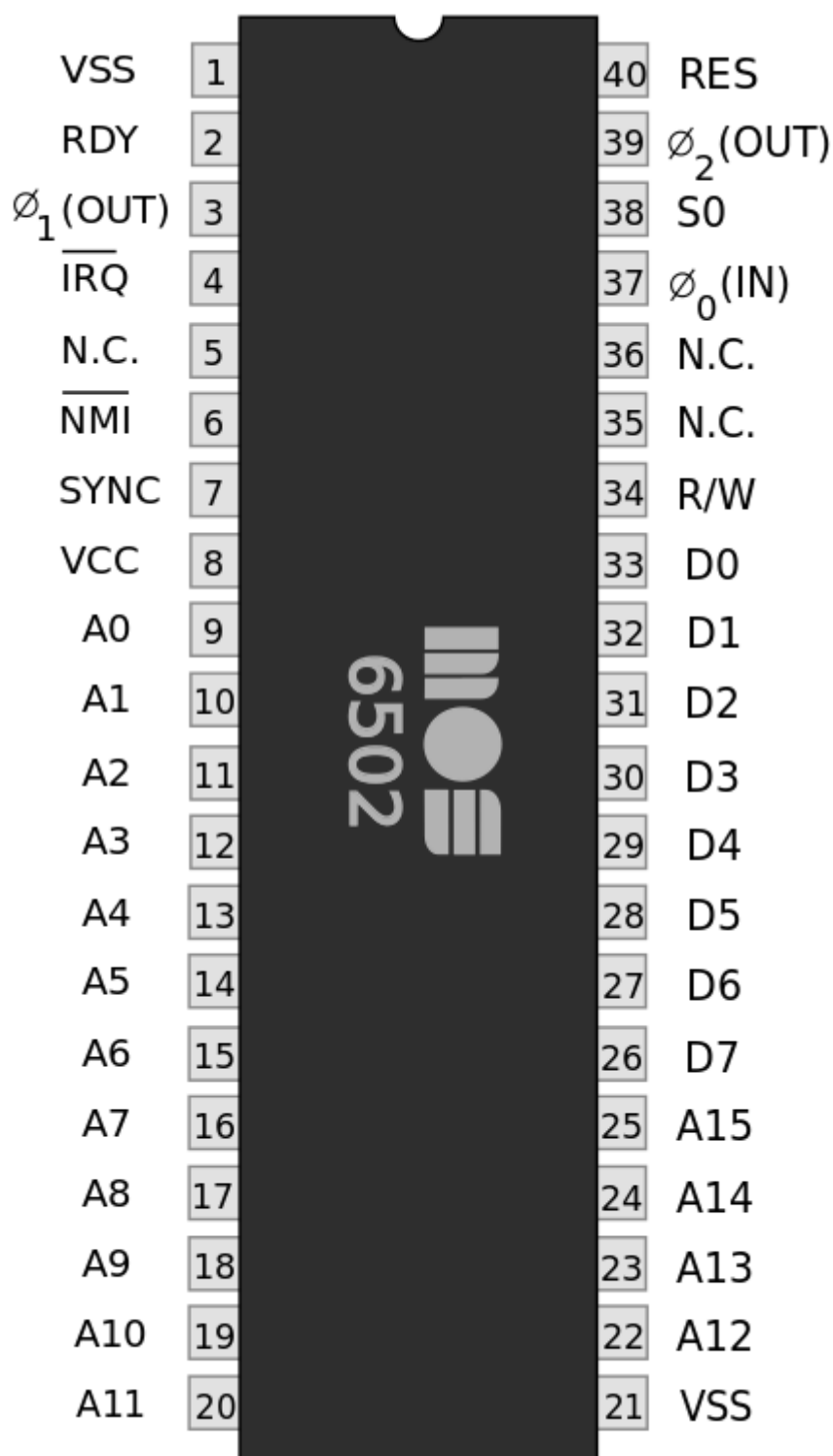
Das 16-Bit-Indexregister IX wurde in X und Y aufgeteilt. Vor allem aber änderte sich die Art des Zugriffs: Beim 6800 enthielt IX eine 16-Bit-Adresse, die um eine mit dem Befehl gelieferte 8-Bit-Zahl verschoben wurde. Die beiden wurden addiert, um die endgültige Adresse zu erhalten. Beim 6502 (und den meisten anderen Designs) wurde die 16-Bit-Basisadresse im Befehl gespeichert und das X oder Y dazu addiert.



MOS 6502 – Foto: Wikipedia

Schließlich wurde der Befehlssatz vereinfacht, wodurch Platz im Decoder und in der Steuerlogik frei wurde. Von den ursprünglich 72 Befehlen des 6800 blieben 56 übrig. Darunter befanden sich alle Befehle, die Daten zwischen den beiden Akkumulatoren des 6800 verschoben, sowie eine Reihe von Verzweigungsbefehlen. Der 6502 verwendete ein einfacheres System, bei dem Vergleiche durch die Durchführung von Berechnungen im Akkumulator und die anschließende Prüfung der Ergebnisflags

durchgeführt wurden.



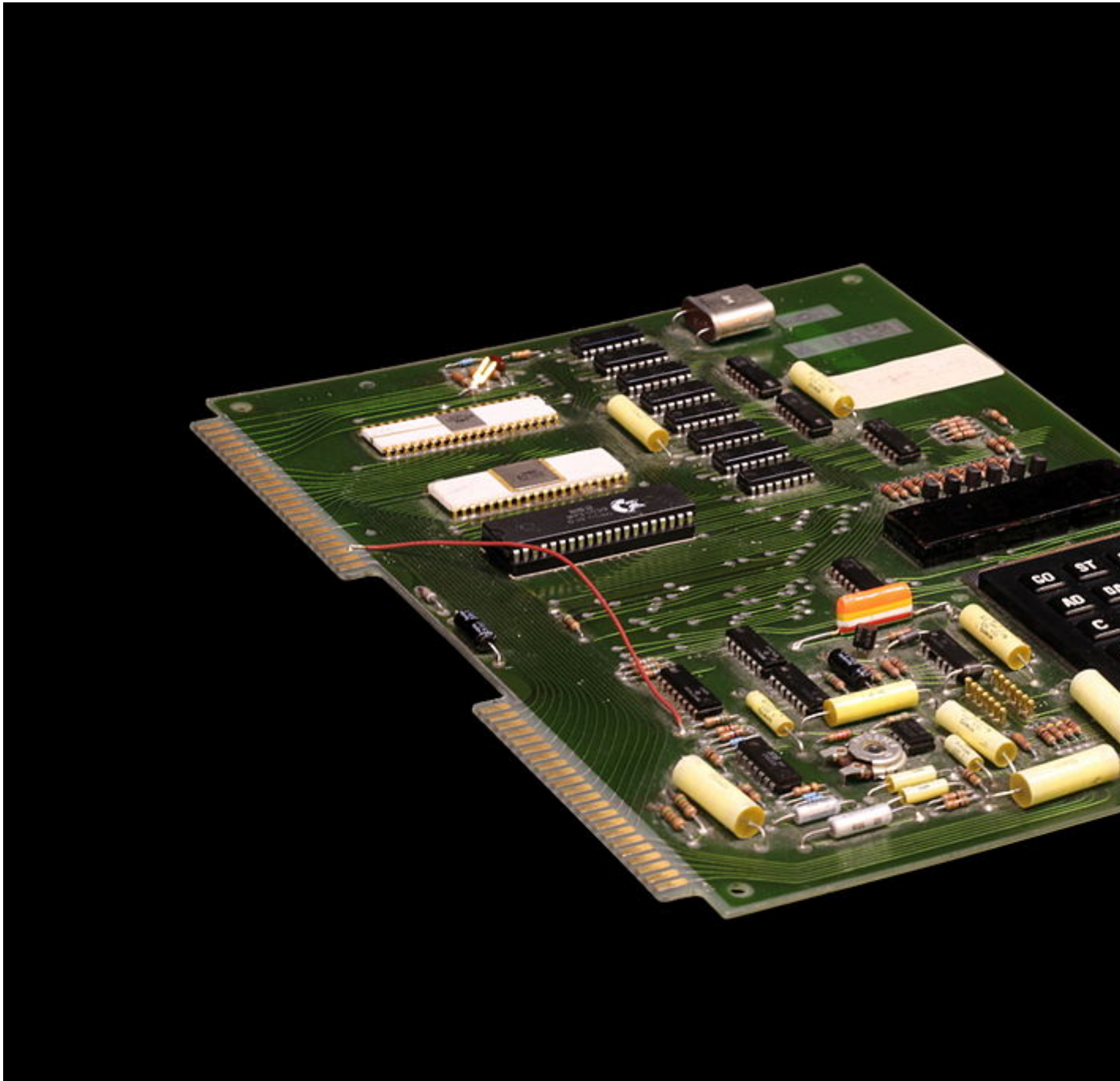
Pinbelegungsdiagramm – Zeichnung: Wikipedia

Das High-Level-Design des Chips musste in Zeichnungen von Transistoren (ca. 3510 Stück) und Verbindungen umgesetzt werden. Bei MOS Technology war das „Layout“ ein sehr manueller Prozess, der mit Farbstiften und Pergamentpapier durchgeführt wurde. Das Layout bestand aus Tausenden von

Polygonformen auf sechs verschiedenen Zeichnungen, eine für jede Schicht des Herstellungsprozesses. Angesichts der Größenbeschränkungen musste das gesamte Chipdesign ständig berücksichtigt werden. Mensch und Paivinen arbeiteten an dem Befehlsdecoder, während Mensch, Peddle und Orgill an der ALU (Arithmetic logic unit) und den Registern arbeiteten. Ein weiterer Fortschritt, der auf einer Party entwickelt wurde (ja, auch solche Leute feiern), war eine Möglichkeit, einen Teil der internen Verdrahtung zu teilen, um die ALU zu verkleinern.

Bedeutung

Das 6502-Mikroprozessor-Design wurde auch zur 16-Bit-CPU 65816 weiterentwickelt, wobei die Abwärtskompatibilität gewahrt blieb. Der 65C02S und der 65C816S sowie die darauf basierenden Mikrocontroller werden immer noch produziert und sind fast 50 Jahre nach der ursprünglichen Einführung des 650x, erhältlich. Der Prozessor wird bspw. heute noch als Controller in PC-Tastaturen eingesetzt.



MOS KIM 1 – Foto: Wikipedia

Durch die rechtlichen Schwierigkeiten stand MOS vor dem Problem, Entwickler dazu zu bringen, ihren Prozessor auszuprobieren. Dies veranlasste Chuck Peddle dazu, den Einplatinencomputer MDT-650 („microcomputer development terminal“) zu entwickeln. Eine andere Gruppe innerhalb des Unternehmens entwarf den KIM-1, der halbfertig verkauft wurde und mit einem Computerterminal eines Drittanbieters und einem Kompaktkassettenlaufwerk in ein brauchbares System verwandelt werden konnte. Zu ihrem großen Erstaunen verkaufte sich das KIM-1 sowohl bei Bastlern und Tüftlern als auch bei den Ingenieuren, für die es gedacht war. Das zugehörige Rockwell AIM 65 Steuerungs-, Schulungs- und Entwicklungssystem war ebenfalls sehr erfolgreich. Die Software des AIM 65 basierte auf derjenigen des MDT.



Atari 800 – Foto: Wikipedia

Eine der ersten „öffentlichen“ Anwendungen des Designs war der Apple I, der 1976 eingeführt wurde. Der 6502 wurde anschließend im Commodore PET und im Apple II verwendet, die beide 1977 auf den Markt kamen. Der 6502A mit 2 MHz wurde im Apple III (1980) verbaut. Später wurde er in der Atari 8-Bit-Familie (1,79 MHz im Atari 400 und 800) und den Acorn Atom-Heimcomputern, dem BBC Micro, dem Commodore VIC-20 und anderen Designs sowohl für Heimcomputer als auch für Unternehmen

verwendet. Der 6510, ein direkter Nachfolger des 6502 mit einem digitalen E/A-Anschluss und einem Tri-State-Adressbus, war die CPU, die im Commodore 64 verwendet wurde (985 kHz PAL-Version / 1,022 MHz NTSC-Version).



Commodore Chessmate – Foto: Wikipedia

Der 6504 wurde 1977/1978 im Commodore ChessMate (1 MHz, 320 Bytes RAM, 5 KB ROM) eingesetzt. Er verfügte über eine Bibliothek von 32 Eröffnungen mit je 16 Zügen und wurde in Deutschland für 199 DM verkauft. Berüchtigt wurde der Schachcomputer durch das sog. „H-Knack“-Problem. Es konnte vorkommen, dass der Computer den Springer auf ein Feld außerhalb des Bretts stellen wollte. Dieses Feld befand sich in der Spalte H, aber außerhalb der ersten acht Reihen. Am Ende der akustischen Tonfolge ertönte ein „Knack“. Programmierer war Peter R. Jennings. Die Spielstärke wird heute zwischen 683 und 836 Elo beziffert, was in etwa dem eines blutigen Anfängers entspricht. Damit ist der ChessMate einer der schwächsten Schachcomputer aller Zeiten.

6502- oder 6502-Varianten-CPU's wurden in allen Diskettenlaufwerken von Commodore für alle 8-Bit-

Computer verwendet, von der PET-Linie (von denen einige zwei 6502-basierte CPUs hatten) bis zum Commodore 128D, einschließlich des Commodore 64, und in allen Diskettenlaufwerken von Atari für alle 8-Bit-Computer, vom 400/800 bis zum XEGS.



Atari 2600 – Foto: Wikipedia

Ein weiterer wichtiger Einsatzbereich der 6500er Familie waren Videospiele. Die erste Anwendung des

Prozessors war das Atari VCS, dass später in Atari 2600 umbenannt wurde. Das VCS verwendete eine Variante des 6502, den 6507, der weniger Pins hatte und daher nur 8 KB Speicher adressieren konnte. Die Atari-Konsolen wurden millionenfach verkauft.

Das Nintendo Entertainment System und das Famicom war eine weitere wichtige Anwendung. Der 6502, der im NES verwendet wurde, war eine Second-Source-Version von Ricoh, ein teilweises System-on-a-Chip, dem der binär codierte Dezimalmodus fehlte, das aber 22 speicherbelegte Register und On-Die-Hardware für die Tonerzeugung, das Lesen von Joypads und DMA für Sprite-Listen enthielt. Dieser Prozessor wurde exklusiv für Nintendo hergestellt. Der Atari Lynx verwendete eine 4-MHz-Version des Chips, den 65SC02.



Atari Lynx Handheld – Foto: Wikipedia

Durch die große Bedeutung des Prozessors fand er sogar Erwähnung in der Popkultur. So hat bspw. der Roboter Bender aus der Serie Futurama einen 6502-Prozessor eingebaut. Bereits 1984, im ersten Terminator-Film, wird ein 6502-Assembler-Programm für den Apple II gezeigt.

Um den praktischen Nutzen geht es dann im nächsten Teil, wenn die Firma Commodore genauer beleuchtet wird.

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

25. Februar 2022

Author

sven