

# Einleitung

---

Die Digitalisierung all unserer Lebensbereiche bedingt, dass Computer unser Leben in einem nie dagewesenen Umfang beeinflussen. Zu keiner Zeit war die Abhängigkeit von funktionierenden Rechnersystemen größer als heutzutage. Betrachten Sie Ihr Arbeitsleben, Ihre Umgebung oder Ihre Privatsphäre.

Es ist nun fast unmöglich, einen technischen Gegenstand zu finden, in dem kein Computer eingebaut ist. Von den mechanischen Uhren mal abgesehen; Smart Watch, Fitnessarmbänder, Kaffeeautomaten, Blue-Ray-Player, Smart-TVs, Anti-Blockiersysteme, Navigationssysteme und vieles mehr. Alles funktioniert nur deshalb, weil sich im Inneren dieser Systeme kleine Rechner befinden, die die gewünschte Funktionalität unsichtbar für den Nutzer erbringen. Auch die Trendthemen Industrie 4.0, Künstliche Intelligenz oder Autonomes Fahren, all diese sind heute nur deshalb so relevant, weil man über eine enorme Rechenpower verfügt, die diese Anwendungen erst möglich machen. Computer, wahlweise auch Rechner genannt, bilden die Grundlage für diese digitale Revolution.

Die Fülle an Informationen zum Thema Rechnerarchitektur in Form von Büchern und insbesondere von Materialien, die im Internet verfügbar sind, hat in den letzten Jahren stark zugenommen. Aber genau genommen hat nur die verfügbare Information darüber in dieser Fülle zugenommen, nicht das Wissen in den Köpfen der Menschen. Denn es gibt einen wesentlichen Unterschied zwischen Information und Wissen: Jedes Wissen basiert auf verarbeiteter Information, aber nicht jede Information bedeutet einen Zuwachs an Wissen. Um von der angebotenen Informationsflut auch profitieren zu können, braucht es ein fundiertes Grundwissen, an dem neue Information angedockt werden kann. Wie kompliziert und innovativ neue Rechnersysteme auch sind, die grundlegenden Konzepte eines Rechners, wie er aufgebaut ist und wie die Abwicklung jeglicher Software darauf erfolgt, ist in großen Teilen invariant gegenüber diesen Innovationen.

Digitalrechner stellen sogenannte informationelle Systeme dar, deren Funktion und Wirken erst dann verständlich wird, wenn man die beobachtbaren Sachverhalte interpretiert. So geht es nicht darum, dass ein Signal den Spannungswert 0,5 V besitzt, sondern darum, dass die mit dem Signal verbundene Variable den logischen Wert 0 besitzt, mit dem eine bestimmte Bedeutung verbunden ist. Deshalb werden in diesem Buch der Aufbau und die Funktion von Rechnern systemtechnisch modelliert. Die verwendete Modellierungstechnik ist die FMC-Methodik (Fundamental Modelling Concepts). Auf der Systemebene ist die Realisierung von Komponenten als Hardware oder als Software zweitrangig, die Funktion steht im Vordergrund. Die FMC-Methodik ist sowohl unabhängig von der gewählten Art der Realisierung eines Systems als auch vom aktuellen Stand der Technologie. Eine wichtige Eigenschaft dieser Modellierungstechnik ist also die Implementierungsunabhängigkeit der Systembeschreibung.

## Über dieses Buch

---

Seit mehr als 20 Jahren vertrete ich das Lehrgebiet »Rechnerarchitektur« an der Hochschule und ich habe in zahlreichen Semestern und Prüfungen erfahren, was die Sicht der Studierenden auf das Thema erhellt und was eher als schwierig empfunden wird. In diesem Buch habe ich versucht, diese Kenntnis einzuarbeiten. Bei den technischen Informatikern kann man auf viele Details eines Rechnersystems eingehen, was natürlich einen umfassenden Einblick in die technischen Zusammenhänge erlaubt; das sind Details, die aber Wirtschaftsinformatiker gar nicht interessieren. Diese sind an den grundlegenden Prinzipien interessiert und möchten die Thematik funktional und prozessorientiert verstehen. Je weniger tief man in das Fachgebiet eintauchen will, umso klarer müssen die funktionalen Aspekte herausgearbeitet werden, da man auf die Detailfülle verzichtet.

Die Kunst besteht dabei im Weglassen unwichtiger Informationen und im Abstrahieren von wichtigen Informationen. Illustrationen, die in diesem Buch sehr häufig verwendet werden, verringern die Detailmengen und unterstützen somit die Wissensverarbeitung. Ich halte es in diesem Buch mit einer Aussage des bekannten französischen Schriftstellers Antoine de Saint-Exupéry: »Perfektion wird nicht darin erreicht, wenn man nichts mehr hinzufügen kann, sondern wenn nichts mehr weggelassen werden kann.«

Es ist klar, dass ich dieses Buch nicht hätte schreiben können, ohne dass ich viel von anderen gelernt hätte. Insbesondere die in diesem Buch verwendete Art der Modellierung von informationsverarbeitenden Systemen mittels der Methodik der *Fundamental Modelling Concepts* stammt nicht von mir, sondern wurde ursprünglich von Prof. Dr. Siegfried Wendt konzipiert und wurde in den letzten Jahrzehnten von anderen Autoren verfeinert und an vielen Stellen erfolgreich eingesetzt. Diese Methodik durfte ich als Student kennen und später als wissenschaftlicher Mitarbeiter schätzen lernen. Ich habe sie dann auch in der eigenen Lehre konsequent eingesetzt.

Ich erinnere mich an die Erzählung eines unserer Studierenden, als wir uns anlässlich einer Veranstaltung etwa drei Jahre nach seinem Abschluss wieder trafen. Er hatte nach dem Studium bei der Firma SAP angefangen und musste sich damals mit der Konzeption des neuen Produkts SAP HANA befassen; einer Technologie, die aus Performancegründen die schnelle *In-Memory-Technik* nutzt. Seine Aussage war, dass er zur Einarbeitung in diese komplexe Thematik erst einmal wieder die Unterlagen des Rechnerarchitektur-Kurses, den er bei mir gehört hatte, durchgearbeitet habe und sich auf dieser Basis weiter in die neuen Systeme einarbeiten konnte. Das hat mir dann doch Hoffnung gemacht, dass die Inhalte nützlich sein können.

Dieses Buch vermittelt Ihnen, beginnend von den Grundlagen bis hin zu Zukunftstechnologien, ein fundiertes Wissen zum Thema »Rechnerarchitektur«. Alle wichtigen Strukturen, Funktionsprinzipien und Konzepte, gemischt mit anschaulichen Beispielen, werden Sie in diesem Buch finden, ganz im Sinne der ... *für Dummies*-Reihe.

Gegenüber anderen auf dem Markt befindlichen Büchern zeichnet sich dieses Buch dadurch aus, dass das Grundsätzliche an den hier behandelten Systemen und Mechanismen realisationsunabhängig verstanden werden kann. Dies liegt im Wesentlichen an der verwendeten

Modellierungstechnik. Immer dann, wenn es nötig ist, einen konkreten, realen Prozessor zu betrachten, nehme ich auf die Prozessoren der M68xxx-Serie von Motorola Bezug, da diese didaktisch sehr gut geeignet sind, um beispielsweise die Architektur und die Grundlagen der Assemblerprogrammierung zu vermitteln. Dadurch ist es möglich, Sachverhalte an konkreten, realen Systemen zu studieren.

Wenn man sich nicht auf einen bestimmten Prozessortyp festlegen will, wäre es sicherlich in einem Lehrbuch über Computer auch möglich, einen fiktiven Modellprozessor einzuführen, an dem dann die relevanten Sachverhalte diskutiert werden können. Ich habe mich dennoch für ein exemplarisches Vorgehen entschieden. Ein Problem liegt sicher in der Auswahl der Typenvielfalt der am Markt angebotenen Prozessoren. Obwohl mir bewusst ist, dass der Markt momentan von anderen Prozessoren beherrscht wird, bin ich trotzdem bei diesem Prozessortyp M68xxx geblieben. Der Befehlssatz eines neueren Prozessors, wie beispielsweise dem Intel Prozessor Core i7, ist viel zu komplex, um ihn im Detail in diesem Buch zu behandeln. Dies wäre dem Ziel dieses Buchs, nämlich ein grundlegendes Verständnis zu erlangen, nicht dienlich gewesen.

Das Umsteigen auf andere Prozessortypen wird den Anwender nicht vor grundsätzlich neue Probleme stellen. Hier liegt der Vergleich mit einer Fahrschule nahe. Dort lernt man in der Regel auch auf einem bestimmten PKW fahren und sich nach deutscher Straßenverkehrsordnung zu bewegen. Im theoretischen Unterricht lernt man außerdem etwas über den Aufbau und die Arbeitsweise des Automobils. Wenn man den Führerschein erst mal erworben hat, kann man aber mit geringer Mühe auch andere PKW-Typen fahren und sich auch im Ausland, beispielsweise mit Linksverkehr, mit etwas Übung bewegen.

## Törichte Annahmen über den Leser

Ich nehme an, dass Sie sich, lieber Leser, für das Thema »Rechnerarchitektur« interessieren und tiefere Erkenntnisse dazu gewinnen möchten. Zu dieser Thematik gibt es zwar eine Menge an Literatur und Büchern, teils mit sehr vielen Details, aber Sie möchten das Thema vermutlich gerne von einer übergeordneten Warte aus kennenlernen oder vertiefen.

Höchstwahrscheinlich gehören Sie zu den Studierenden technischer Fachrichtungen, wie beispielsweise der Informatik, der Elektrotechnik oder der Mechatronik, und wollen oder müssen das Fach »Rechnerarchitektur« im Rahmen Ihres Studiums absolvieren. Die Klausur rückt näher und Sie suchen nach einem systematischen Zugang zur Thematik.

Vielleicht sind Sie aber auch Experte zum Thema »Rechnerarchitektur«. Trotzdem kann es durchaus hilfreich sein, eine Darstellung dieses Fachgebiets vor sich zu haben, die Ihnen vielleicht Ideen oder Zusammenhänge aufzeigt, die Sie vorher so nicht gesehen haben.

Auch Informatiker und Ingenieure aus der Praxis sowie Fachkräfte aus dem technischen Bereich könnten im Rahmen einer Weiterbildung am Thema »Rechnerarchitektur« Interesse zeigen. Schön wäre es, wenn Sie Ihre bisherigen Erkenntnisse im Bereich der Rechnerarchitektur mit der systemtechnischen Behandlung des Stoffs in diesem Buch synergetisch verbinden könnten und so ein vertieftes Wissen erlangten.

Dieses Buch setzt Grundkenntnisse der Digitaltechnik voraus. So wird nicht mehr erklärt, was ein Schaltnetz, ein Gatterbaustein oder ein Flipflop ist. Auch wird vorausgesetzt, dass sich die Leserschaft unter den Begriffen Zweierkomplementzahl, Integer- oder Gleitkommadarstellung etwas vorstellen kann.

## Was Sie nicht lesen müssen

Jedes Kapitel im Buch beschäftigt sich ausführlich mit einem bestimmten Thema. Jeder Teil und jedes Kapitel können prinzipiell unabhängig von den anderen studiert werden. Natürlich können Sie sich auch schwerpunktmäßig auf ein spezielles Thema fokussieren. Jedoch ergibt sich ein inhaltlich umfassenderes Verständnis durch die Kenntnis der Querbeziehungen zu den Inhalten der anderen Kapitel des Buchs.

## Wie dieses Buch aufgebaut ist

Das Buch gliedert sich in fünf Teile. Mit Teil I starten Sie bei den Grundlagen. Die weiteren Teile gruppieren die behandelte Thematik in drei übergeordnete Kategorien. Der fünfte Teil ist der bekannte Top-Ten-Teil der Dummies-Bücher. Inhaltlich geht es in den einzelnen Teilen um die grundlegenden Strukturen, Mechanismen und Prozesse, die beschreiben, wie heutige Rechner im Detail aufgebaut sind, wie sie funktionieren und welche Prozesse dabei ablaufen müssen.

### Teil I: Grundlegendes zu Rechnerarchitekturen

Im ersten Teil des Buchs geht es überblicksmäßig um die Allgegenwärtigkeit der Computer. Da diese von den kleinsten eingebetteten Systemen bis hin zu großen Serverfarmen eingesetzt werden, stellt sich die Frage, wie sich diese Systeme so enorm entwickeln konnten. Durch Höchstintegration werden immer kleinere Prozessorchips hergestellt, aber wo liegen die Grenzen dieser Technologie? Eine grundsätzliche Fragestellung schließt sich daran an: Wie kann man den Begriff »Rechnerarchitektur« eigentlich definieren? Es wird ferner die in diesem Buch verwendete FMC-Modellierungstechnik detailliert vorgestellt. Verschiedene Ansätze zur Leistungsbewertung von Rechnern schließen diesen Teil ab.

### Teil II: Das Kernelement: Der Prozessor

Teil II beschäftigt sich im Detail mit der sogenannten von Neumann-Architektur. Was sind die Informationskomponenten, wie erfolgt deren Interpretation und aus welchen Strukturelementen muss ein Prozessor bestehen? Strukturell wird das Kernelement, der Prozessor, durch das Operationswerk und das Steuerwerk modelliert. Der genaue Aufbau dieser beiden Systeme sowie deren Kommunikation wird detailliert besprochen. Es wird ausführlich erklärt, was man unter maschinennaher Programmierung versteht und wie der Befehlssatz für einen Standardprozessor aussieht. Beispiele von Assemblerprogrammen ergänzen diese Thematik. Es wird die Technik der Übersetzung von Assemblerprogrammen

in eine Maschinensprache erläutert. Die verschiedenen Ausprägungen des Systembusses als Kommunikationsmedium im Prozessor, dessen prioritätsorientierte Vergabe sowie das Thema der Ausnahmeverarbeitung sind weitere Schwerpunktthemen.

## Teil III: Das Konzept der Speicherhierarchie

Dieser Teil ist den verschiedenen Speichersystemen im Rechner gewidmet. Die Speicherhierarchie sowie Aufbau und Technologien von Halbleiterspeichern werden erläutert. Detailliert werden in einem eigenen Kapitel die Cachespeicher behandelt. Lese- und verschiedene Schreibzugriffe sowie die unterschiedlichen Strukturen von Caches werden im Einzelnen vorgestellt, einschließlich des Cache-Kohärenzproblems und dessen Lösungsmöglichkeiten. Im letzten Kapitel dieses Teils geht es darum, was man unter einem virtuellen Speicher versteht und wie dieser in Segmente und Seiten strukturiert werden kann.

## Teil IV: Vom Nutzen der Parallelverarbeitung

Was zeichnet parallele Prozesse aus, welchen Vorteil haben diese und wie werden diese synchronisiert? Ist die Harvard-Architektur die bessere Alternative zu einer von Neumann-Architektur? Sie lernen die Vorteile der Fließbandverarbeitung im Rechner kennen und können die dadurch indizierte Leistungssteigerung berechnen. Am Beispiel der DLX-Pipeline werden die verschiedenen Datenabhängigkeiten zwischen Befehlen, entstehende Pipelinekonflikte sowie mögliche Konfliktlösungen betrachtet. Superskalare Pipelines mitsamt den Vor- und Nachteilen bilden den Schwerpunkt eines weiteren Kapitels. Sprungzielvorhersage und Multithreading ergänzen diese Thematik. Die verschiedenen Facetten der Rechner-technologie, vom Hochleistungsrechner bis zum Cloud Computing sowie ein Ausblick auf die zukünftige Rechnerentwicklung schließen diesen Teil ab.

## Teil V: Der Top-Ten-Teil

Im fünften und letzten Teil werden die zehn wichtigsten Themengebiete der Rechnerarchitektur kompakt zusammengefasst und zehn mögliche Trugschlüsse diskutiert. Außerdem finden Sie dort zehn Selbsttests, mit denen Sie Ihr neu erworbenes Wissen prüfen können. Lösungen inklusive.

## Symbole, die in diesem Buch verwendet werden

---

Damit Sie sich besser und schneller im Buch zurechtfinden, habe ich einige Passagen mit Symbolen gekennzeichnet:



Dies ist ein relativ häufiges Symbol. Es weist immer darauf hin, dass hier ein erklärendes Beispiel zum gerade behandelten Stoff zu finden ist.



Beim Sherlock-Holmes-Hut finden Sie eine kleine Investigativaufgabe, die Ihnen helfen soll, sich tiefer mit einem Sachverhalt auseinanderzusetzen.



Bei der Lupe erfolgt eine Definition wichtiger Begriffe, die Sie sich merken sollten. Die dort gegebene Definition wird an allen Stellen im Buch in dieser Bedeutung verwendet.



Der Finger mit dem Faden macht Sie darauf aufmerksam, dass dieses Thema schon einmal behandelt wurde und das Wissen an dieser Stelle wieder benötigt wird.




Bei der Glühbirne finden Sie interessante Tipps zum Weiterlernen.

## Wie es weitergeht

---

Am besten beginnen Sie mit dem Teil I als allgemeinem Überblick. Teil II führt Sie dann in die fundamentalen Grundlagen der Rechnerarchitektur ein. Von da aus können Sie die weiteren Teile je nach Interesse weiter erkunden.

Diese Leseprobe haben Sie beim  
 [edv-buchversand.de](http://edv-buchversand.de) heruntergeladen.  
Das Buch können Sie online in unserem  
Shop bestellen.  
[Hier zum Shop](#)