

Teil 1 - Die Plattform

1. Hauptplatinen (Motherboards)

Das Motherboard (sprich: Masserboord*); andere typische Bezeichnungen: Mainboard, System Board, Systemplatine) ist eine große Leiterplatte mit vielen Schaltkreisen und Steckverbindern (Abbildung 1.1). Das Motherboard enthält nahezu alle Funktionseinheiten des PCs. Außerhalb des Motherboards befinden sich typischerweise nur das Netzteil und die peripheren Einrichtungen. Prozessoren, Speichermoduln und Steckkarten werden auf das Motherboard aufgesteckt.

*) die Aussprache des sog. ti-eetsch (...th...) kriegen wir sowieso nicht richtig hin...

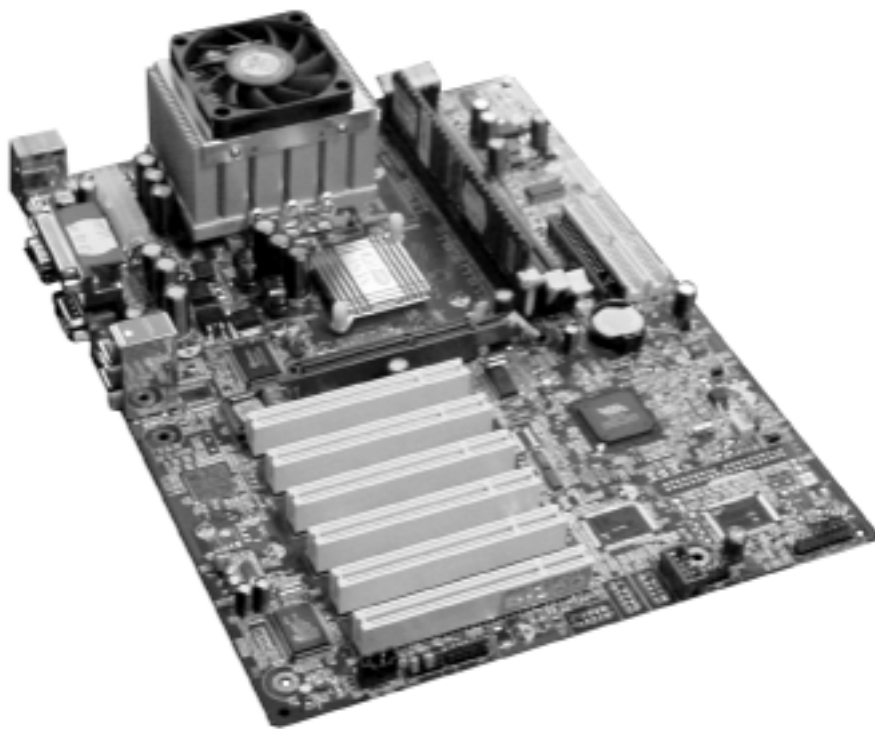


Abbildung 1.1 Motherboard mit Prozessor und Speichermodul

1.1. Wie funktionieren Motherboards?

Zur Entwicklungsgeschichte

Die ersten PCs waren im Grunde nichts anderes als dicke Mikrocontroller mit einer für typische Büroanwendungen ausgelegten Peripherie (Bildschirm - Tastatur- Drucker - Massenspeicher). Die klassische Struktur eines Mikroprozessorsystem beruht auf dem Systembus, an den alle Einrichtungen angeschlossen sind (Abbildung 1.2). Der Systembus ist zumeist ein geringfügig erweiterter Prozessorbus. Auch die ersten PCs wurden so aufgebaut.

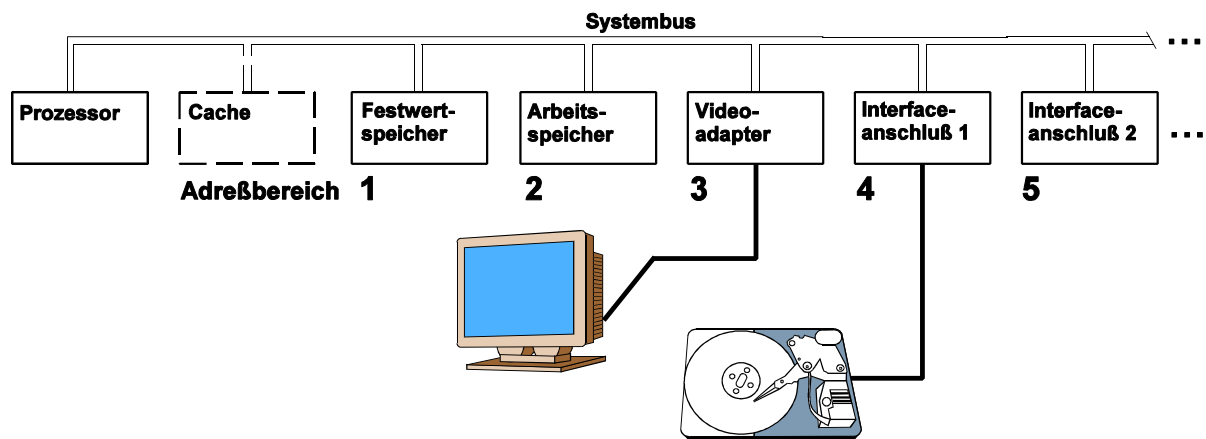


Abbildung 1.2 Der PC als dicker Mikrocontroller - eine Mikroprozessorkonfiguration mit Systembus

Zur Wirkungsweise

In einem solchen Mikroprozessorsystem ist der Prozessor die Funktionseinheit, die alles andere steuert. Die eigentlichen Informationswandlungen, Abfragen, Entscheidungen usw. finden im Innern des Prozessors statt (als Wirkungen der Maschinenbefehle). Was die Schnittstelle zum Rest des Systems - also den Prozessorbus - betrifft, so können Prozessoren nicht viel. Sehen wir von einigen Spitzfindigkeiten ab, so können sie eigentlich nur Lese- und Schreibzugriffe auf Adressen ausführen. Damit diese Zugriffe die jeweils entsprechende Wirkung zeigen, muß den Adressen entsprechende Hardware zugeordnet sein. So belegt der Festwertspeicher einen ersten Adreßbereich, der Arbeitsspeicher einen zweiten, der Videoadapter einen dritten, die Interfacesteuerung für den Festplattenanschluß einen vierten usw. Eine der wichtigsten Entscheidungen beim Entwickeln einer Mikroprozessorkonfiguration ist die Adreßraumaufteilung. Der Entwickler muß irgendwann festlegen, welche Adressen dem Festwertspeicher, dem Arbeitsspeicher, dem Bildspeicher, den einzelnen Interfacesteuerungen usw. zugeordnet werden. Auch die Adreßraumaufteilung der „kompatiblen“ PCs ist so entstanden. Sie bildet nach wie vor einen bedeutsamen Industriestandard. Beispiele: Der Arbeitsspeicher beginnt ab Speicheradresse 0:0H, der Bildspeicher belegt den Bereich von A000:0H bis A000:FFFFH, der erste Festplattenanschluß belegt den E-A-Adreßbereich von 1F0H bis 1F7H usw.

Die konstruktive Auslegung

Hat man sich einmal für eine Systemstruktur entschieden, so bleibt die Wahl der konstruktiven Auslegung. Extreme Lösungen:

- alles auf eine einzige Leiterplatte,
- jede Funktionseinheit auf eine eigene Leiterplatte, wobei der Systembus als Kabelbündel oder als gedruckte Rückverdrahtungsplatine (Backplane) ausgeführt ist.

Beide Auslegungen haben ihre Vor- und Nachteile (Näheres in Abschnitt 1.7.1). Beim PC hat man sich zu einem Kompromiß entschlossen: das Wichtigste auf eine große Leiterplatte (das Motherboard; Abbildung 1.3); alles andere kommt auf Steckkarten oder wird außen angeschlossen. Der „Inhalt“ des Motherboards: die „eentlichen“ Funktionseinheiten, die entsprechenden Steckverbinder und Signalwege sowie die zugehörigen Decodier- und Steuerschaltungen.

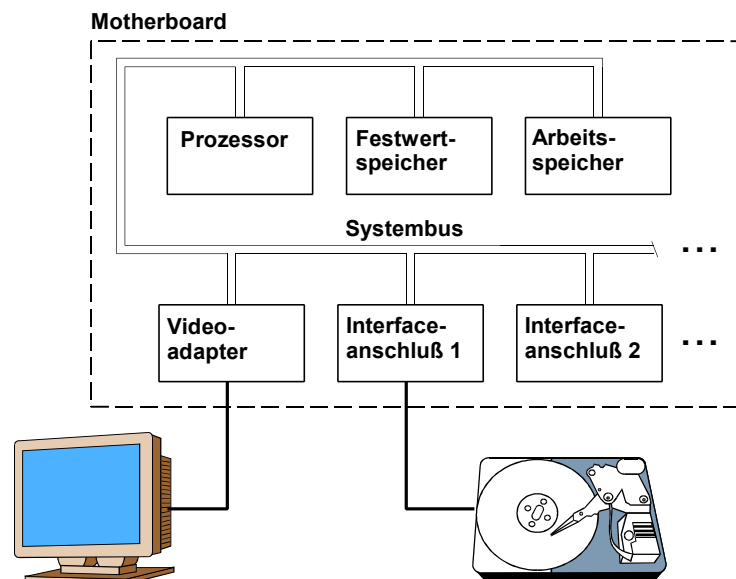


Abbildung 1.3 Ein Mikroprozessorsystem auf einem Motherboard

Die PCs haben keinen durchgehenden Systembus

Als Mikroprozessorsystem ist der PC außergewöhnlich umfangreich (große Speicherkapazität, viele angeschlossene Einrichtungen). Deshalb muß der Systembus in kleinere „Unter-Bussysteme“ aufgelöst werden. Bei den ersten PCs wurde das auf einfache Weise gelöst, nämlich durch Einfügen entsprechender Treiberstufen, die nichts weiter leisten, als die Bussignale zu verstärken. Aus funktioneller Sicht handelt es sich aber nach wie vor um einen einheitlichen Bus.

Der Stand der Technik

Im Laufe der Zeit wurden die einzelnen Funktionseinheiten immer leistungsfähiger. Bald war es nicht mehr sinnvoll, einen einzigen Systembus vorzusehen. Das neue Prinzip: verschiedene Funktionseinheiten mit verschiedenen jeweils angemessenen Bussystemen (Prozessorbus, Arbeitsspeicherbus usw.).

Die einzelnen Bussysteme werden an hochintegrierte Steuerschaltkreise angeschlossen (Abbildung 1.4). Die Aufgabe der Steuerschaltkreise besteht darin, die einzelnen Zugriffe des Prozessors zum jeweiligen Bussystem durchzureichen. Da jeder Bus anders aussieht, genügen hierfür keine einfachen Treiberschaltungen. Vielmehr müssen die Steuerschaltkreise die Bussysteme aktiv ansteuern (jeder Bus hat andere Signalspiele), die zu übertragenden Daten ggf. zwischenspeichern und die erforderlichen Informationswandlungen ausführen. Beispiel: ein 64-Bit-Zugriff erfordert über einen 64-Bit-Bus nur einen Buszyklus, aber 4 Buszyklen über einen 16-Bit-Bus. Auch in Hinsicht auf Datenraten und Übertragungszeiten passen die Bussysteme nicht ohne weiteres zusammen. Eine Einrichtung, die zwei Bussysteme miteinander verbindet, heißt (*Bus-*) *Brücke* (Bus Bridge; Abbildung 1.5).

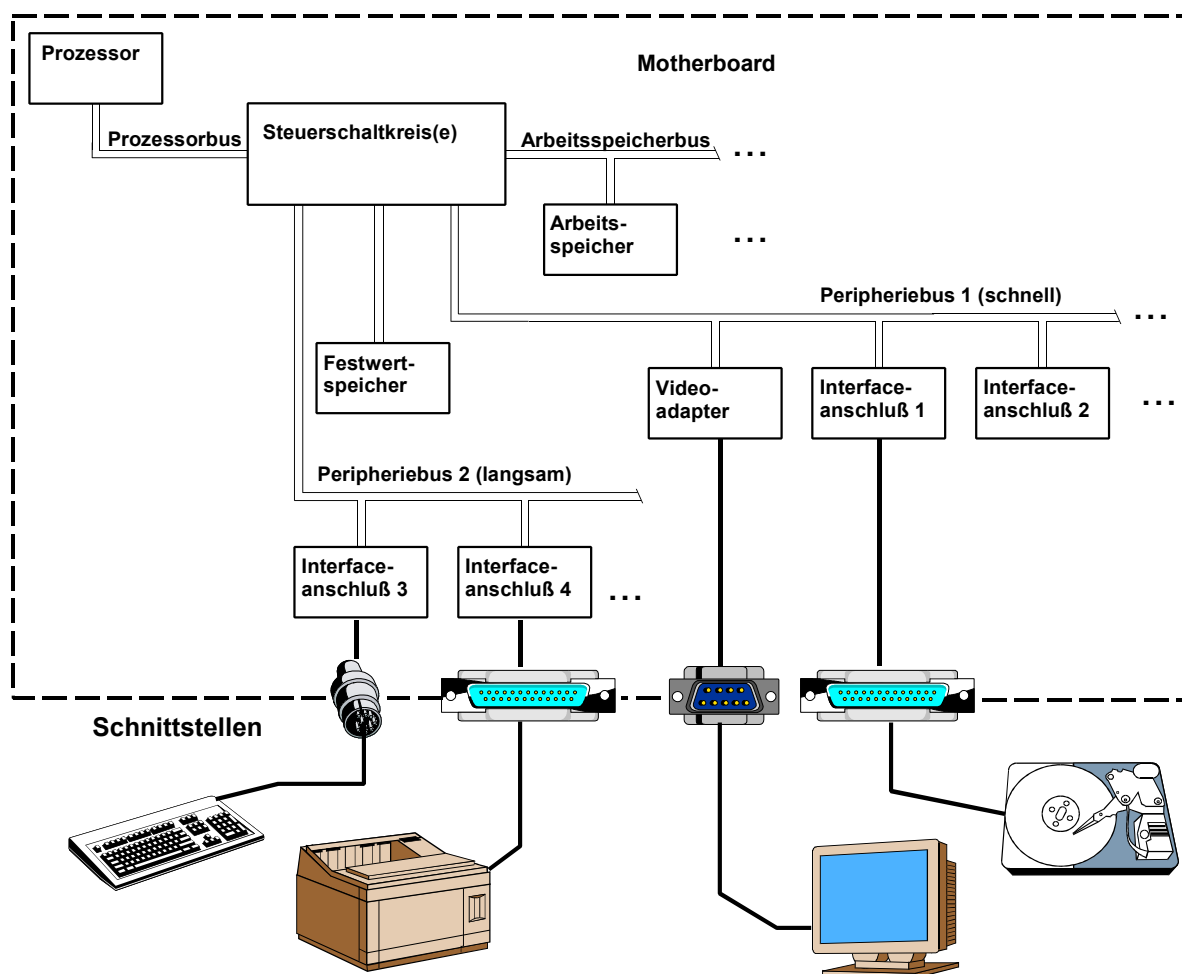


Abbildung 1.4 Das Motherboard eines modernen PCs

Hinweis:

Abbildung 1.4 ist eine ganz allgemeine Darstellung. Es haben sich gewisse Industriestandards herausgebildet, was die Aufteilung der einzelnen Funktionen auf verschiedene Schaltkreise und die Anordnung der Bussysteme betrifft. Mehr in Abschnitt 1.5.

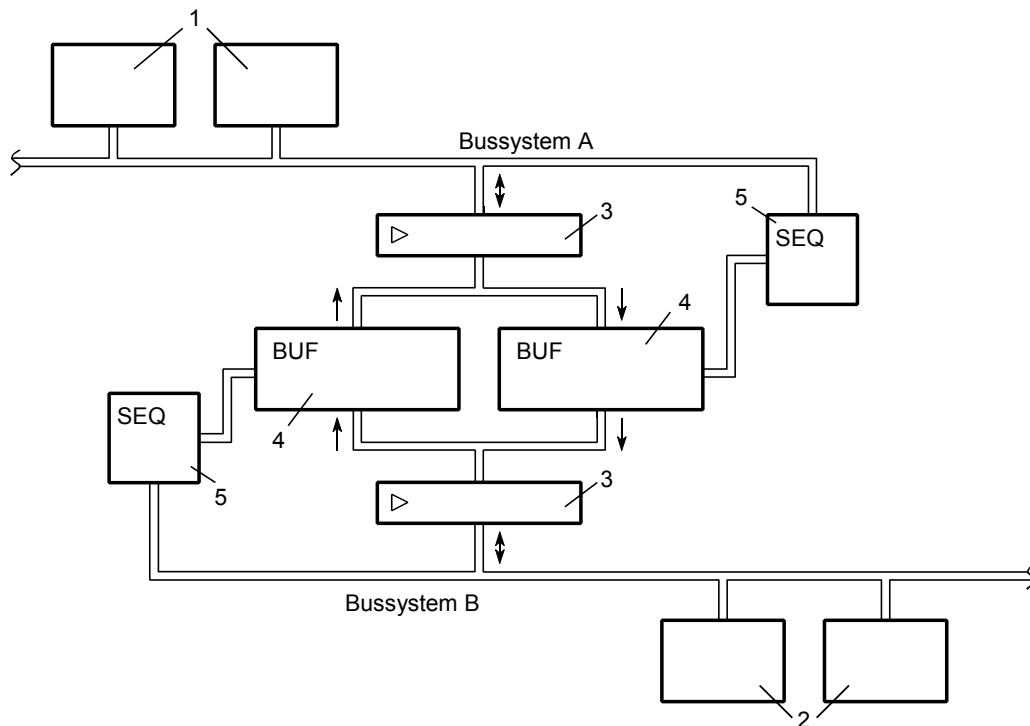


Abbildung 1.5 Eine Brücke zwischen 2 Bussystemen

Erklärung:

1 - Einrichtungen an Bussystem A; 2 - Einrichtungen an Bussystem B; 3 - Buskoppelstufen, 4 - Puffer (für Lese- und Schreibzugriffe); 5 - Bussteuerschaltungen (Bus Sequencer). Die Einrichtungen 1 an Bussystem A können Lese- und Schreibzugriffe auf Einrichtungen 2 am Bussystem B führen und umgekehrt. Die Steuerschaltkreise der Motherboards enthalten derartige Brückenschaltungen, um die verschiedenen Bussysteme miteinander zu verbinden

1.2. Wie sehen Motherboards aus?

Hierüber unterrichten wir uns am besten anhand von Beispielen. Die Abbildungen 1.1...1.24 zeigen Ansichten von Motherboards.

Hinweise:

1. Diese Bildfolge soll zugleich einen Eindruck von der Entwicklungsgeschichte der PCs vermitteln.
2. Die Abbildungen dienen zunächst wirklich nur dem Überblick - bitte nicht versuchen, allzu viel auf einmal verstehen zu wollen (lassen Sie die Abbildungen und die zugehörigen Erklärungen zunächst einfach an sich vorüberziehen...).

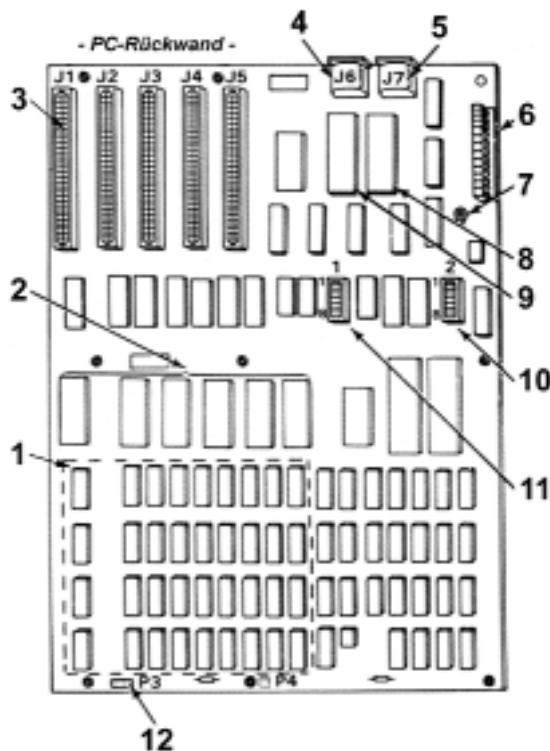


Abbildung 1.6 Beginnen wir ganz am Anfang:
das Motherboard des IBM PC (IBM 1981)

Erklärung:

- 1 - Speicherschaltkreise des Arbeitsspeichers (64 bis 640 kBytes; mit Paritätskontrolle);
- 2 - Festwertspeicher (ROMs) mit BIOS und BASIC-Interpreter*);
- 3 - Steckpositionen (Slots) für Steckkarten;
- 4 - Anschluß für Audio-Kassettenlaufwerk;
- 5 - Tastaturanschluß;
- 6 - Stromversorgungsanschluß;
- 7 - Trimmkondensator des Taktgenerators;
- 8 - Coprozessor;
- 9 - Prozessor (Intel 8088);
- 10, 11 - DIL-Schalter zur Konfigurationseinstellung;
- 12 - Lautsprecheranschluß.

Das Motherboard des ersten PCs von IBM. Alle Datenwege haben eine Zugriffsbreite von 8 Bits (dementsprechend handelt es sich bei den Steckpositionen ausschließlich um 8-Bit-Slots). Es gibt noch keine Speichermoduln. Das Motherboard ist nahezu ausschließlich mit industrieüblichen Schaltkreisen bestückt. Arbeitsspeicherkapazität: bis zu 640 kBytes auf dem Motherboard (Einzelschaltkreise). Erweiterung auf maximal 1 MBytes mittels Steckkarten. Die Nutzung von Audio-Kassettenlaufwerken (Kassettenrecordern) als Programm- und Massenspeicher entspricht dem seinerzeitigen Stand der Technik - eine Billiglösung aus dem Bereich der Heim- und Hobbycomputer. Ansonsten hat das Motherboard nur eine Tastaturschnittstelle. Alles andere muß über Steckkarten angeschlossen werden.

*) : BASIC ist eine einfache Programmiersprache. BASIC wurde aktiv, wenn nach dem Einschalten kein zum Kaltstart („Booten“) geeigneter Datenträger im Diskettenlaufwerk gefunden wurde. Man konnte den PC also ohne Betriebssystem, ja praktisch ohne jegliche Software benutzen - wenngleich nur als einen recht sperrigen und nicht besonders komfortablen, aber immerhin programmierbaren Taschenrechner (schade, daß man so etwas heutzutage nicht mehr liefert).

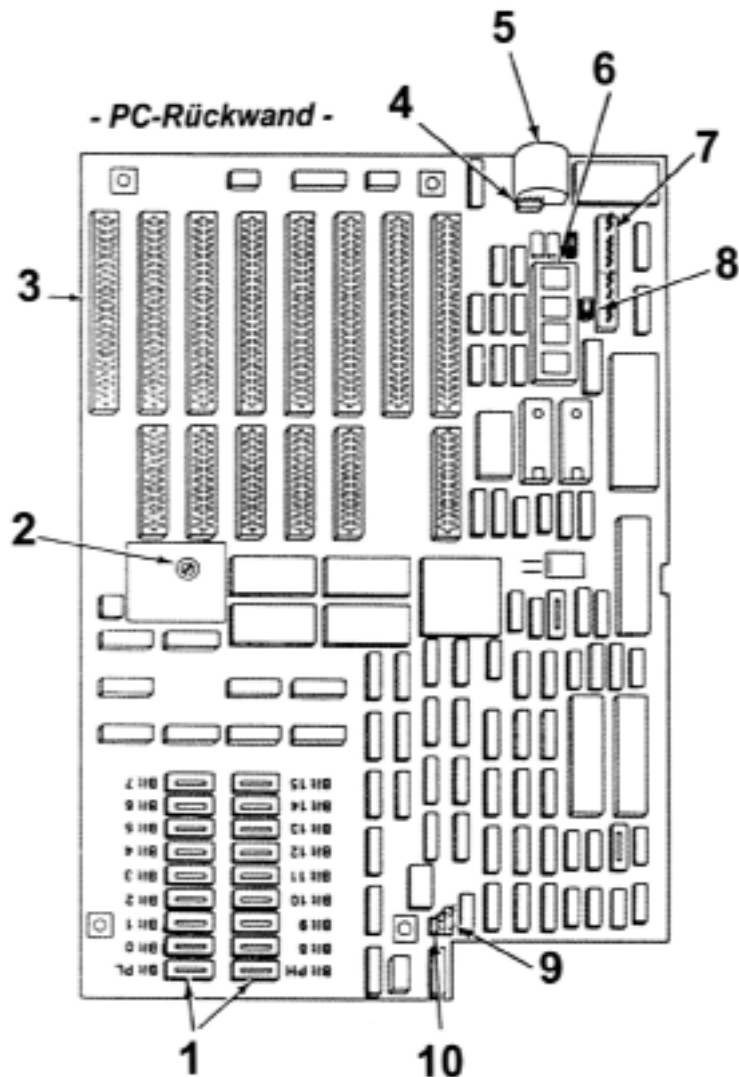


Abbildung 1.7 Das Motherboard des PC/AT (Typ 2; IBM 1984)

Erklärung:

1 - Speicherschaltkreise des Arbeitsspeichers (maximal 512 kBytes; mit Paritätskontrolle); 2 - Trimmkondensator des Taktgenerators; 3 - Steckpositionen (Slots) für Steckkarten; 4 - Batterieanschluß (für CMOS-RAM und Tageszeituhr); 5 - Tastaturanschluß; 6 - Fassung für Coprozessor; 7 - Stromversorgungsanschluß; 8 - Umschalter für Video-Betriebsart; 9 - Anschluß für Schlüsselschalter; 10 - Lautsprecheranschluß. Das Motherboard eines PCs, der vor zwei Jahrzehnten den vorherrschenden „Industriestandard“ bestimmt hat. Die Datenwege haben eine Zugriffsbreite von 16 Bits. Die Steckpositionen sind teils als 16-Bit-Slots, teils als 8-Bit-Slots ausgelegt. Arbeitsspeicherkapazität: bis zu 512 kBytes auf dem Motherboard (Einzelschaltkreise). Erweiterung auf maximal 16 MBytes mittels Steckkarten. Der Tastaturanschluß ist nach wie vor die einzige Schnittstelle zur Außenwelt. Die gesamte sonstige Peripherie (einschließlich Diskettenlaufwerken und Festplatten) kann nur über Steckkarten angeschlossen werden.

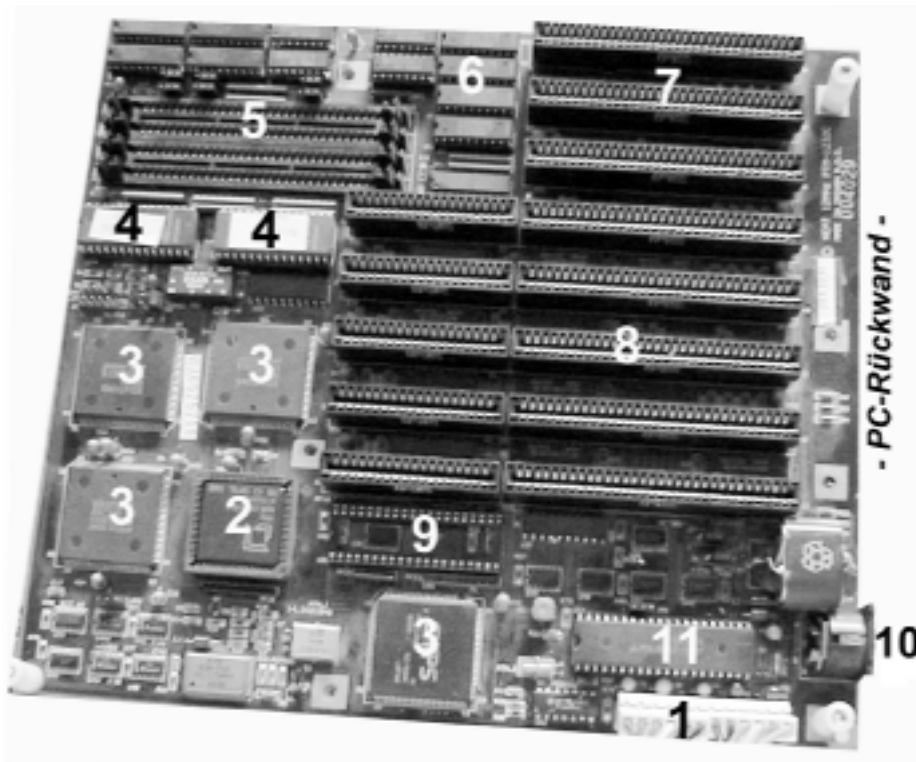


Abbildung 1.8 Damit fing es so richtig an: Motherboard eines AT-kompatiblen PCs
(Anfang der 90er Jahre)

Erklärung:

1 - Stromversorgungsanschluß; 2 - Prozessor (hier: ein 286 von AMD); 3 - Steuerschaltkreise; 4 - BIOS-ROMs; 5 - Steckfassungen für Speichermoduln (9-Bit-SIMMs mit 30 Anschlüssen); 6 - das erste Megabyte des Arbeitsspeichers; 7 - ISA-Slots, 8 Bits; 8 - ISA-Slots, 16 Bits; 9 - Fassung für Coprozessor (287); 10 - Tastaturanschluß (nach wie vor die einzige auf dem Motherboard vorgesehene Schnittstelle); 11 - Tastatursteuerschaltkreis (ein Mikrocontroller). Das Motherboard eines der vielen PCs, die Ende der 80er/Anfang der 90er Jahre angeboten wurden. Mit PCs dieser Auslegung begann die Entwicklung des Massenmarktes. Die Verbesserungen gegenüber dem Vorbild (dem PC/AT):

- es kann eine größere Arbeitsspeicherkapazität bestückt werden. Das erste Megabyte (die Maximalausstattung gemäß x86-Prozessorarchitektur und DOS^{*)} ist bereits installiert (6).
- Speichererweiterung durch Einsatz von Speichermoduln,
- Betrieb des Prozessors mit höheren Taktfrequenzen (z. B. 8, 12 oder 16 MHz),
- Einsatz hochintegrierter Steuerschaltkreise (3),
- verringerte Außenabmessungen (Baby-AT-Formfaktor).

*): vgl. Abschnitt 3.4.5.

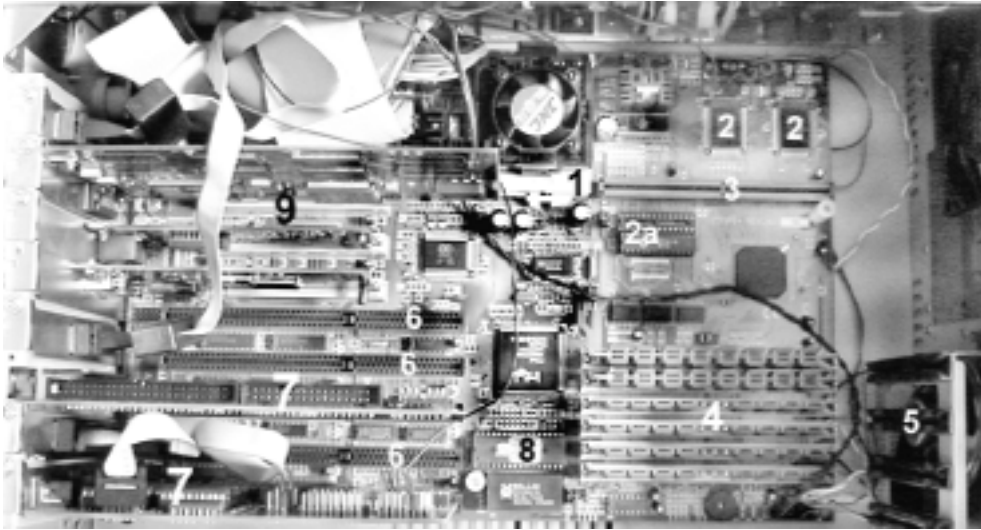
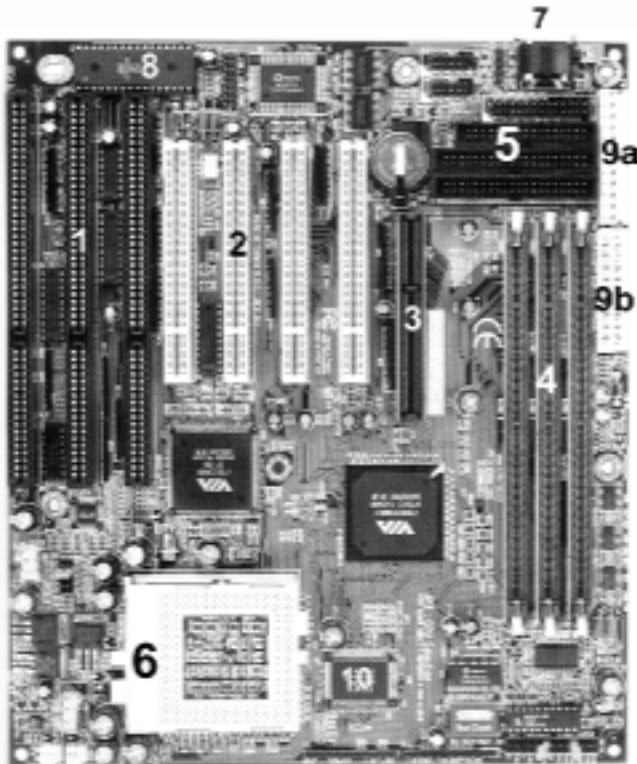


Abbildung 1.9 Pentium-Motherboard im Einsatz (1997)

Erklärung:

1 - Prozessorfassung mit gestecktem Prozessor (am aufgesetzten Lüfter erkennbar); 2 - Daten-RAMs des eingebauten L2-Caches (256 kBytes); 2a - Kennzeichnungsspeicher (Tag-RAM des L2-Caches); 3 - Steckposition für zusätzliches Cache-Modul (weitere 256 kBytes); 4 - Speichermoduln (SIMMs mit 72 Anschlüssen); 5 - Führungsschienen für besonders lange Steckkarten (vgl. Hinweis 3 auf Seite 19); 6 - freie ISA-Slots; 7 - Steckkarten in ISA-Slots; 8 - BIOS-ROM (Flash); 9 - PCI-Slots mit Steckkarten. Derartige Motherboards kamen in der 2. Hälfte der 90er Jahre auf (die Zwischenstufen mit den 386- und 486-Prozessoren wollen wir übergehen). In Hinsicht auf wichtige Bezugsmaße sowie auf den Tastatur- und auf den Stromversorgungsanschluß entsprechen sie noch den ursprünglichen AT- bzw. Baby-AT-Motherboards. Besonderheiten:

- die Datenwege zum Arbeitsspeicher haben eine Zugriffsbreite von 64 Bits,
- der Arbeitsspeicher kann wahlweise mit Fehlerkorrektur betrieben werden (hierzu sind SIMMs der Organisationsform „; 36“ erforderlich),
- die Prozessor-Fassung (4) hat ein Anschlußbild, das als „Sockel 7“ zum Industriestandard geworden ist. Hiermit ist eine Vielzahl verschiedener Prozessoren mit verschiedenen internen Taktfrequenzen einsetzbar. Die Taktfrequenz des Prozessorbus: 66 MHz.
- die Datenspeicher (8) des externen Caches sind synchrone (Pipelined Burst) RAMs,
- der BIOS-ROM ist als Flash-ROM ausgeführt und kann somit beim Anwender umgeladen werden.



Erklärung:

- 1 - ISA-Slots;
- 2 - PCI-Slots;
- 3 - AGP-Slot;
- 4 - Steckfassungen für Speichermoduln (SDRAM-DIMMs mit 168 Anschlüssen);
- 5 - Interfaceanschlüsse (für Schnittstellen und Laufwerke),
- 6 - Prozessor-Steckfassung „Sockel 7“ (Pentium, AMD K6 usw.);
- 7 - Tastaturanschluß;
- 8 - BIOS-ROM (Flash);
- 9a - Stromversorgungsanschluß für AT-Netzteil;
- 9b - Stromversorgungsanschluß für ATX-Netzteil;
- 10 - Daten-RAM des L2-Caches (512 kBytes).

Abbildung 1.10 Ein Sockel-7-Motherboard für Modernisierungszwecke (1998/99)

Solche Motherboards waren vor allem zum Modernisieren vorhandener PCs vorgesehen (PC Upgrade). Man hat hier versucht, Alt und Neu zu kombinieren. Die Motherboards sollten in alte Gehäuse passen und neumodische Prozessoren, aber auch ältere Steckkarten usw. aufnehmen können. Es wurden etliche Typen gefertigt, die sich vor allem in folgendem unterscheiden:

- hinsichtlich der bestückbaren Prozessortypen und der unterstützten Taktfrequenzen,
- hinsichtlich der Arbeitsspeicherbestückung nach Art und Anzahl der Speichermoduln,
- hinsichtlich besonderer Kombinationsmöglichkeiten. So wurden Motherboards angeboten, die sich sowohl mit 72-poligen SIMMs als auch mit 168-poligen DIMMs bestücken ließen. Das in Abbildung 1.10 gezeigte Motherboard hat eine andere Besonderheit: nämlich 2 Stromversorgungsanschlüsse, um es wahlweise in AT- oder in ATX-Gehäuse einbauen zu können.
- hinsichtlich des Komforts beim Konfigurieren. Konfiguriert wurde hauptsächlich über Steckbrücken (Jumper) - und es gab sehr viel zu konfigurieren...
- hinsichtlich der Funktionszuverlässigkeit und der Kompatibilität. Derartige Motherboards waren für den Massenmarkt bestimmt. Es mußte schnell gehen und billig sein (was gelegentlich dazu führte, daß unausgereifte Standards implementiert wurden - und das nicht selten fehlerhaft).

Hinweise:

1. Viel mehr PC braucht der Mensch eigentlich nicht - es sei denn, er hat Düsenflugzeuge oder hochintegrierte Schaltkreise zu entwerfen, oder ihm fällt nichts Besseres ein, als seine Zeit mit kultur- und geschmackvollen Computerspielen totzuschlagen... Windows 98 SE läuft durchaus befriedigend (genügend Speicher vorausgesetzt, z. B. 96 oder 128 MBytes). Es ist also damit zu rechnen, daß derartige Motherboards immer noch am Leben zu halten sind.
2. Vor allem bei Upgrade-Motherboards (vgl. Abbildung 1.10) sind gelegentlich Spitzfindigkeiten zu beachten. So kann es sein, daß sich manche Ausführungen bestimmter Prozessoren auf einem solchen Motherboard gar nicht mehr betreiben lassen, obwohl es an sich für diese Typen (z. B. für AMD K6) vorgesehen ist (Frage der Taktfrequenz und der Speisespannung).
3. Aus den Abbildungen 1.9 und 1.10 ist auch erkennbar, daß es sich um Massenprodukte handelt, bei deren Entwicklung auf manche Feinheiten keine Rücksicht genommen wurde. So lassen sich lange Steckkarten gar nicht stecken, weil immer irgend etwas im Wege ist: gemäß Abbildung 1.9 die Speichermoduln, gemäß Abbildung 1.10 der Prozessor (der ja schließlich noch einen Kühlkörper und einen Lüfter trägt...). Beachten Sie weiterhin die Kabelknäuel in Abbildung 1.9*) und die dicht beieinander angeordneten Interfaceanschlüsse in Abbildung 1.10.

*) und dabei sind an die Steckkarten noch nicht einmal alle Kabel angeschlossen, die sich anschließen lassen - vgl. die deutlich sichtbaren Pfosten-Steckverbinder...

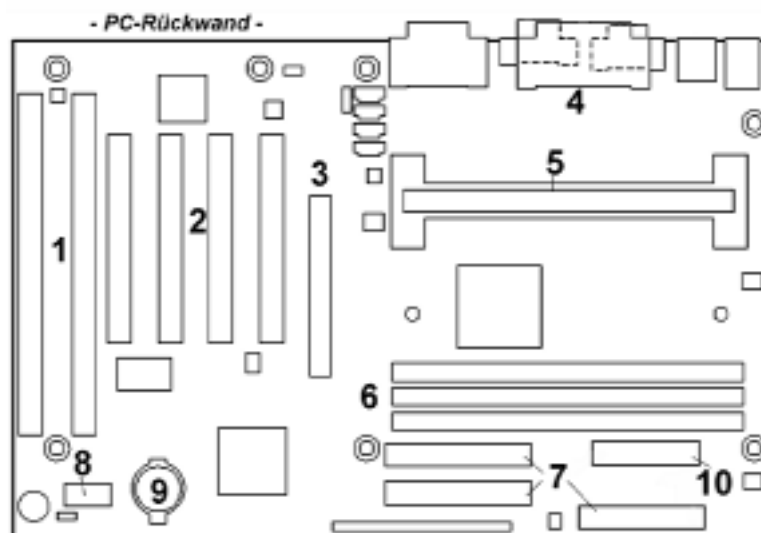


Abbildung 1.11 ATX-Motherboard mit Slot 1. PCI-Bus und AGP-Interface (Intel, 1999)

Erklärung:

1 - ISA-Slots; 2 - PCI-Slots; 3 - AGP-Slot; 4 - E-A-Anschlußblock; 5 - Steckposition (Slot 1) für Prozessor (Pentium II, Celeron usw.); 6 - Steckpositionen des Arbeitsspeichers (für SDRAM-DIMMs mit 168 Anschlüssen); 7 - Laufwerksanschlüsse; 8 - BIOS-ROM (Flash); 9 - Lithiumbatterie; 10 - Stromversorgungsanschluß.

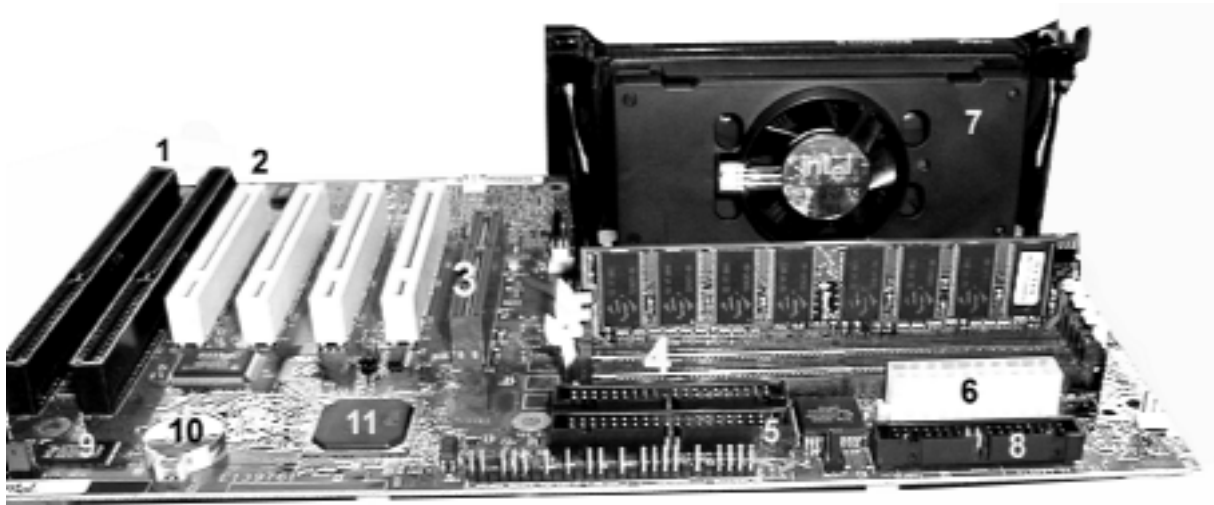


Abbildung 1.12 Motherboard gemäß Abbildung 1.11; teilweise bestückt

Erklärung:

1 - ISA-Slots; 2 - PCI-Slots; 3 - AGP-Slot; 4 - Steckpositionen für Speichermodul (1 Modul bestückt); 5 - IDE/ATA-Interface; 6 - Stromversorgungsanschluß; 7 - Prozessor; 8 - Floppy-Disk-Interface; 9 - Flash-ROM; 10 - Lithiumbatterie; 11 - Steuerschaltkreis (South Bridge).

Ein Motherboard, das durchaus noch dem Stand der Technik entspricht. Bemerkenswert ist die „längliche“ Formgebung (ATX-Formfaktor) und die andersartige Lage der Anschlüsse. Weitere augenfällige Besonderheiten:

- die Anzahl der ISA-Slots nimmt offensichtlich im Laufe der Zeit ab,
- für den Prozessor ist keine Schaltkreisfassung, sondern eine Steckposition vorgesehen - eine Neuerung, die Intel mit dem Pentium II eingeführt hat,
- auf dem Motherboard gibt es keinen externen Cache mehr (dieser befindet sich vielmehr in der Steckkassette, die den Prozessor enthält),
- es sieht schon etwas sauberer aus: alle Steckverbinder der rückseitigen Schnittstellen sind in einem E-A-Anschlußblock zusammengefaßt, und die einzelnen Steckpositionen (Prozessor, Speichermoduln, Slots, Laufwerks-Interfaces) sind nicht allzu eng beeinander angeordnet. Der Kabelsalat läßt sich zwar nicht völlig vermeiden, aber durchaus beherrschen - sofern wir beim Installieren mitdenken.

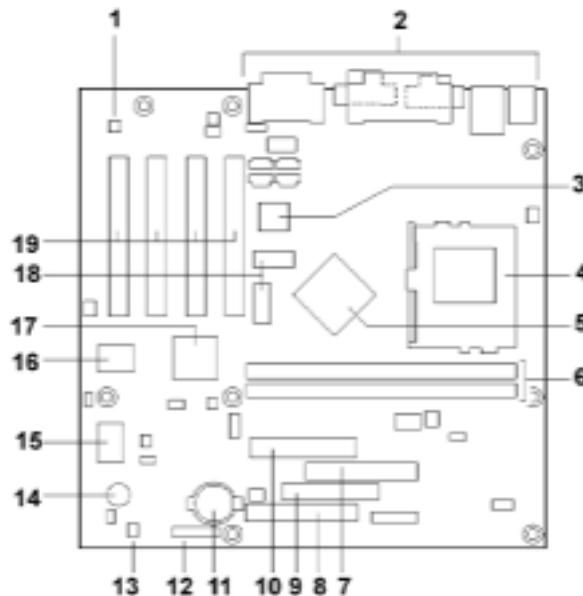


Abbildung 1.13 Micro-ATX-Motherboard mit Socket 370 (Intel)

Erklärung:

1 - Audioschaltkreis; 2 - E-A-Anschlußblock; 3 - LAN-Schaltkreis; 4 - Fassung (Socket 370) für Prozessor (Pentium II/III, Celeron); 5 - Verteiler- und Steuerschaltkreis für Arbeitsspeicher und Graphik-Subsystem; 6 - Steckpositionen des Arbeitsspeichers (für SDRAM-DIMM-Speichermodule); 7, 8, 9 - Laufwerksanschlüsse; 10 - Stromversorgungsanschluß; 11 - Batterie; 12 - Anschluß für Bedienelemente; 13 - Festwertspeicher für BIOS (Firmware Hub); 14 - Lautsprecher; 15 - Schnittstellen-Steuerschaltkreis; 16 - Audio-Steuerschaltkreis; 17 - Verteiler- und Steuerschaltkreis für Bussysteme und Schnittstellen; 18 - Cache-Speicher für Bild Darstellung (4 MBytes; dient als sog. Z-Puffer); 19 - PCI-Slots.

Um die Jahrtausendwende herum ist man von der Kassettenbauweise wieder abgekommen - die Prozessoren sind wieder „richtige“ Schaltkreise, die in Fassungen (Sockets) gesteckt werden.

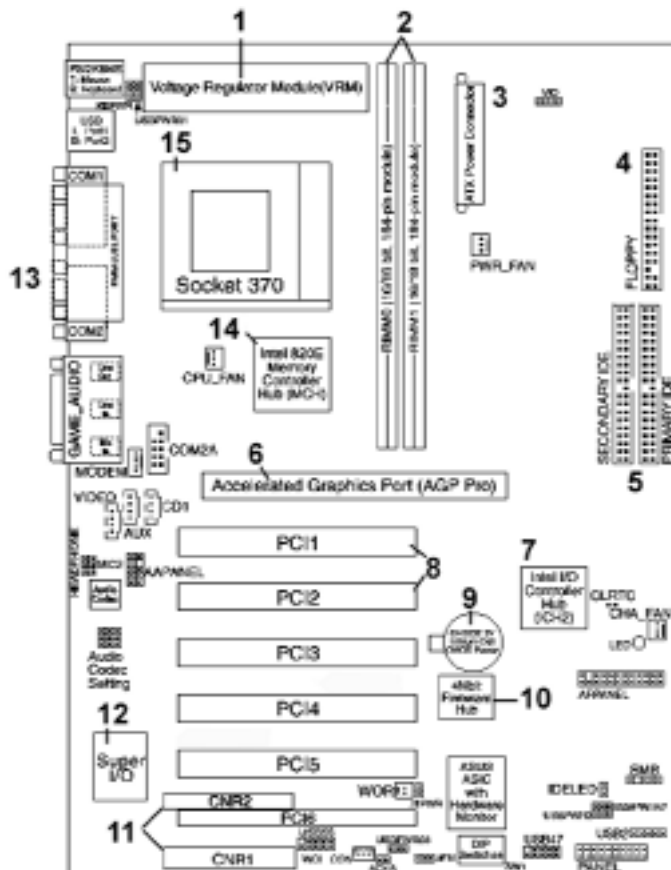
Hinweis:

Die Fassungsbezeichnung ist das wichtigste Kennzeichen eines Motherboards - sie gibt an, welche Prozessoren draufpassen. Die Bezeichnung besteht typischerweise aus dem Wort „Socket“, gefolgt von einer Zahl, die die Anzahl der Steckkontakte angibt. So spricht man von Socket 370, Socket 462, Socket 478, Socket 754 usw.

MicroATX ist ein besonders kleiner Formfaktor, der vor allem für preisgünstige PCs (die sog. Value PCs; Abschnitt 1.7.6) bestimmt ist. Besonderheiten:

- der ISA-Bus fehlt nun endgültig,
- es gibt keinen AGP-Slot,
- es sind nur 2 Steckpositionen für Speichermoduln vorgesehen (es können zwar bis zu 512 MBytes bestückt werden, aber nur mit großen - also vergleichsweise teuren - Speichermoduln),
- man hat nahezu alle typischerweise nützlichen Schnittstellen auf dem Motherboard untergebracht - ein solcher PC ist auch ohne jegliche Steckkarte funktionsfähig,

- das Video- bzw. Graphik-Subsystem befindet sich auf dem Motherboard; dabei wird der Arbeitsspeicher als Bildspeicher ausgenutzt (die Bilddarstellung wird lediglich durch den Bildspeicher-Cache 18 unterstützt),
- die interne Struktur beruht nicht mehr auf Bussystemen, die über Brückenschaltkreise miteinander verbunden werden (Brückenprinzip), sondern auf Punkt-zu-Punkt-Verbindungen von sog. Verteilerschaltkreisen (Hubs).



Erklärung:

- 1 - Spannungsregler für Prozessor;
- 2 - Steckpositionen des Arbeitsspeichers (für RIMM-Speichermoduln (Direct Rambus));
- 3 - Stromversorgungsanschluß;
- 4 - Diskettenlaufwerksanschluß;
- 5 - IE/ATA-Laufwerksanschlüsse;
- 6 - AGP-Pro-Slot;
- 7 - Verteiler- und Steuerschaltkreis für Bussysteme und Schnittstellen;
- 8 - PCI-Slots (32 Bits, 33 MHz);
- 9 - Batterie;
- 10 - Festwertspeicher für BIOS (Firmware Hub);
- 11 - Slots für CNR-Adapterkarten (Abschnitt 1.7.4);
- 12 - Schnittstellen-Steuerschaltkreis;
- 13 - E-A-Anschlußblock;
- 14 - Verteiler- und Steuerschaltkreis für Arbeitsspeicher;
- 15 - Prozessorfassung.

Abbildung 1.14 ATX-Motherboard mit Socket 370 (Asus)

Das Motherboard ist nach ähnlichen Grundsätzen aufgebaut wie das von Abbildung 1.13 (kein ISA-Bus, Verteilerprinzip), gehört aber in eine höhere Leistungsklasse:

- der AGP-Pro-Slot ermöglicht es, wirklich „dicke“ Graphikkarten zu bestücken (vgl. Abschnitt 4.4.2),
- es stehen 6 PCI-Slots zur Verfügung,
- der Arbeitsspeicher wird mit Rambus-Speichermoduln (RIMMs) bestückt.

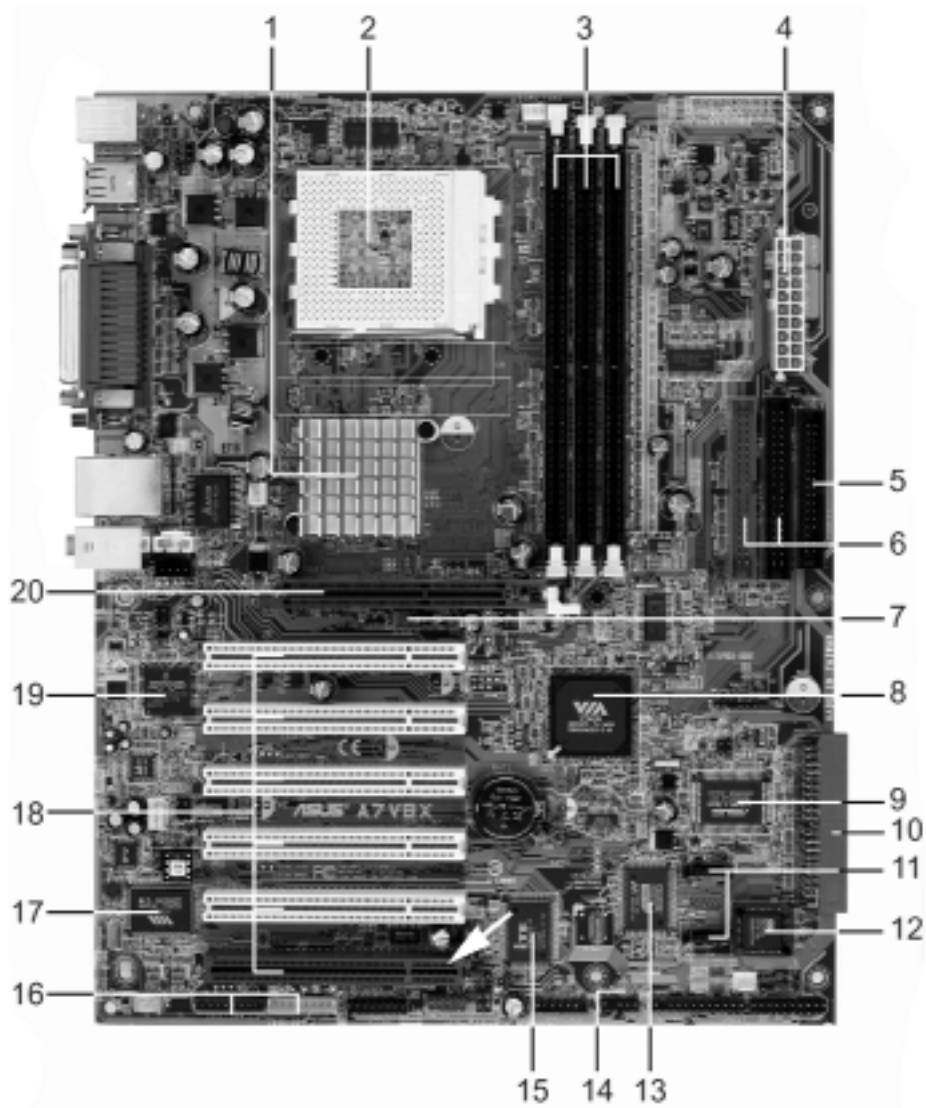


Abbildung 1.15 ATX-Motherboard mit Sockel 462 (Asus)

Erklärung:

1 - Steuerschaltkreis (North Bridge); 2 - Prozessorfassung (Sockel 462 für AMD Athlon/Duron); 3 - Steckpositionen für Arbeitsspeicher (DDR-Speichermoduln); 4 - Stromversorgungsanschluß; 5 - Diskettenlaufwerksanschluß; 6 - IDE/ATA-Laufwerksanschlüsse; 7 - AGP-Warnanzeige; 8 - Steuerschaltkreis (South Bridge); 9 - Hardware-Überwachungsschaltkreis; 10 - RAID-Laufwerksanschlüsse (Serial ATA); 11 - Serial-ATA-Laufwerksanschlüsse; 12 - Festwertspeicher (Flash ROM); 13 - Serial-ATA-Steuerschaltkreis; 14 - Standby-Leuchtanzeige; 15 - Super-EA-Schaltkreis; 16 - Firewire-Anschlüsse; 17 - Firewire-Steuerschaltkreis; 18 - PCI-Slots (32 Bits, 33 MHz^{*)}); 19 - Netzwerksteuerschaltkreis; 20 - AGP-Slot. Ein typisches Motherboard für leistungsfähige Einzel-PCs.

*) der farblich abgesetzte (blaue) Slot (Pfeil) kann alternativ eine herstellereigene Steckkarte aufnehmen (z. B. zur Unterstützung einer drahtlosen Netzwerkschnittstelle).

Hinweis:

Die Hersteller derartiger Boards denken auch an die Bastler, also an jene, die ihren PC selbst zusammenbauen oder erweitern. Sie werden u. a. durch farbige Steckverbinder, durch aufgedruckte Bezeichnungen und durch Leuchtanzeigen unterstützt, die auf typische Gefahren hinweisen (anliegende Standby-Spannung, falsche Karte im AGP-Slot usw.; vgl. die Positionen 7 und 14).

Die AMD-Prozessoren sind mittlerweile zu einer wirklichen Alternative geworden. Der Arbeitsspeicher wird vorzugsweise mit DDR-Speichermoduln bestückt.

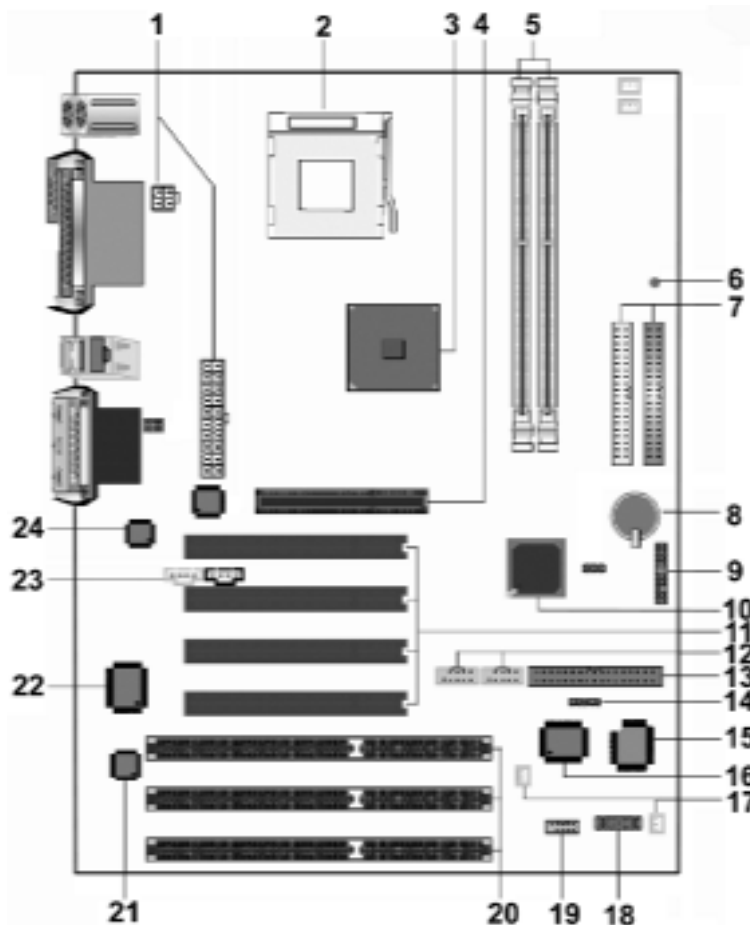


Abbildung 1.16 Suchet, so werdet Ihr finden ... auch im 21. Jahrhundert gibt es noch Motherboards mit ISA-Slots (Soyo)

Erklärung:

1 - Stromversorgungsanschlüsse; 2 - Prozessorfassung (Sockel 478 für Intel Pentium 4/Celeron); 3 - Steuerschaltkreis (North Bridge); 4 - AGP-Slot; 5 - Steckpositionen für Arbeitsspeicher (DDR-Speichermoduln); 6 - Standby-Leuchtanzeige; 7 - IDE/ATA-Laufwerksanschlüsse; 8 - Lithiumbatterie (3 V); 9 - Bedienfeldanschlüsse; 10 - Steuerschaltkreis (South Bridge); 11 - PCI-Slots (32 Bits, 33 MHz); 12 - USB-Anschlüsse; 13 - Diskettenlaufwerksanschluß; 14 - Infrarotschnittstellenanschluß (IrDA); 15 - Festwertspeicher (Flash ROM); 16 - Steuerschaltkreis für SmartCard-Kartenleser; 17 - Lüfteranschlüsse; 18 - Anschluß für SmartCard-Kartenleser; 19 - Anschluß für zweite serielle Schnittstelle; 20 - ISA-Slots (16 Bit); 21 - Unterbrechungs- und

DMA-Steuerung für ISA-Bus; 22 - PCI-ISA-Brücke; 23 - Audioanschlüsse; 24 - Audioschaltkreis. Ein Motherboard, das vor allem für jene gedacht ist, die ISA-Steckkarten weinternutzen oder gar selbst welche aufbauen möchten. Der Vorteil gegenüber älteren Motherboards: es handelt sich um eine moderne Plattform, mit der die Ansprüche der neuzeitlichen System- und Anwendungssoftware erfüllt werden können (Pentium-4-Prozessor, bis 2 GBytes Arbeitsspeicher).

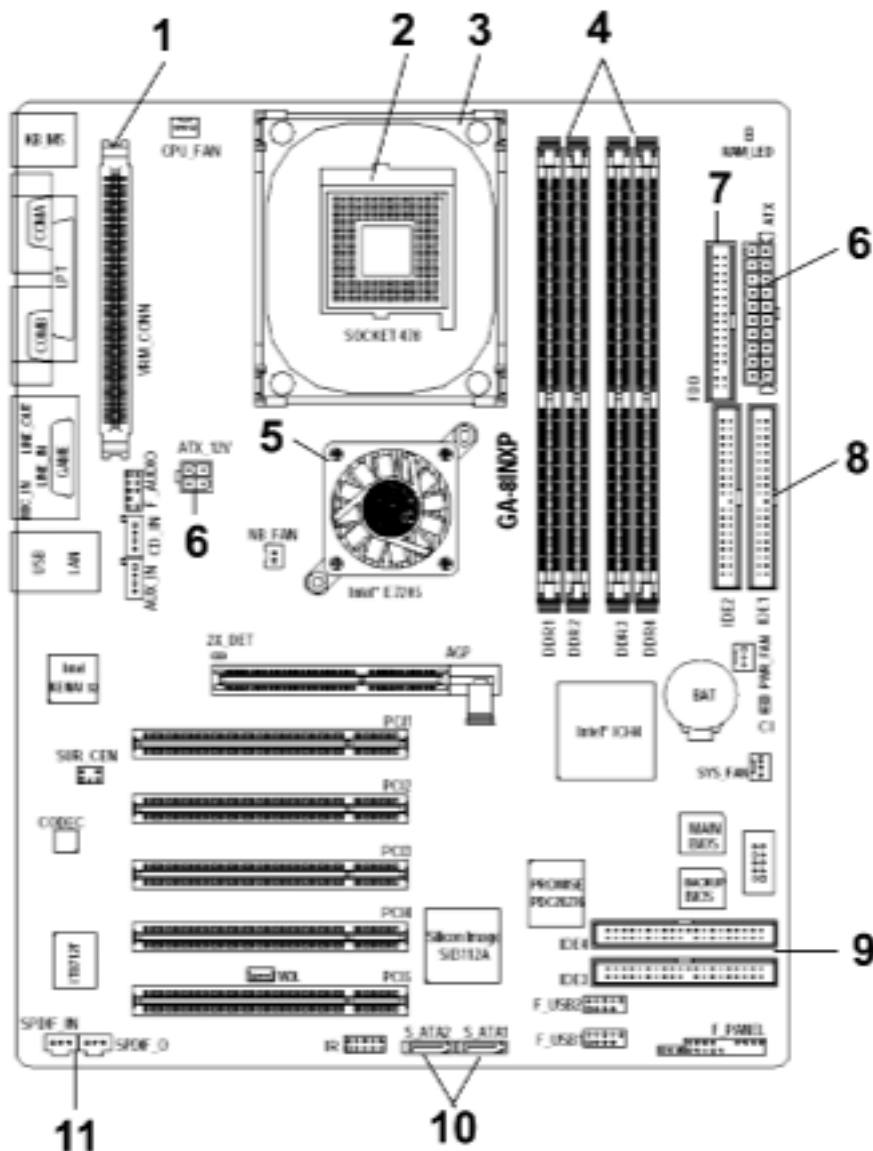


Abbildung 1.17 ATX-Motherboard mit Sockel 478 (Gigabyte)

Erklärung:

Hat sich der Hersteller für einen Prozessortyp und für einen Steuerschaltkreissatz entschieden, steht die Auslegung des Motherboards im Grunde fest. Es gibt aber immer wieder neue Ausstattungsmerkmale. 1 - Slot für zusätzlichen Spannungsregler (auf besonderer Steckkarte); 2 - Prozessorfassung (Sockel 478 für Intel Pentium 4/Celeron); 3 - Fundamentrahmen für Kühlkörperanordnung; 4 - Steckpositionen für Arbeitsspeicher (DDR-Speichermoduln); 5 -

Steuerschaltkreis mit Kühlkörper und Lüfter; 6 - Stromversorgungsanschlüsse; 7 - IDE/ATA-Laufwerksanschlüsse (die Grundausstattung); 8 - Diskettenlaufwerksanschluß 9 - zusätzliche IDE/ATA-Laufwerksanschlüsse; 10 - Serial-ATA-Laufwerksanschlüsse. Je leistungsfähiger die Prozessoren, desto höher die Anforderungen an Stromversorgung und Kühlung. Die Hersteller müssen sich also etwas einfallen lassen...

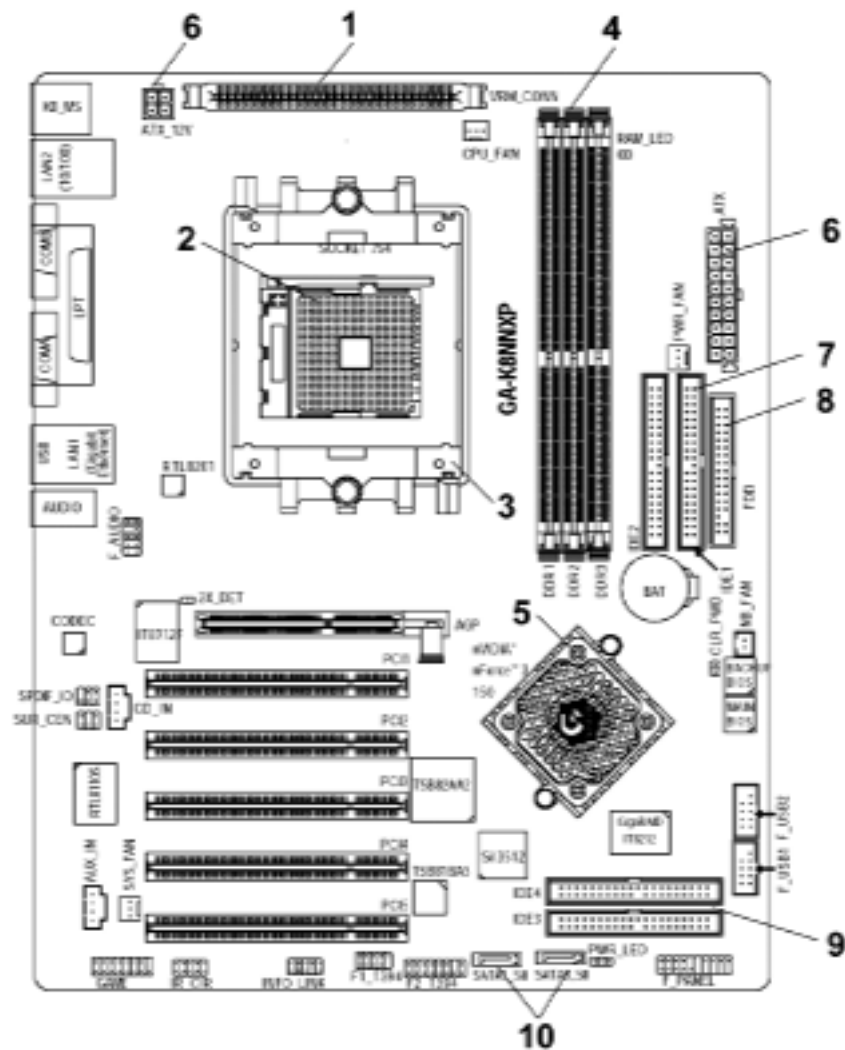


Abbildung 1.18 Motherboard für 64-Bit-Prozessor (1). Mit Sockel 754 für AMD Athlon64 (Gigabyte)

Erklärung:

1 - Slot für zusätzlichen Spannungsregler (auf besonderer Steckkarte); 2 - Prozessorfassung (Sockel 754 für AMD Athlon64); 3 - Fundamentrahmen für Kühlkörperanordnung; 4 - Steckpositionen für Arbeitsspeicher (DDR-Speichermoduln); 5 - Steuerschaltkreis mit Kühlkörper und Lüfter; 6 - Stromversorgungsanschlüsse; 7 - Diskettenlaufwerksanschluß; 8 - IDE/ATA-Laufwerksanschlüsse (die Grundausstattung); 9 - zusätzliche IDE/ATA-Laufwerksanschlüsse; 10 - Serial-ATA-Laufwerksanschlüsse. Die Ausstattung mit Slots (AGP + 5 · PCI) kennen wir bereits - es ist eine Art Standard für die leistungsfähigeren PCs des Massenmarktes.

Hinweis:

Die in den Abbildungen 1.17 und 1.18 gezeigten Motherboards stammen vom gleichen Hersteller. Das erklärt die offensichtlichen Ähnlichkeiten in Ausstattung und Belegung. Jeder Hersteller hat seine Eigenheiten, die er meist über ganze Baureihen hinweg beibehält. Aber trotzdem aufpassen - oft gibt es kleine Unterschiede, auf die es wirklich ankommt. Also: die Dokumentation stets sorgfältig lesen - auch dann, wenn wir glauben, uns mit den Boards des betreffenden Herstellers schon längst auszukennen...

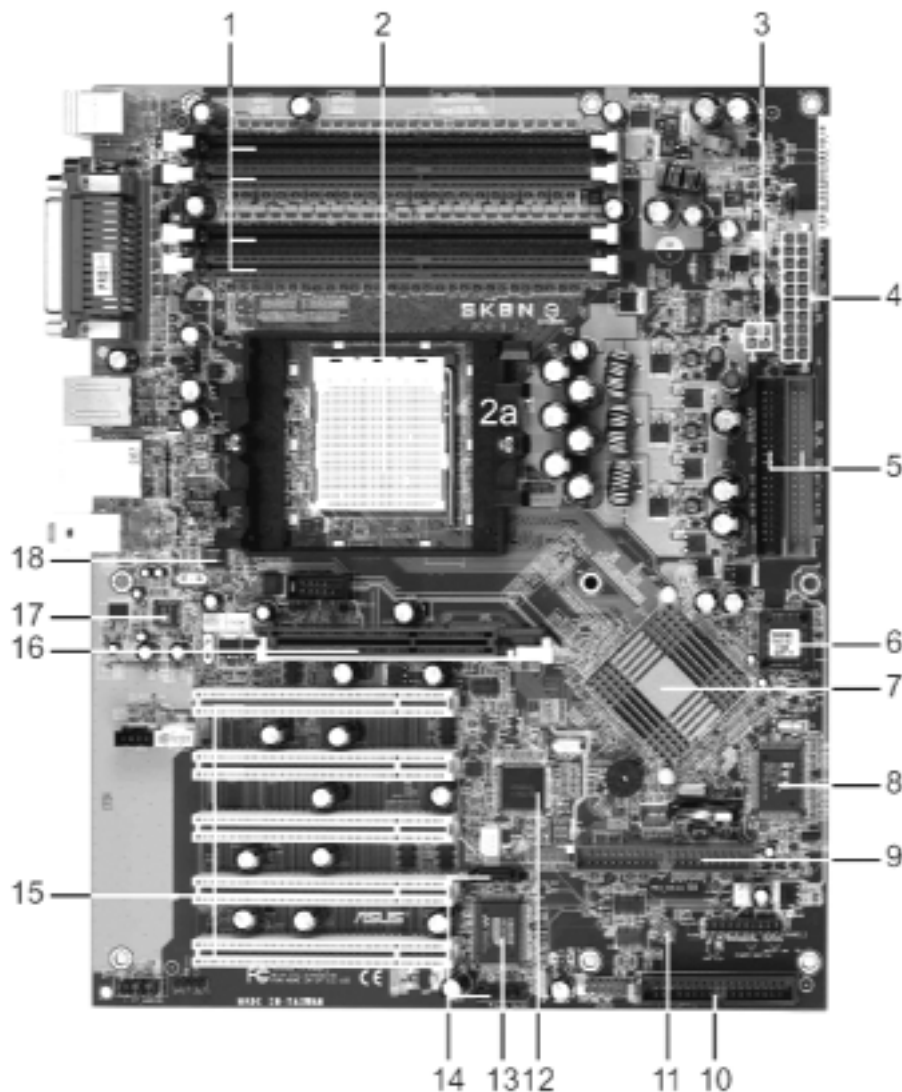


Abbildung 1.19 Motherboard für 64-Bit-Prozessor (2). Mit Sockel 940 für AMD Opteron (Asus)

Erklärung:

1 - Steckpositionen für Arbeitsspeicher (DDR-Speichermoduln); 2 - Prozessorfassung (Sockel 940 für AMD Opteron); 2a - Fundamentrahmen für Kühlkörperanordnung; 3, 4 - Stromversorgungsanschlüsse; 5 - IDE/ATA-Laufwerksanschlüsse; 6 - Festwertspeicher (Flash ROM); 7 - Steuerschaltkreis mit Kühlkörper; 8 - Super-EA-Schaltkreis; 9 - Diskettenlaufwerksanschluß; 10 - RAID-Laufwerksanschlüsse (IDE/ATA); 11 - Standby-

Leuchtanzeige; 12 - Firewire-Steuerschaltkreis; 13 - Serial-ATA-Steuerschaltkreis; 14 - Serial-ATA-Laufwerksanschlüsse; 15 - PCI-Slots (32 Bits, 33 MHz); 16 - AGP-Slot; 17 - Audio-Schaltkreis; 18 - Netzwerksteuerschaltkreis. Trotz der nach wie vor herkömmlichen Slot-Ausstattung ein Motherboard der oberen Leistungsklasse. Maximale Arbeitsspeicherbestückung 8 GBytes.

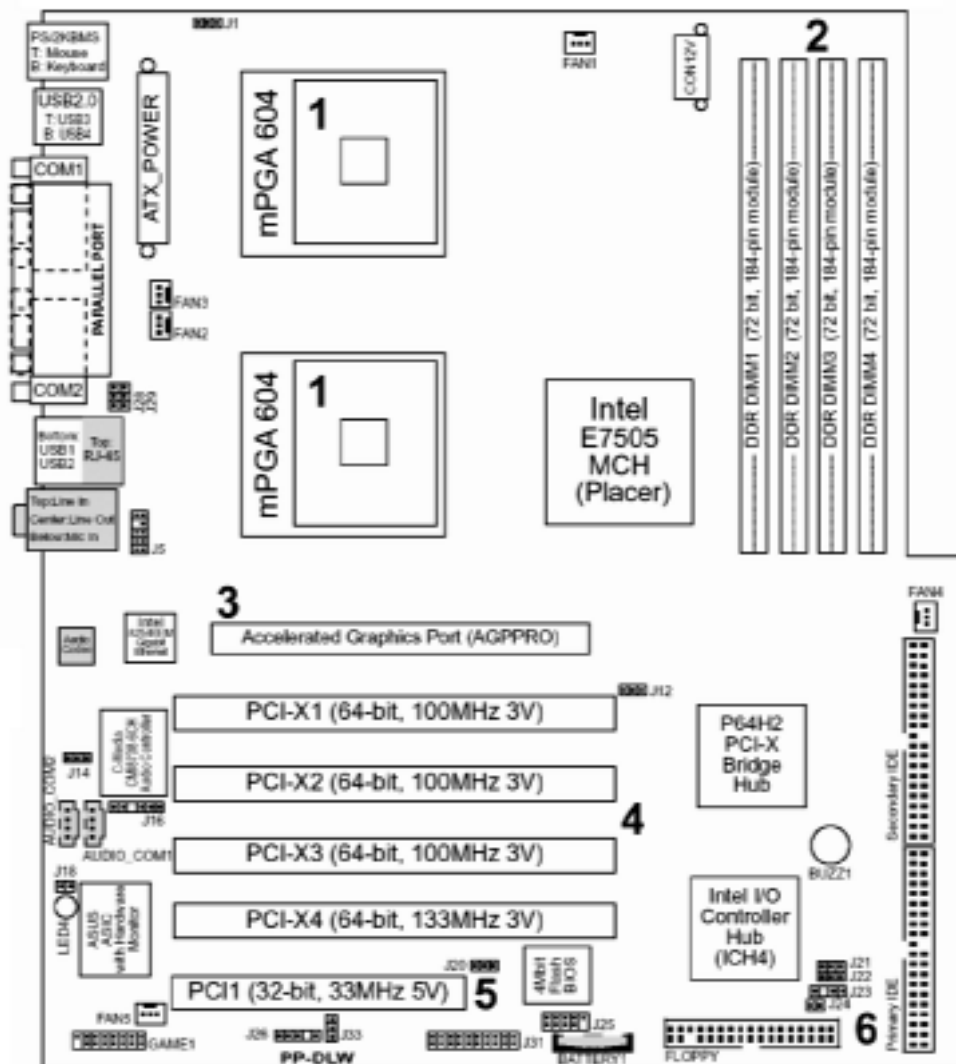


Abbildung 1.20 Motherboard für zwei Prozessoren (1). Vorzugsweise für Workstations (Asus)

Erklärung:

1 - Steckfassungen für zwei Intel-Xeon-Prozessoren; 2 - Steckpositionen für Arbeitsspeicher (DDR-Speichermoduln; maximal 8 GBytes); 3 - AGP-Pro-Slot; 4 - PCI-X-Slots (64 Bits; 1 · 133 MHz, 3 · 66/100 MHz); 5 - PCI-Slot (32 Bits, 33 MHz); 6 - die üblichen Laufwerksanschlüsse (Diskette + 2 · IDE/ATA). Die Slot-Ausstattung ermöglicht es, hochleistungsfähige Steckkarten einzubauen (AGP-Pro-Graphikkarten, SCSI-RAID-Controller usw.).

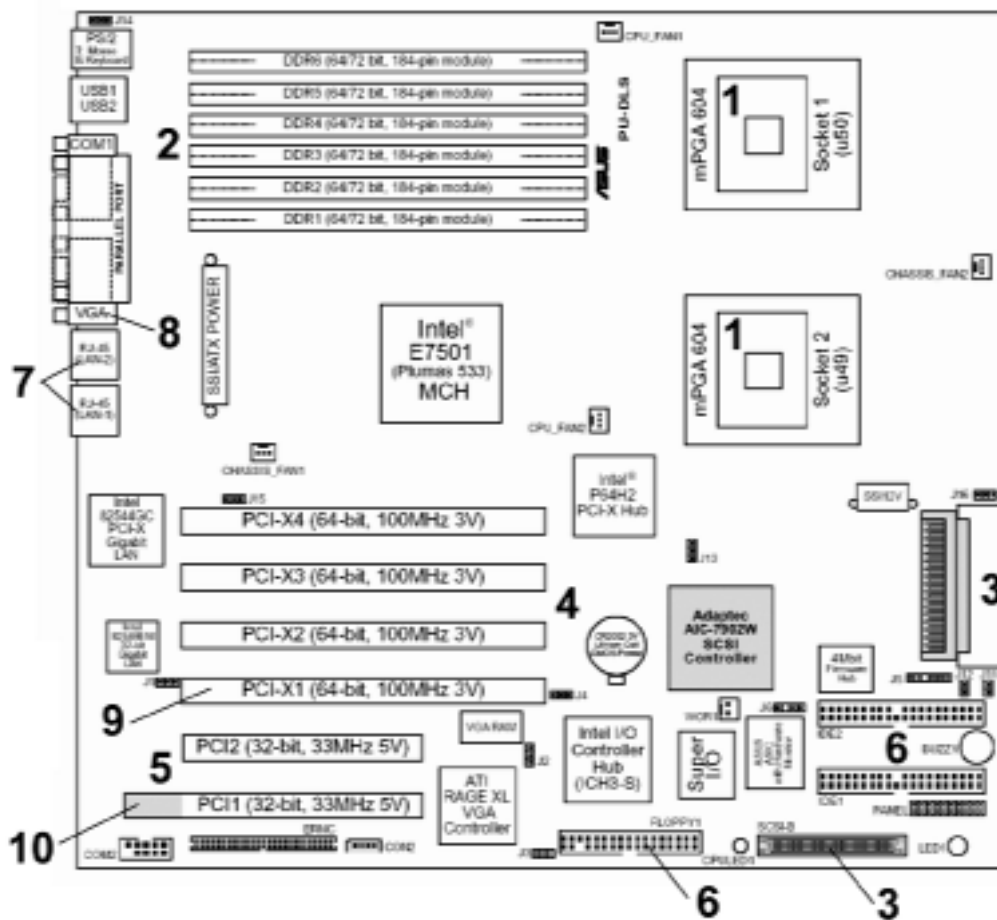


Abbildung 1.21 Motherboard für zwei Prozessoren (2). Vorzugsweise für Server

Erklärung:

1 - Steckfassungen für zwei Intel-Xeon-Prozessoren; 2 - Steckpositionen für Arbeitsspeicher (DDR-Speichermoduln; maximal 12 GBytes); 3 - zwei SCSI-Anschlüsse (bis 320 MBytes/s); 4 - PCI-X-Slots (64 Bits, 66/100 MHz); 5 - PCI-Slots (32 Bits, 33 MHz); 6 - die üblichen Laufwerksanschlüsse (Diskette + 2 · IDE/ATA); 7 - Netzwerkanschlüsse; 8 - Videoanschluß; 9 - dieser PCI-X-Slot (grün eingefärbt) kann eine herstellerepezifische RAID-Controllerkarte aufnehmen; 10 - LPC-Zusatzanschluß für herstellerepezifische Systemverwaltungskarte. Das Motherboard hat keinen AGP-Slot. Um die reichhaltige Ausstattung unterzubringen, braucht man viel Platz (Extended-ATX-Formfaktor 12" · 13" = 305 · 330 mm).

Hinweis:

Auf beiden Motherboards (Abbildungen 1.20 und 1.21) können Xeon-Prozessoren mit Hyper-Threading-Technologie bestückt werden. Aus Sicht der Software handelt es sich dann um eine Plattform mit insgesamt 4 Prozessoren.

Typische Anforderungen an Server:

- Graphik-Subsystem: nicht so wichtig. Bildschirm, Tastatur usw. dienen lediglich als Bedienkonsole für Wartung und Administration (funktioniert alles, so kümmert sich kein Mensch um diesen Computer...). Ein eingebauter Graphikcontroller genügt.
- Arbeitsspeicher: soviel wie möglich, so zuverlässig wie möglich. Die reine Datenrate ist demgegenüber weniger wichtig. Das Board von Abbildung 1.21 begnügt sich deshalb mit PC1600/PC2100. Es kommen aber Moduln mit Registerpufferung und Fehlerkorrekturbits zum Einsatz (ECC-Moduln).
- Massenspeicher: viel und zuverlässig und schnell. Um diese Anforderungen zu erfüllen, werden SCSI-Laufwerke bevorzugt. Die herkömmlichen Anschlüsse (Diskette, IDE/ATA) dienen vor allem zur Systemwartung (Installieren von Software, Laufenlassen von Testprogrammen usw.).
- Netzwerkanschlüsse: viele, schnell, zuverlässig, einfach austauschbar. Solche Konfigurationen kann man praktisch nur mit Steckkarten aufbauen. Voraussetzung: genügend leistungsfähige Slots (z. B. PCI-X). Eingebaute Netzwerkanschlüsse werden typischerweise lediglich zu Verwaltungszwecken genutzt. Die „gewöhnlichen“ PCI-Slots sind u. a. dazu vorgesehen, spezielle Systemverwaltungskarten (Remote Management Cards) einzusetzen (vgl. die Positionen 5 und 6 in Abbildung 1.21).

Typische Anforderungen an Workstations:

- Graphik-Subsystem: so leistungsfähig wie nötig (Sache der Anwendungssoftware). Die Anforderungen sind heutzutage beachtlich (hohe Auflösung, 3D, bewegte Bilder). Erfordert entsprechend hochentwickelte Graphikhardware, die man beim Stand der Technik nur als Steckkarte bauen kann (vgl. den AGP-Pro-Slot in Abbildung 1.20).
- Arbeitsspeicher: so viel wie möglich, so schnell wie möglich, so preiswert wie möglich. Das Motherboard von Abbildung 1.20 kann mit verschiedenen Modultypen bestückt werden (gepuffert/ungepuffert, mit/ohne ECC-Bits).
- Massenspeicher: siehe Arbeitsspeicher. Anforderungen lassen sich oft durch Anschluß an die eingebauten Schnittstellen erfüllen. Ansonsten Erweiterung mit Steckkarte (z. B. SCSI-Controller).
- Netzwerkanschlüsse: dienen nur dazu, die Workstation als Client an das Netz anzuschließen. Typischerweise genügt ein eingebauter Netzwerkanschluß.
- Audio und Video: nach den Erfordernissen der jeweiligen Anwendung. Heutzutage wird viel gefordert...
- sonstige Ausstattung: siehe Audi und Video. Erweiterung typischerweise über Steckkarten. Dafür sollten entsprechend leistungsfähige Slots zur Verfügung stehen (z. B. PCI-X).



Abbildung 1.22 Server-Motherboard für maximal 4 Prozessoren (1). Ansicht (Supermicro)

Erklärung zu Abbildung 1.22 und 1.23:

Je höher die Leistungsklasse, desto mehr entfernt man sich von der mechanischen Auslegung der üblichen PCs. Die Abmessungen: 406 · 330 mm. Es wird ein spezieller Schaltkreissatz verwendet. 1 - vier Steckfassungen für Intel-Xeon-Prozessoren*); 2 - Slots für Spannungswandler; 3 - PCI-Slot für Diagnose- oder Systemverwaltungskarte; 4 eingebauter Graphikcontroller; 5 - Netzwerkanschluß; 6 - die üblichen Laufwerksanschlüsse (Diskette + 2 · IDE/ATA); 7 - Diagnose-LEDs (können u. a. POST-Codes anzeigen); 8 - zwei SCSI-Anschlüsse (1 · 320 MBytes/s, 1 · 160 MBytes/s); 9 - Anschluß für Systemverwaltungsbus (IBMB); 10 - sechs PCI-X-Slots (64 Bits, 66/100 MHz); 11 - Slot für Arbeitsspeichersteckkarte (MEC = Memory Expansion Card; Abbildung 1.24).

*) gemäß den Intel-Wirkprinzipien können bis zu 4 Prozessoren an einem Bus zusammenarbeiten. Werden Xeon-Prozessoren mit Hyper-Threading-Technologie eingesetzt, können deshalb nur zwei Fassungen bestückt werden.

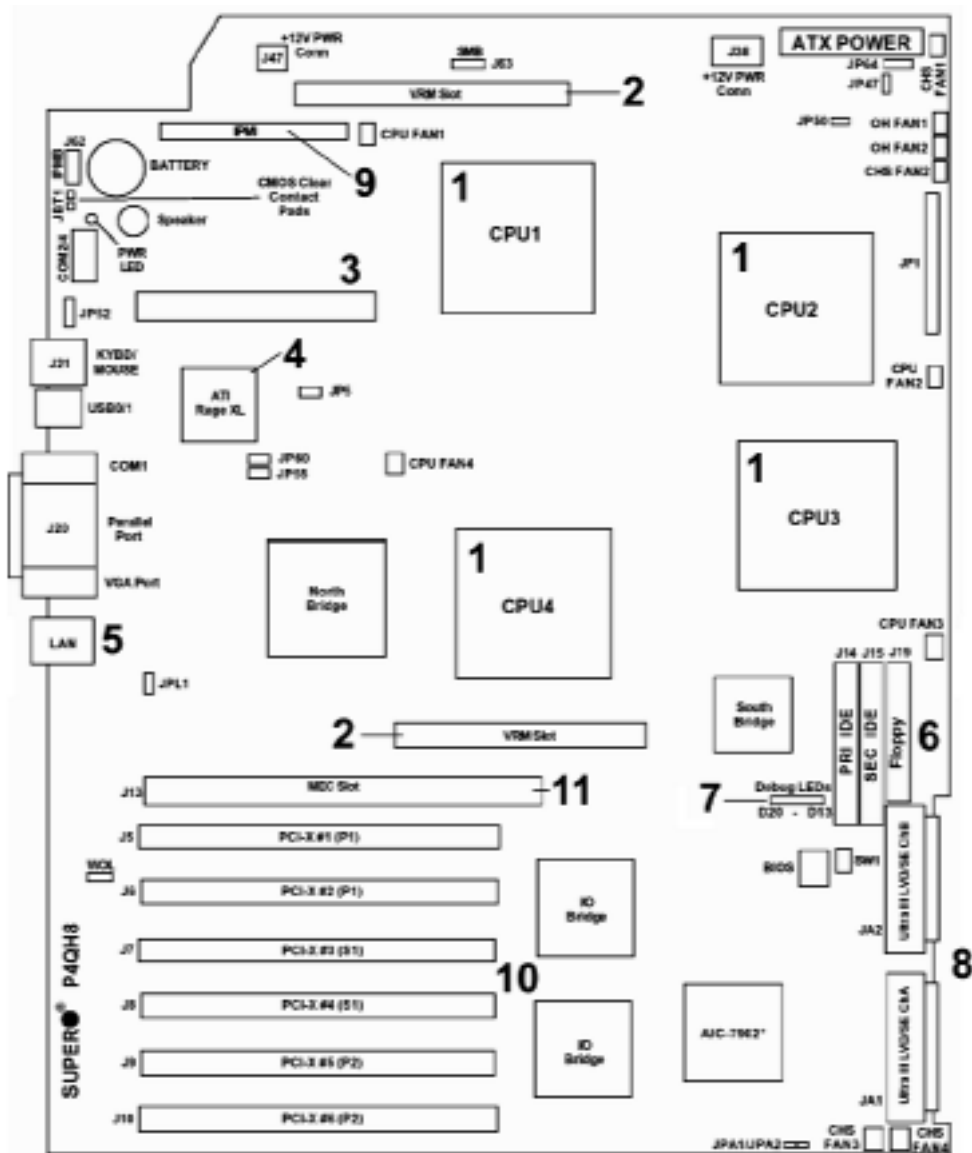


Abbildung 1.23 Server-Motherboard für maximal 4 Prozessoren (2). Belegung (Supermicro)

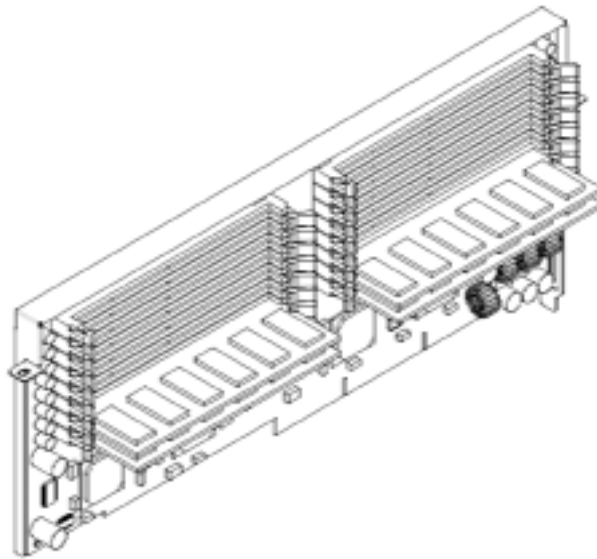


Abbildung 1.24 Eine Arbeitsspeichersteckkarte (Supermicro)

Erklärung:

Wenn auf dem Motherboard kein Platz mehr frei ist, verfallen die Entwickler bisweilen auf solche Lösungen. Die Karte kann bis zu 16 DDR-Speichermodule (gepuffert, mit ECC-Bits) aufnehmen. Die maximale Speicherkapazität: 32 GBytes. Dafür begnügt man sich mit einer „altmodischen“ Datenrate (PC1600).

1.3. Die Schaltungstechnik der Motherboards

Einen Überblick über den „Inhalt“ eines Motherboards veranschaulichen wir uns am besten anhand des Blockschaltbildes. Die Abbildungen 1.25 bis 1.36 zeigen verschiedene Blockschaltbilder aus der Entwicklungsgeschichte der PCs.

Hinweise:

1. Lassen Sie sich bitte nicht von der Fülle der Einzelheiten in den Abbildungen abschrecken. Sie sollen hier nur einen ersten Eindruck erhalten.
2. Die Kästchen in den Blockschaltbildern sind einzelne Einrichtungen bzw. Funktionseinheiten. Die Verbindungen sind entweder Bussysteme, Bündel mehrerer Signalleitungen oder auch einzelne Leitungen. Zahlenangaben, wie 245, 8259 usw. bezeichnen Schaltkreistypen.
3. Die Organisations- und Wirkprinzipien behandeln wir in Abschnitt 1.5.

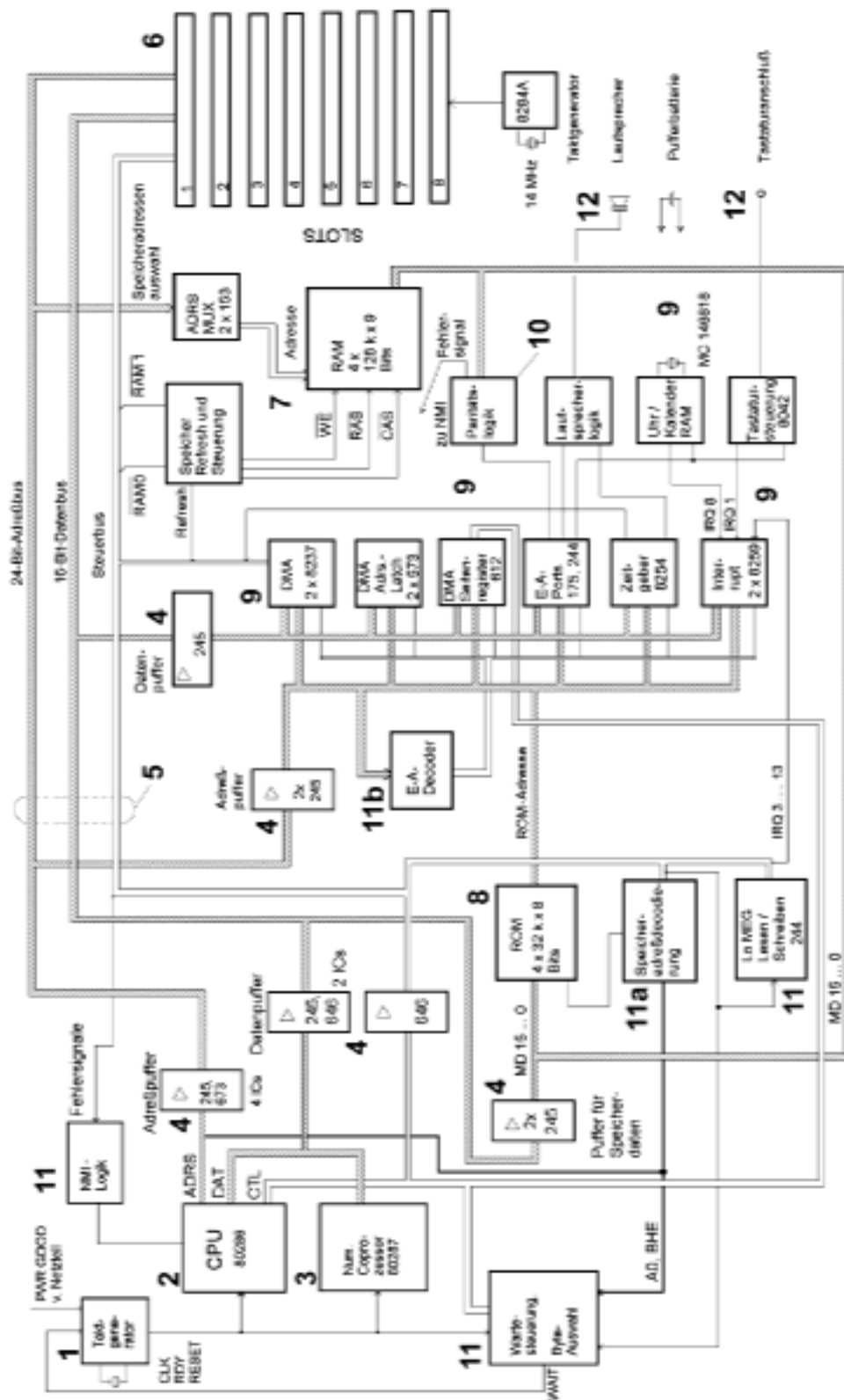


Abbildung 1.25 Das Motherboard des PC-AT von 1984 (nach: IBM)

Erklärung zu Abbildung 1.25:

1 - Takt und Rücksetzen; 2 - Prozessor; 3 - Fassung für Coprozessor; 4 - diverse Pufferstufen; 5 - Bussystem (24-Bit-Adressierung, 16-Bit-Datenübertragung); 6 - Slots für Steckkarten; 7 - Arbeitsspeicher; 8 - Festwertspeicher (ROM); 9 - diverse periphere Schaltkreise; 10 - RAM-Fehlerkontrolle (Paritätsprüfung); 11 - diverse Decodier- und Steuerschaltungen; 12 - die eingebaute Peripherie (Tastaturanschluß und Lautsprecher - mehr gab es nicht...)*). Diese Zeichnung - der Originaldokumentation nachempfunden - ist nicht besonders übersichtlich. Um den prinzipiellen Aufbau der Schaltung zu verstehen, sollten wir vom Prozessor aus die Verbindungen von links nach rechts verfolgen und dabei Einzelheiten vernachlässigen. Wir erkennen, daß es sich um eine an sich recht einfache Mikroprozessoranordnung handelt: dem Mikroprozessor 2 ist (über Pufferstufen 4) ein einziger Bus 5 nachgeschaltet, an den die Slots 6, der Arbeitsspeicher 7, der Festwertspeicher (ROM) 8 sowie periphere Einrichtungen 9 angeschlossen sind (Universalbusprinzip). Die gesamte Schaltung ist mit marktüblichen Schaltkreisen aufgebaut.

*) : die typischen PCs der frühen Jahre (1981 bis ca. 1992/93) enthalten außer dem Tastaturanschluß und dem Lautsprecher keinerlei Schnittstellen oder Interfaces - alles, was sonst noch anzuschließen ist, muß über Steckkarten angeschlossen werden.

Wichtig ist - heutzutage - folgendes:

- dieses Bussystem ist - einschließlich der Slotbelegung - zum „Industriestandard“ geworden (ISA-Bus),
- die Aufteilung des Adreßraumes (verwirklicht durch die Speicheradreßdecodierung 11a und den E-A-Decoder 11b) sowie die Ausstattung mit peripheren Schaltkreisen 9 bestimmt bis heute die „AT-Kompatibilität“ (ein moderner „kompatibler“ PC muß sich wie so ein alter AT verhalten können).

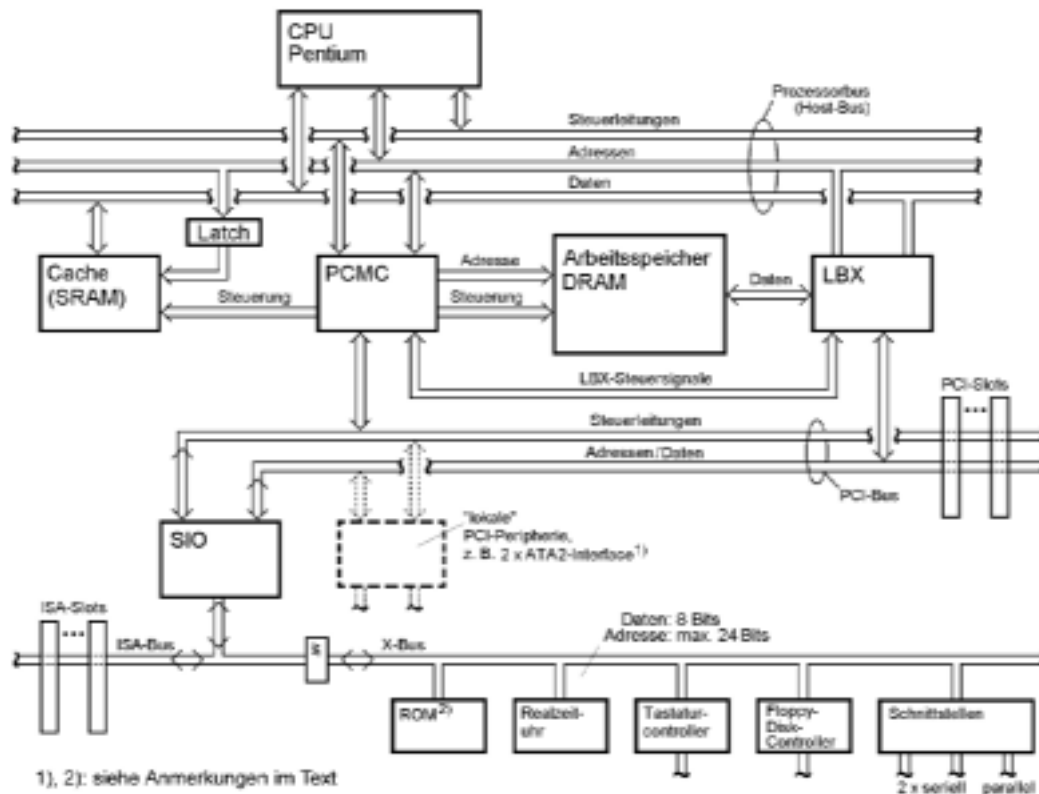


Abbildung 1.26 Das Motherboard eines typischen PCs aus der Mitte der 90er Jahre (nach: Intel)

Erklärung:

- PCMC = PCI, Cache and Memory Controller. Brücke zwischen Prozessor- und PCI-Bus, Adressierung und Steuerung des Arbeitsspeicher-Subsystems (DRAM + Cache).
- LBX = Local Bus Accelerator. Datenwegumschaltung, Pufferung und Vermittlung. Der Schaltkreis unterstützt folgende Datenwege: 64 Bits zwischen Prozessor und Arbeitsspeicher-Subsystem (DRAM + Cache), 32 Bits zwischen Prozessor- und PCI-Bus, 32 Bits zwischen PCI-Bus und Arbeitsspeicher.
- SIO = System I/O. Brücke zwischen PCI-Bus und ISA-Bus/X-Bus. Enthält u. a. weiterhin die Funktionen DMA (2 · 8237A), Interruptcontroller (2 · 8259A), Systemzeitgeber (8254) einschließlich Lautsprecher-Ansteuerung, NMI-Logik, einen BIOS-Zeitgeber sowie die Adreßdecodierung für die X-Bus-Peripherie.
- X-Bus. Ein interner Bus für die „Kleinperipherie“: Festwertspeicher (Flash-ROM), Realzeituhr, Tastaturcontroller, Floppy-Disk-Controller, sowie eine parallele und zwei serielle Schnittstellen.

Anmerkungen:

- 1) die IDE/ATA-Laufwerksschnittstellen (zum Anschließen von Festplatten, CD-Laufwerken usw.) sind als PCI-Einrichtungen ausgelegt. Der ISA- oder X-Bus wäre für die schnelleren ATA-Betriebsarten zu langsam.

- 2) der Speicherinhalt kann beim Anwender geändert werden (BIOS-Update).
- 3) mit Ausnahme der Videoschnittstelle befinden sich alle typischen Interfaces auf dem Motherboard. Um einen betriebsfähigen PC aufzubauen, braucht man nur noch - als einzige Steckkarte - eine Graphikkarte.

Diese Auslegung ist - mit dem Aufkommen des PCI-Bus und der Pentium-Prozessoren - in der 2. Hälfte der 90er Jahre praktisch zum Industriestandard geworden. In den späteren Jahren hat sich am Prinzip nichts geändert, man hat nur schnellere Interfaces eingeführt und die Funktionen in höher integrierten Schaltkreisen zusammengefaßt.

Hinweis:

Die PCs in der ersten Hälfte der 90er Jahre (Prozessoren 386 und 486, EISA-Bus, diverse Lokalbussysteme) haben wir hier übergangen. (Wir verpassen nicht viel - es ist eine allmähliche, evolutionäre Entwicklung: Zusammenfassung der Steuer- und Decodierfunktionen in hochintegrierten Schaltkreisen, Übergang vom 16-Bit-Bus zum 32-Bit-Bus, Aufteilung auf mehrere Bussysteme mit dazwischen angeordneten Brücken usw.)

Erklärung zu Abbildung 1.27:

Die Abbildung zeigt nähere Einzelheiten eines Motherboards ähnlich Abbildung 1.12. Es handelt sich um einen Auszug aus einem Musterentwurf (Reference Design), wie sie von Schaltkreisherstellern gelegentlich im Internet bereitgehalten werden. Es sind alle wesentlichen Schaltkreise, Signalwege und Steckpositionen erkennbar. Solche Motherboards haben beträchtlich weniger Schaltkreise als jene der Vergangenheit, aber die haben es in sich (Abschnitt 1.5). 1 - Prozessor; 2 - Takterzeugung und Interruptcontroller; 3 - Spannungsregler; 4 - Überwachung der Prozessortemperatur; 5 - Prozessorbus; 6 - Abschlußwiderstände; 7 - Brückenschaltkreis Prozessor - Arbeitsspeicher - PCI - AGP (die sog. North Bridge); 8 - PCI-Slot; 9 - Arbeitsspeichermoduln (SDRAM-DIMMs); 10 - Takttreiber für Arbeitsspeicher; 11 - PCI-Bus; 12 - Brücke PCI - ISA (die sog. South Bridge); 13 - USB-Anschlüsse; 14 - IDE/ATA-Anschlüsse; 15 - PCI-Slots; 16 - ISA-Bus; 17 - E-A-Schaltkreis (Super oder Ultra I/O; enthält die Anschlußhardware für die Schnittstellen 20); 18 - Festwertspeicher (Flash ROM); 19 - ISA-Slots; 20 - herkömmliche Schnittstellen (Tastatur, Maus, Diskettenlaufwerk, 1 · parallel, 2 · seriell).

Neuigkeiten im Überblick:

- der Prozessor befindet sich in einer Steckkassette. Diese enthält auch den (bisher externen) Cache.
- der Arbeitsspeicher ist mit SDRAM-DIMMs bestückt (taktsynchroner Betrieb, 64 Bits Zugriffsbreite),
- neue Interfaces: AGP und USB,
- IDE/ATA-Schnittstellen mit neuen Betriebsarten (höhere Datenrate),
- die hohen Taktfrequenzen (100 MHz und mehr) erfordern einigen Aufwand in der „Infrastruktur“ (Stromversorgung, Takterzeugung, Systemüberwachung usw.; vgl. die Positionen 2, 3, 4 und 6).

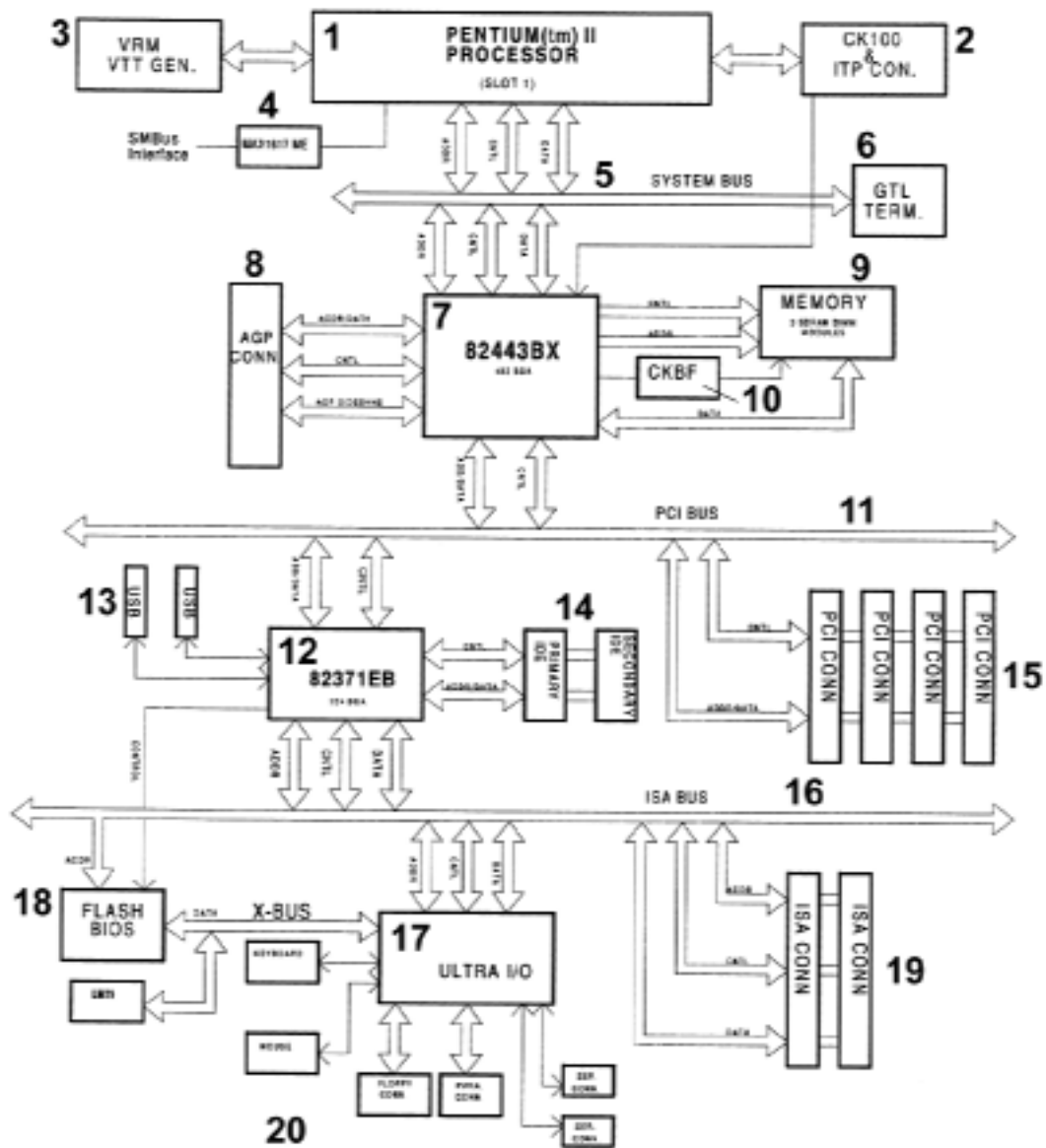


Abbildung 1.27 Das Motherboard eines PCs mit Pentium-II-Prozessor (Musterentwurf; Intel 1998/99)

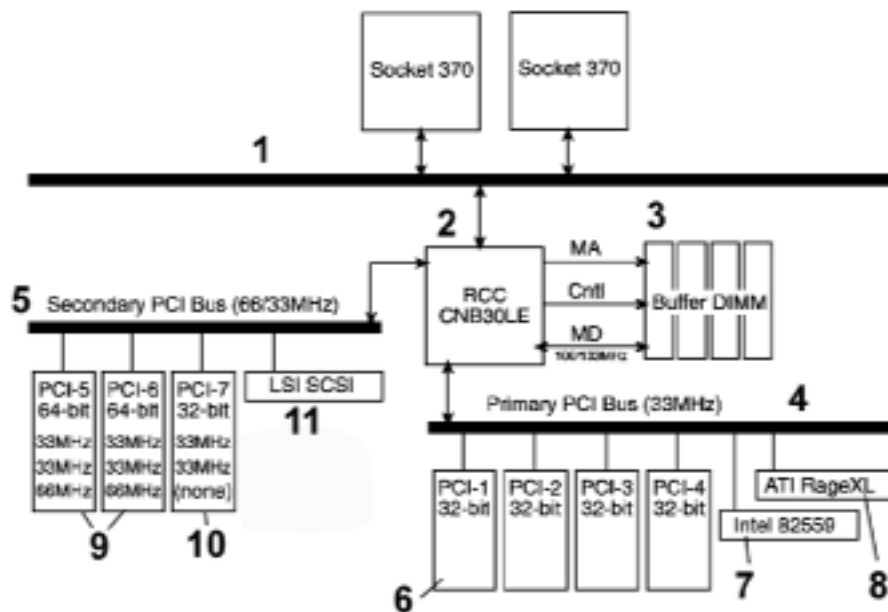


Abbildung 1.28 Ein Server-Motherboard aus dem Jahre 2000 (Asus)

Erklärung:

Die Prozessoren haben wieder die Form von Schaltkreisen und werden in Steckfassungen (Sockets) eingesetzt. 1 - Prozessorbus; 2 - Brückenschaltkreis (North Bridge); 3 - Arbeitsspeicher-Subsystem (100 oder 133 MHz, SDRAM-DIMMs mit Registerpufferung); 4 - erster PCI-Bus (32 Bits, 33 MHz); 5 - zweiter PCI-Bus; 6 - Slots des ersten PCI-Bus; 7 - Ethernet-Steuerschaltkreis; 8 - Graphikcontroller; 9 - 64-Bit-Slots des zweiten PCI-Bus; 10 - 32-Bit-Slots des zweiten PCI-Bus; 11 - SCSI-Steuerschaltkreis. Der zweite PCI-Bus 5 kann mit 66 MHz betrieben werden (dann unterstützt auch der SCSI-Steuerschaltkreis 11 die Betriebsart Ultra 3 SCSI mit 160 MBytes/s). Es ist ein Vorläufer des Motherboards von Abbildung 1.21 - nach gleichen Grundsätzen ausgelegt^{*)}, aber mit seinerzeit verfügbaren Schaltkreisen aufgebaut.

^{*)}: Graphikcontroller und SCSI-Schnittstelle eingebaut, mehrere Prozessoren, mehrere Bussysteme.

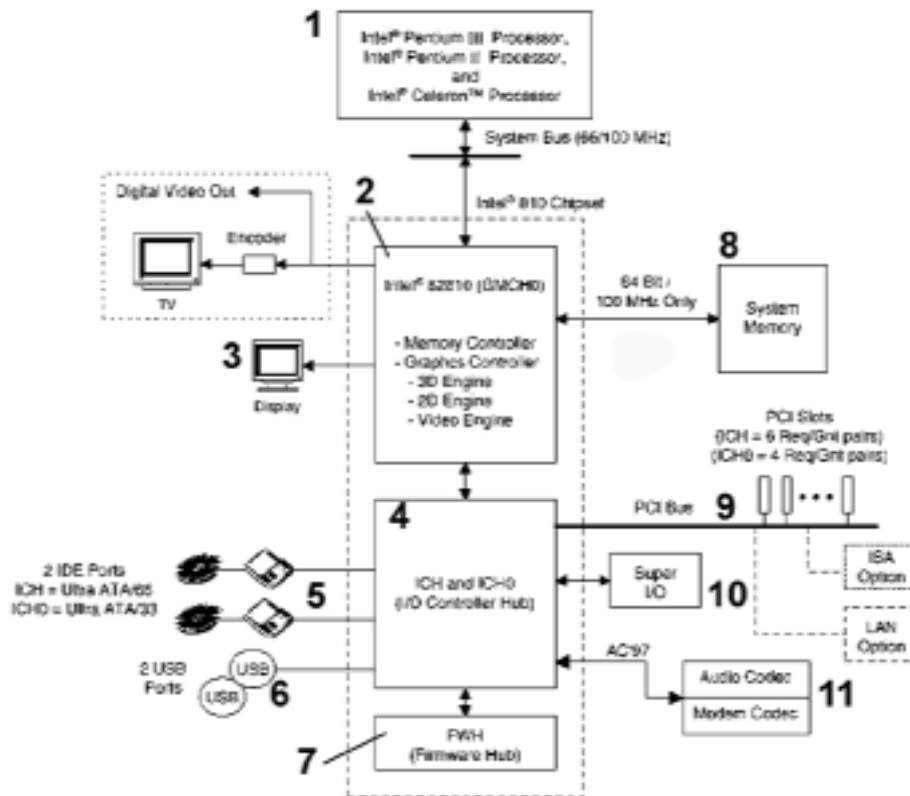


Abbildung 1.29 PC-Plattform mit Schaltkreissatz Intel 810 (Intel)

Erklärung:

1 - Prozessor; 2 - Speicher- und Graphiksteuerschaltkreis; 3 - Bildschirmausgabe (oben: auf Fernsehgerät, darunter: auf Monitor); 4 - E-A-Steuerschaltkreis; 5 - 2 IDE-Anschlüsse (für Festplatten und andere Laufwerke); 6 - USB-Anschlüsse; 7 - Festwertspeicher (BIOS-ROM); 8 - Arbeitsspeicher; 9 - PCI-Bus; 10 - E-A-Kombinationsschaltkreis; 11 - Audio-Interface. Vgl. auch Abbildung 1.13.

Dieses Beispiel veranschaulicht sowohl eine neue Schaltungsstruktur als auch die Auslegung besonders kostengünstiger PC-Plattformen, der sog. Value PCs (Abschnitt 1.7.6).

Kennzeichnend ist die Abkehr vom Prinzip der über Brücken untereinander verbundenen standardisierten Bussysteme. Statt dessen bevorzugt man Punkt-zu-Punkt-Verbindungen (Verteilerprinzip). Diese gehen von den Schaltkreisen 2 und 4 aus. Man bezeichnet diese Schaltkreise mit dem Fachbegriff „Hub“ (sprich: Habb; wörtlich = „Nabe“, fachlich sinnfällige Übersetzung = „Verteiler“).

An den ICH sind die üblichen Schnittstellen entweder direkt oder über einen weiteren E-A-Schaltkreis (Super I/O 10) angeschlossen¹⁾. Weiterhin kann ein PCI-Bus (9) vorgesehen werden²⁾. Wie aus der Abbildung ersichtlich, können eine ISA-Busbrücke und ein Netzwerkanschluß (LAN Option) nachgeschaltet werden (gestrichelt dargestellt). Eine weitere Besonderheit: das Audio-Interface gemäß AC97-Spezifikation (11). Es ermöglicht, über vergleichsweise kostengünstige Zusatzschaltungen (Audio/Modem Codecs) sowohl die Funktionen einer Soundkarte als auch eines Modems bereitzustellen.

Der GMCH-Schaltkreis 2 enthält einen kompletten Graphikcontroller (Video Engine). Dies ist die hauptsächliche Maßnahme zur Kostensenkung. Der Arbeitsspeicher wird als Bildspeicher mitgenutzt, und es sind weder ein AGP-Slot noch eine Graphikkarte erforderlich (dem schaltkreis-internen Zusammenwirken von Videocontroller und Arbeitsspeicher liegen aber die bewährten AGP-Prinzipien zugrunde - es handelt sich also praktisch um ein eingebautes AGP-Subsystem).

Zum Schaltkreis 7 (Firmware Hub): In einer solchen Konfiguration gibt es keinen herkömmlichen Zugriffsweg, an den man einen BIOS-ROM anschließen könnte. Deshalb hat man ein besonderes Interface vorgesehen³⁾. Der Firmware Hub ist praktisch ein Flash-ROM mit diesem speziellen Interface⁴⁾. Dieser Schaltkreis enthält zudem weitere periphere Funktionseinheiten (u. a. eine Einrichtung zum Erzeugen „echter“ Zufallszahlen (Random Number Generator)⁵⁾).

Anmerkungen:

- 1) die Schnittstelle zwischen ICH-Schaltkreis 4 und dem Super-I/O-Schaltkreis 10 ist als LPC-Interface (vgl. Abschnitt 4.2.5) ausgelegt,
- 2) der PCI-Bus ist nicht unbedingt erforderlich, um einen betriebsfähigen PC zu bauen - ein solcher PC könnte vollkommen „buslos“ bzw. „slotlos“ sein,
- 3) das Interface ähnelt LPC: 4 Leitungen zur Informationsübertragung, ein Steuersignal, 33-MHz-Takt, Rücksetzen.
- 4) die Speicherkapazität des Firmware Hub beträgt - je nach Typ - 512 kBytes oder 1 MBytes,
- 5) die Anwendungen: Datenverschlüsselung und Zugangsschutz.

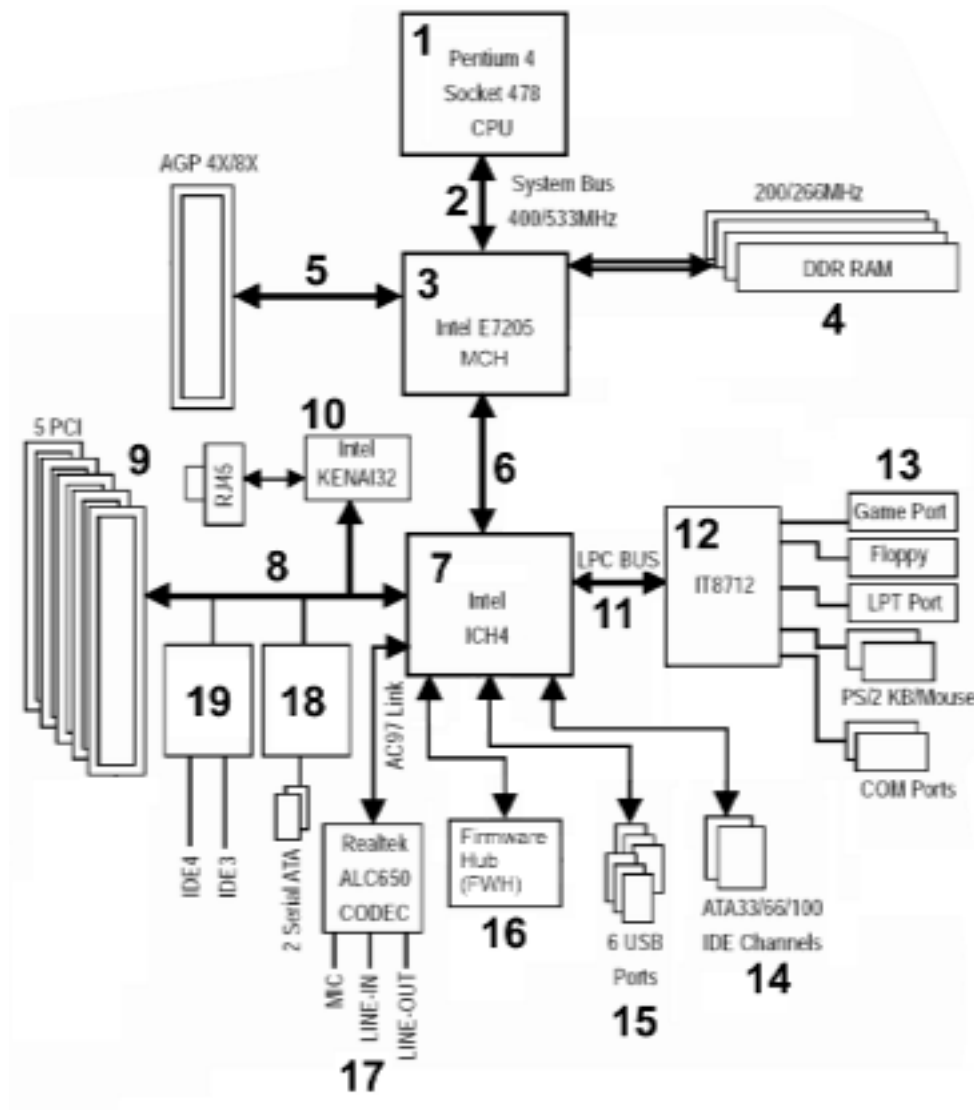


Abbildung 1.30 Einige Jahre später - ein Motherboard mit Pentium-4-Prozessor und Intel-Schaltkreissatz (nach: Gigabyte)

Erklärung:

Es ist alles schneller geworden. Im Grunde hat sich aber nicht viel geändert. 1 - Prozessor; 2 - Prozessorbuss; 3 - Arbeitsspeichersteuerung und Hauptverteiler; 4 - Arbeitsspeicher (mit DDR-SDRAMs); 5 - AGP-Interface mit AGP-Slot; 6 - Privatinterface; 7 - E-A-Verteiler; 8 - PCI-Bus (nach wie vor 32 Bits, 33 MHz); 9 - PCI-Slots; 10 - Netzwerkanschluß (Gigabit Ethernet); 11 - LPC-Interface; 12 - Super-IO-Schaltkreis; 13 - die herkömmlichen Schnittstellen; 14 - zwei IDE/ATA-Anschlüsse; 15 - USB-Anschlüsse; 16 - Festwertspeicher (BIOS-ROM, als Firmware Hub ausgeführt); 17 - Audioanschlüsse; 18 - Serial-ATA-Anschlüsse; 19 - zwei zusätzliche IDE/ATA-Anschlüsse (unterstützen den Aufbau von RAID-Konfigurationen). Vgl. auch Abbildung 1.17.

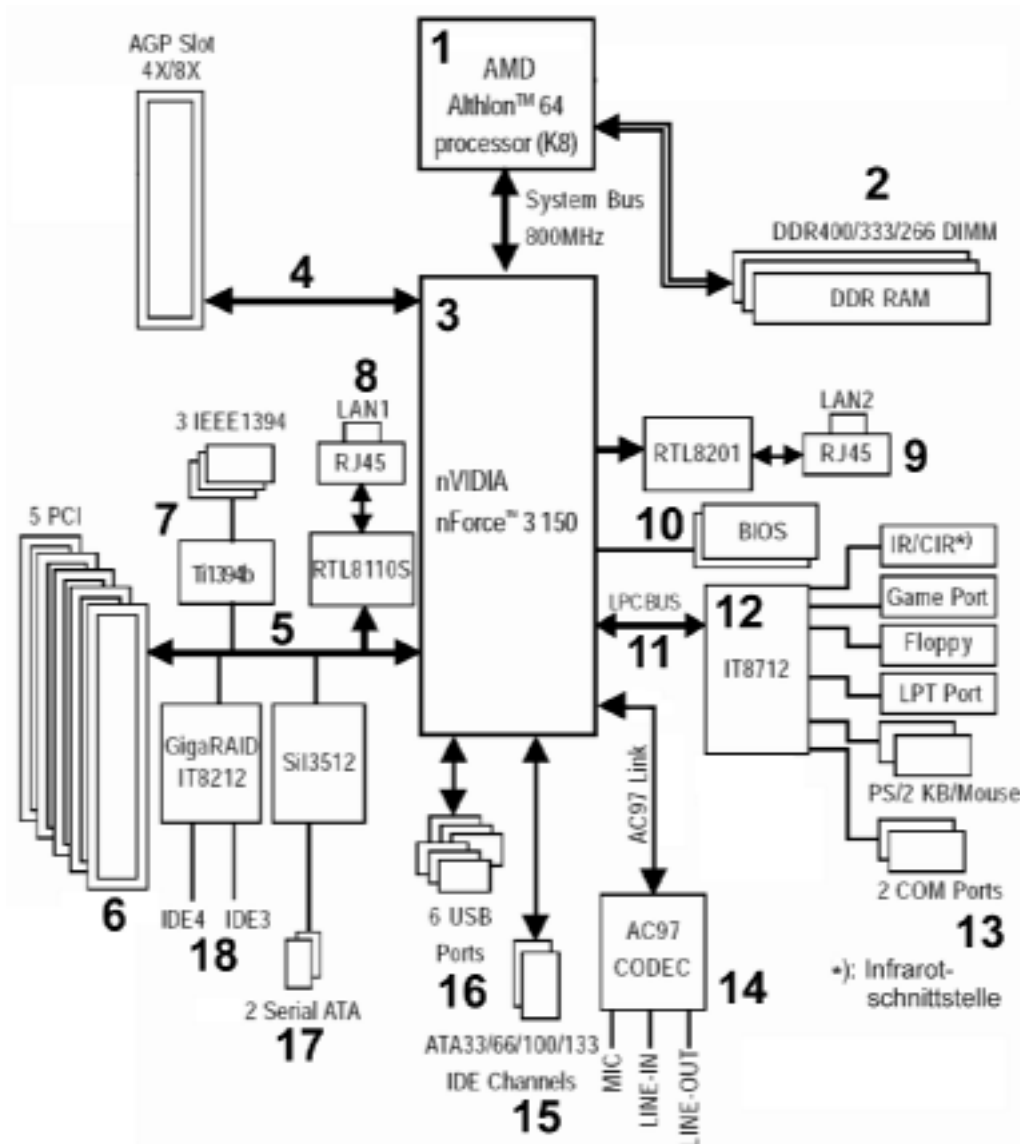


Abbildung 1.31 Alles entwickelt sich - ein Motherboard mit Athlon64-Prozessor (nach: Gigabyte)

Erklärung:

1 - Prozessor; 2 - Arbeitsspeicher (mit DDR-SDRAMs). Der Athlon64 hat eine eingebaute Arbeitsspeichersteuerung (Abschnitt 1.5.4). 3 - Hauptverteiler; 4 - AGP-Interface mit AGP-Slot; 5 - PCI-Bus (immer noch 32 Bits, 33 MHz); 6 - PCI-Slots; 17 - Firewire-Anschlüsse; 8, 9 - Netzwerkanschlüsse; 10 - BIOS-ROM; 11 - LPC-Interface; 12 - Super-EA-Schaltkreis; 13 - die herkömmlichen Schnittstellen; 14 - Audioanschlüsse; 15 - zwei IDE/ATA-Anschlüsse; 16 - USB-Anschlüsse; 17 - Serial-ATA-Anschlüsse; 18 - zwei zusätzliche IDE/ATA-Anschlüsse (unterstützen den Aufbau von RAID-Konfigurationen). Vgl. auch Abbildung 1.18.

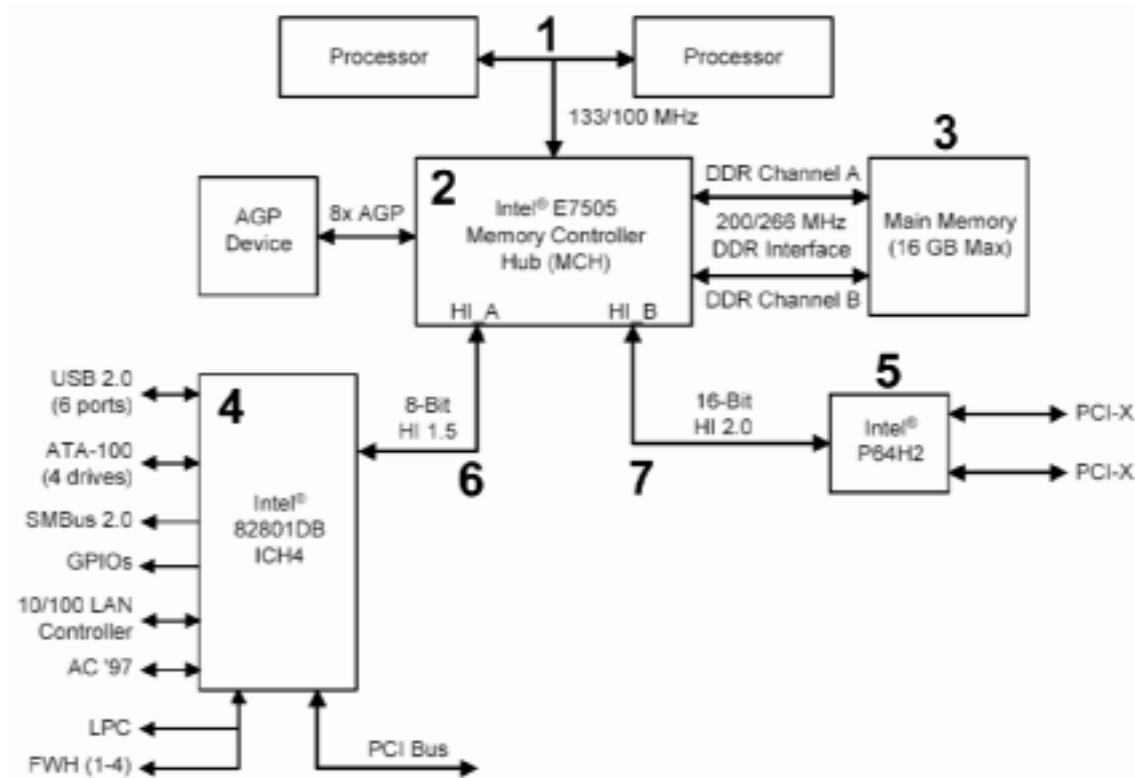


Abbildung 1.32 Mehr als ein Prozessor (1). Zwei Xeon-Prozessoren mit Intel-Schaltkreissatz (Intel)

Erklärung:

1 - zwei Prozessoren, an einen gemeinsamen Bus angeschlossen. 2 - Hauptverteiler; 3 - Arbeitsspeicher-Subsystem. Neu: zwei Zugriffswege (DDR Channels) zu je 64 Bits (können parallel betrieben werden, so daß sich eine Zugriffsbreite von 128 Bits ergibt). 4 - E-A-Verteiler. Weitere Einzelheiten sind nicht dargestellt. Sie entsprechen im wesentlichen Abbildung 1.30. 5 - PCI-X-Brücke; 6, 7 - Privatinterfaces zwischen den Schaltkreisen (HI = Hub Interface; Abschnitt 1.5.3). Die Abbildung zeigt die typische Funktionsaufteilung der Intel-Schaltkreissätze. Vgl. auch Abbildung 1.20.

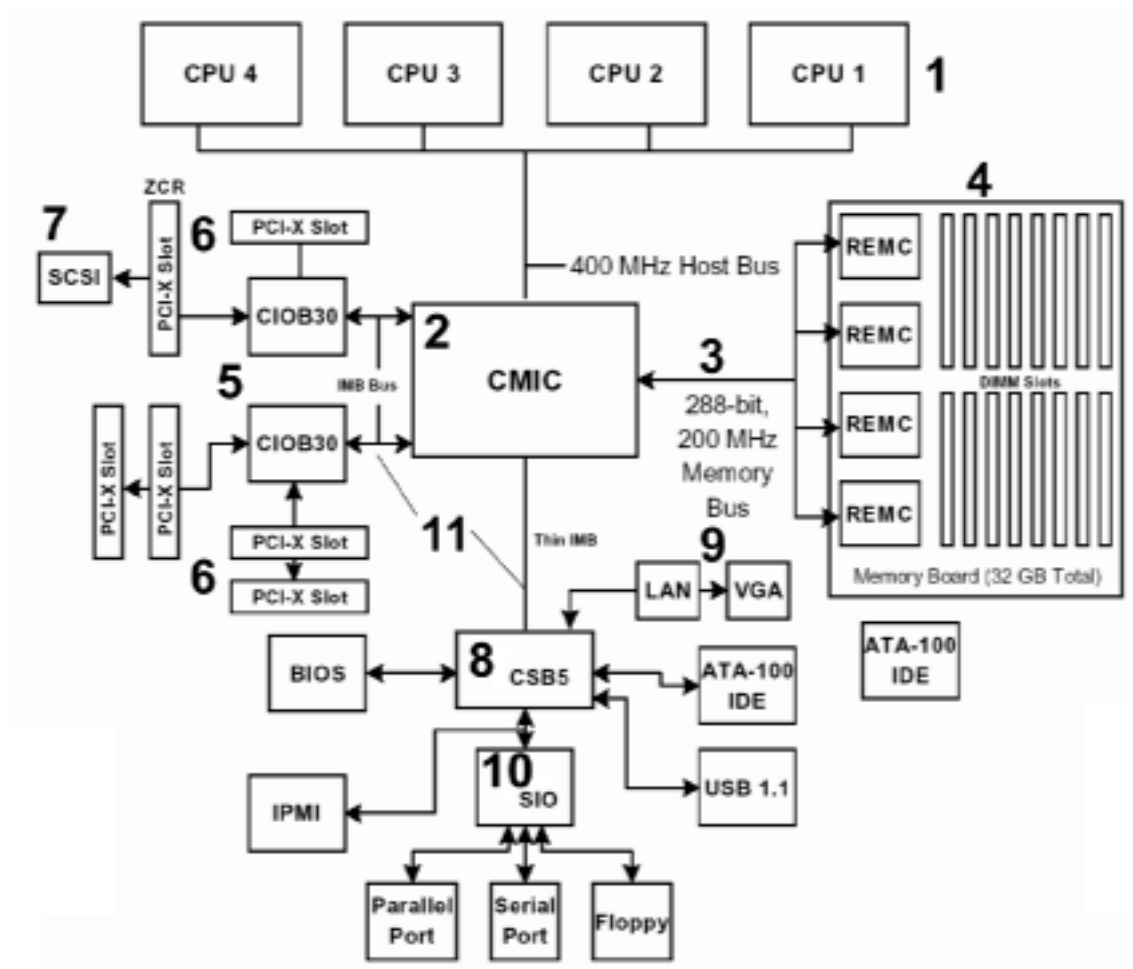


Abbildung 1.33 Mehr als ein Prozessor (2). Vier Xeon-Prozessoren mit speziellem Schaltkreissatz (Supermicro)

Erklärung:

1 - vier Prozessoren, an einen gemeinsamen Bus angeschlossen. 2 - Hauptverteiler; 3 - Arbeitsspeicherbus. Zugriffsbreite: 256 Daten- und 32 ECC-Bits = 288 Bits. 4 - Arbeitsspeichersteckkarte; 4 - zwei PCI-X-Verteiler. Jeder treibt zwei PCI-X-Bussysteme. 6 - PCI-X-Slots; 7 - eingebauter SCSI-Adapter an einem PCI-X-Bus; 8 - E-A-Verteiler mit der üblichen Schnittstellenausstattung; 9 - Netzwerkanschluß und Graphikcontroller; 10 - Super-EA-Schaltkreis mit der üblichen Schnittstellenausstattung; 11 - Privatinterfaces zwischen den Verteilerschaltkreisen. Vgl. auch die Abbildungen 1.22 bis 1.24.

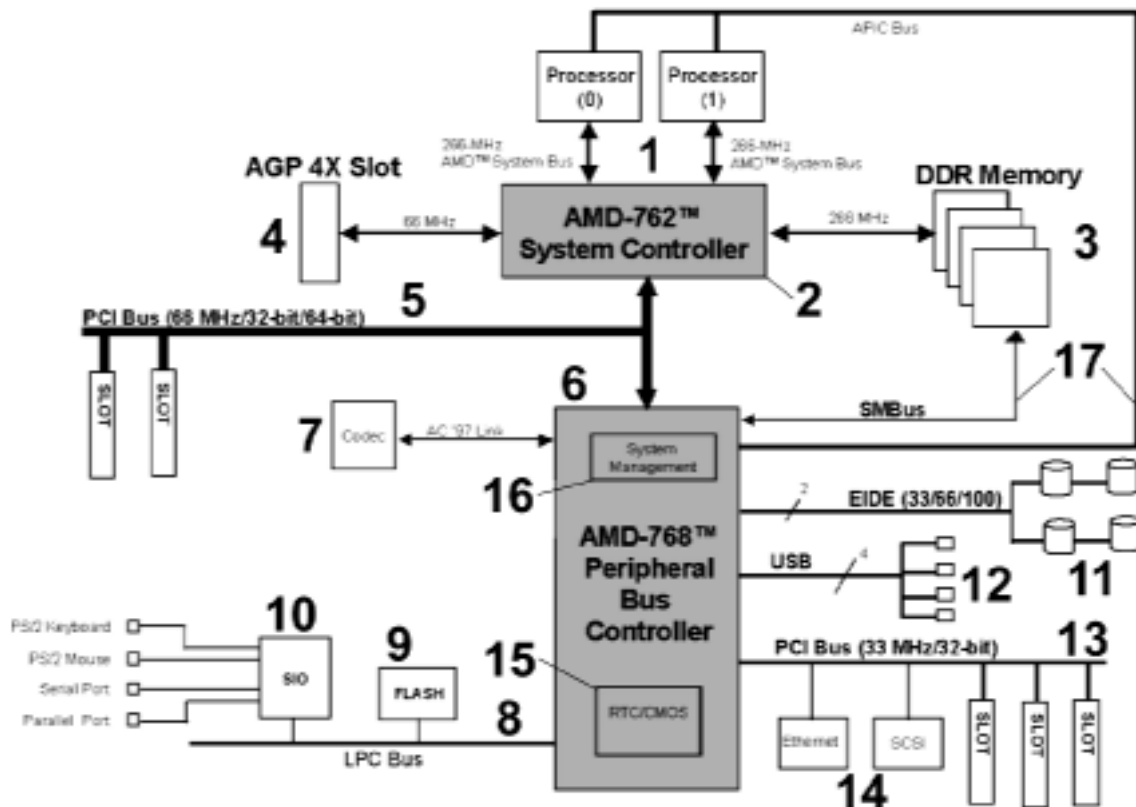


Abbildung 1.34 Mehr als ein Prozessor (3). Zwei von der anderen Sorte (AMD)

Erklärung:

Intel-Prozessoren werden an einen „richtigen“ Bus angeschlossen, AMD-Prozessoren haben eine Punkt-zu-Punkt-Schnittstelle. Deshalb müssen sie einzeln mit dem Steuerschaltkreis verbunden werden. 1 - zwei Athlon-MP-Prozessoren; 2 - Systemsteuerschaltkreis; 3 - Arbeitsspeicher; 4 - AGP-Schnittstelle mit AGP-Slot; 5 - PCI-Bus (66 MHz) mit PCI-Slots. Dient als Erweiterungsbus und als Verbindung zwischen den Steuerschaltkreisen (Brückenprinzip; Abschnitt 1.5.2). 6 - E-A-Steuerschaltkreis; 7 - Audioanschluß; 8 - LPC-Bus; 9 - BIOS-ROM; 10 - Super-EA-Schaltkreis mit der üblichen Schnittstellenausstattung; 11 - IDE/ATA-Anschlüsse; 12 - USB-Anschlüsse; 13 - PCI-Bus (32 Bits, 33 MHz) mit PCI-Slots; 14 - eingebaute PCI-Peripherie (z. B. Netzwerkadapter und SCSI-Controller); 15 - Tageszeituhr; 16 - Systemverwaltung; 17 - Bussysteme für Systemverwaltung und Stromsparsteuerung.

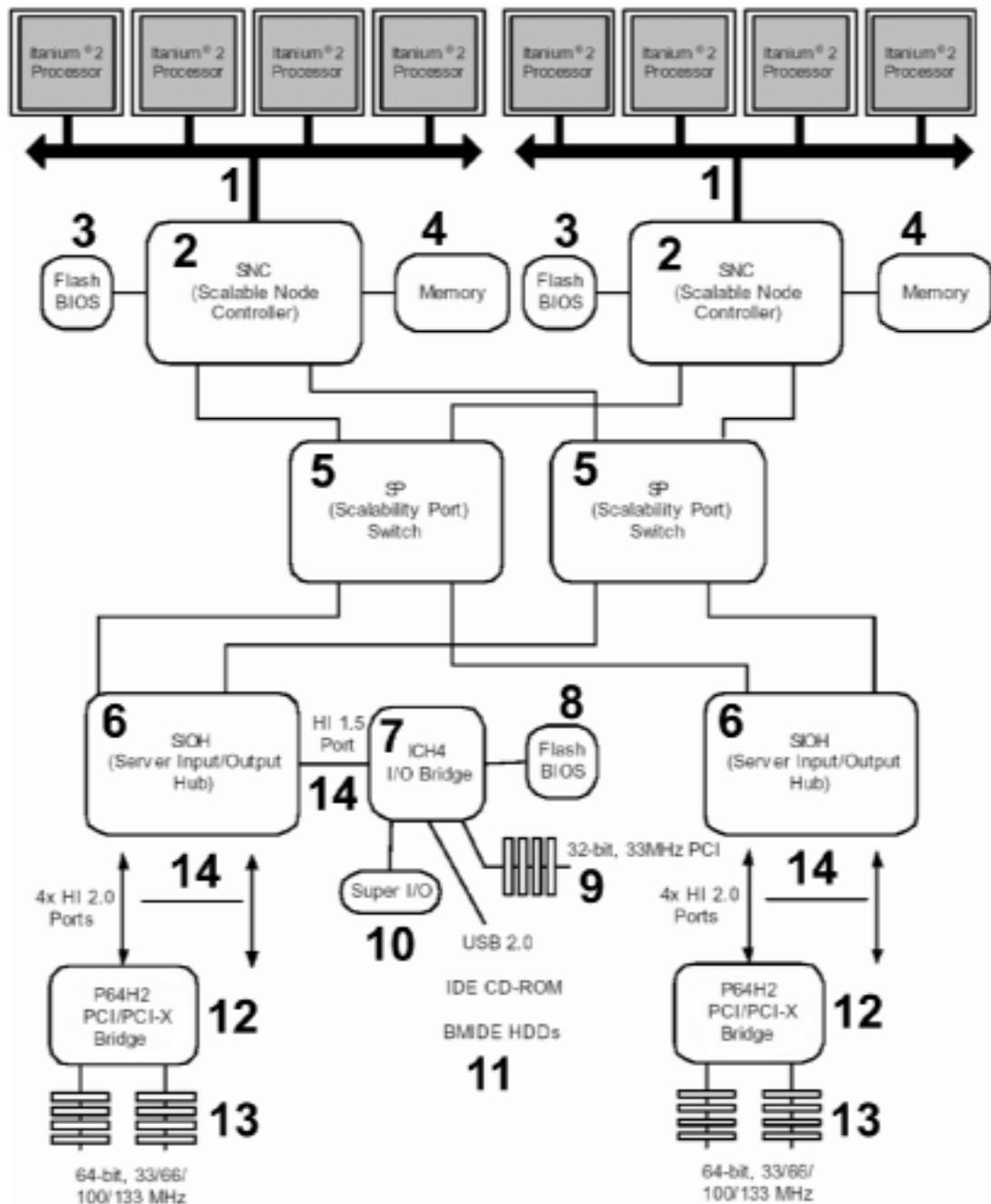


Abbildung 1.35 Mehr als ein Prozessor (4). Acht Itaniums - das müßte doch wohl genügen... (Intel)

Erklärung:

1 - je 4 Itanium-2-Prozessoren an einem Bus¹⁾; 2 - Subsystemsteuerung; 3 - Flash-ROM (FWH); 4 - Arbeitsspeichersubsystem²⁾; 5 - Schaltverteiler; 6 - E-A-Verteiler³⁾; 7 - E-A-Brücke; 8 - BIOS-ROM (FWH); 9 - PCI-Bus (32 Bits, 33 MHz); 10 - Super-IO-Schaltkreis; 11 - die typischen herkömmlichen Schnittstellen; 12 - PCI-X-Brücken⁴⁾; 13 - PCI-X-Slots (64 Bits, 33...133 MHz (je nach Bestückung)); 14 - Privatinterfaces (Hub Interfaces). Mit PCs im herkömmlichen Sinne hat das offensichtlich nur noch wenig zu tun...

Anmerkungen:

- 1) der Itanium-Bus entspricht weitgehend dem Bus der neueren Pentium-Modelle,
- 2) jede Subsystemsteuerung hat 4 Rambus-Kanäle, denen über weitere Verteilerschaltkreise 8 DDR-RAM-Kanäle nachgeschaltet sind. Maximal installierbar: 32 GBytes.
- 3) die Schaltverteiler 5 können jeden der E-A-Verteiler 6 mit jeder der Subsystemsteuerungen 2 verbinden. Maximale Datenrate der einzelnen Verbindung: 6,4 GBytes.
- 4) an jeden Schaltverteiler 6 können bis zu 4 PCI-X-Brücken 12 angeschlossen werden.

Denksportaufgabe: Wie könnte ein kleinerer Server auf Grundlage dieser Struktur aussehen?

Nur 4 Itaniums an einem Bus, nur eine Subsystemsteuerung 2, nur ein E-A-Verteiler 6 usw. Kein Schaltverteiler 5, sondern Direktverbindung zwischen Subsystemsteuerung 2 und E-A-Verteiler 6.

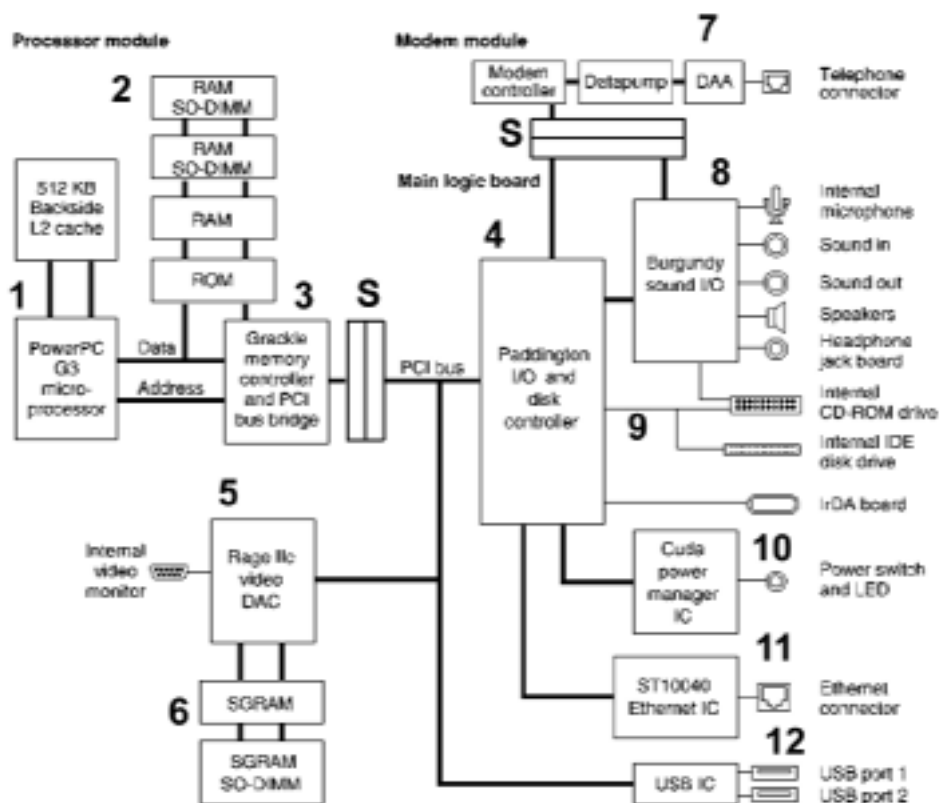


Abbildung 1.36 Mal was anderes: eine Macintosh-Plattform im Blockschaltbild (Apple). Hier: der iMac

Erklärung:

1 - Prozessor mit L2-Cache; 2 - Arbeitsspeicher (ROM und RAM auf Motherboard +

Speichermoduln); 3 - Arbeitsspeichersteuerung und Brücke zum PCI-Bus; 4 - E-A-Steuerschaltkreis mit eingebauter IDE/ATA-Schnittstelle (für Festplatte und CD-ROM-Laufwerk); 5 - eingebautes Video-Subsystem; 6 - Bildspeicher (mit SGRAM-Schaltkreisen); 7 - eingebautes Modem; 8 - Audio-Schaltkreis mit Audio-Anschlüssen; 9 - Laufwerksanschlüsse (IDE/ATA); 10 - Stromversorgungssteuerung; 11 - eingebauter Netzwerkadapter; 12 - USB-Anschlüsse; S - Trennstellen zwischen den einzelnen Leiterplatten (Processor Module, Modem Module, Main Logic Board). Grackle, Paddington, Burgundry usw. sind Apple-typische Schaltkreisbezeichnungen (zu derartigen Gepflogenheiten vgl. Abschnitt 2.2.7).

Hinweis:

In den ersten Jahren seiner Entwicklungsgeschichte war der Macintosh ein wirklicher Exot. Aus dem riesigen Sortiment des PC-Zubehörs paßte praktisch nichts (Druckerpapier, Maus-Pads und dergleichen ausgenommen...). Moderne Macs sind hingegen durch etliche allgemein standardisierte Schnittstellen gekennzeichnet (wir erkennen u. a. einen gewöhnlichen Telefonanschluß, IDE-Anschlüsse, einen Ethernet-Anschluß und zwei USB-Anschlüsse).

1.4. Periphere Einrichtungen auf dem Motherboard

1.4.1. Grundausrüstung

Die üblichen Motherboards enthalten Schaltmittel, die zur Steuerung von Ein- und Ausgabevorgängen dienen bzw. die unmittelbar zur Peripherie zu rechnen sind. Tabelle 1.1 gibt eine Übersicht über die entsprechende Grundausrüstung des PC/AT. (Die auch in den modernsten „kompatiblen“ PCs vorhanden sein muß.)

Schaltkreis-Grundtyp	Anzahl	Funktion bzw. Nutzung	Erläuterungen
8237	2	Direkter Speicherzugriff (Direct Memory Access DMA)	es sind 7 DMA-Kanäle verfügbar, um Daten zwischen einer E-A-Einrichtung und dem Speicher zu übertragen. Kanal 0: DRAM-Refresh bzw. frei nutzbar, Kanal 1: vorzugsweise Bandlaufwerk (Streamer), Kanal 2: Floppy Disk; Kanal 3: vorzugsweise Festplatte, Kanal 4: Kaskadierung der beiden DMA-Schaltkreise (nicht frei verfügbar), Kanäle 5, 6, 7: frei nutzbar, 16-Bit-Transporte
8253-5 bzw. 8254	1	Programmierbarer Zeitgeber (Programmable Interval Timer PIT)	der Schaltkreis enthält 3 Zeitgeber-Kanäle. Kanal 0: Systemzeit, erregt Unterbrechungsanforderung IRQ 0, Kanal 1: Refresh-Anforderung für DRAMs bzw. frei nutzbar, Kanal 2: Tonfrequenz für den eingebauten Lautsprecher
8259	2	Programmierbare Unterbrechungssteuerung (Programmable Interrupt Controller PIC)	beide Schaltkreise zusammen verwalten bis zu 15 einzelne Unterbrechungsanforderungen (Interrupt Requests IRQ 0, IRQ 1, IRQ 3...15)

Schaltkreis-Grundtyp	Anzahl	Funktion bzw. Nutzung	Erläuterungen
8042	1	Fest programmierter Mikrocontroller für die Tastatursteuerung	
612	1	Seitenregister (Bank- bzw. Page-Register) als Ergänzung der DMA-Schaltkreise 8237	
1287 bzw. MC146818	1	Tageszeituhr mit Kalender (Real Time Clock RTC) und CMOS-RAM	bei ausgeschaltetem PC Stromversorgung über Batterie. Schaltkreis enthält Tageszeituhr einschließlich Kalender sowie 50 Bytes RAM für Konfigurationsangaben (Setup)
175 + 244 bzw. 8255	mehrere	programmierbare E-A-Ports	Steuerung der Paritätskontrolle, des Lautsprechers usw. Manche Motherboards haben zusätzlich zum Industriestandard weitere E-A-Ports zu Konfigurations- und Testzwecken

Tabelle 1.1 E-A-Schaltmittel auf der Hauptplatine des PC/AT (Plattform-Peripherie)

1.4.2. Die Plattform-Peripherie der kompatiblen PCs

Die Grundausstattung nach Tabelle 1.1 hat sich als Industriestandard durchgesetzt, der einen „kompatiblen“ PC kennzeichnet. Eine verringerte Ausstattung würde die Kompatibilität gefährden. Auch wenn man manche Funktionen heutzutage (bei einem Neuentwurf von Grund auf) sicherlich anders verwirklichen würde, kann man es praktisch nicht wagen, sie zu ändern oder gar wegzulassen. Viele Hersteller gehen jedoch darüber hinaus und bringen weitere Schaltmittel auf dem Motherboard unter. Naturgemäß bietet es sich an, Funktionseinheiten vorzusehen, die ohnehin zum „Standard“ gehören.

Der herkömmliche Industriestandard

Nach und nach hat sich folgende Ausstattung als allgemein üblich durchgesetzt:

- 2 serielle Schnittstellen,
- 1 parallele Schnittstelle,
- 1 Diskettenlaufwerksanschluß,
- 1 Game Port (Spielgeräteanschluß für herkömmliche (analoge) Joysticks o. dergl.),
- 2 IDE/ATA-Interfaces (für Festplatten, CD- oder DVD-Laufwerke usw.),
- seit 1996/97: Tastatur- und Mausanschlüsse gemäß dem PS/2-Standard^{*)},
- seit 1997/98: wenigstens 1 USB-Anschluß (wenigstens 2 sind typisch),
- seit 2003: wenigstens 2 Serial-ATA-Anschlüsse (wie IDE/ATA, nur schneller und dünne Kabel).

^{*)}: Microsoft hatte in der Windows-95-Hardwarespezifikation diese Schnittstellen

empfohlen...

Herkömmliche und neumodische Schnittstellen

Vor allem Intel und Microsoft sind bestrebt, die herkömmlichen Schnittstellen (Legacy Interfaces)^{*)} aus den PCs zu entfernen. Ein Computer ohne solche Schnittstellen heißt „Legacy-free“. Gelegentlich geäußerte radikale Absichten (nur noch USB und Firewire) haben sich aber bisher noch nicht durchsetzen können.

*) : Legacy (sprich: Legässie) = Erblast.

Was man typischerweise wegläßt:

- eine serielle Schnittstelle,
- beide seriellen Schnittstellen,
- alle seriellen und parallelen Schnittstellen,
- den Game Port.

Was man nahezu immer beibehält:

- die PS/2-Schnittstellen für Tastatur und Maus.

Erweiterungen

Weitere naheliegende „Kandidaten“ für eine Unterbringung auf dem Motherboard:

- Firewire-Anschlüsse,
- Hardware zur Ein- und Ausgabe von Audiosignalen,
- SCSI-Controller (Hostadapter),
- Videohardware (vom herkömmlichen VGA-Videoadapter bis hin zu „Multimedia“-Hardware),
- Anschlüsse, die wir bereits kennen, aber mehr davon (z. B. 4 · IDE/ATA, 6 · USB, 4 · Firewire, 2 · SCSI usw.).

All dies ist tatsächlich ausgeführt worden und kommt von Zeit zu Zeit in Mode. Die wesentlichen Vorteile:

- **Kompaktheit.** Der ganze Computer wird - bezogen auf eine bestimmte funktionelle Ausstattung - wesentlich kompakter, das heißt kleiner. Geräte, bei denen es besonders auf Kompaktheit ankommt (wie Laptops, Notebooks oder andere portable Computer) kann man praktisch gar nicht anders bauen.
- **mehr Platz für zusätzliche Erweiterungen.** In manchen Einsatzfällen spielt es kaum eine Rolle, wie groß der Computer ist. E-A-Schaltungen auf der Hauptplatine haben hier den Vorteil, daß ohnehin benötigte Standard-Funktionen keine Slots belegen. Es stehen also mehr Slots für wahlfreie Erweiterungen zur Verfügung (z. B. um Steckkarten für Meßzwecke, für besondere Interfaces usw. aufzunehmen).

- Kostensenkung durch - insgesamt gesehen - weniger Leiterplattenfläche und niedrigere Fertigungszeiten (eine zusätzliche Steckkarte kostet Leiterplattenmaterial - und sie muß eigens gefertigt werden (Bestücken, Löten, Prüfen, Verpacken usw.)),
- höheres Leistungsvermögen. Dieser Vorteil wird jedoch nicht zwangsläufig wirksam^{*)}. Es ist vielmehr zunächst eine Auslegungs-Möglichkeit: wenn man nicht gezwungen ist, sich an bestimmte Bus-Standards anzupassen, hat man viel mehr Möglichkeiten zur Leistungsoptimierung. Beispiel: man geht nicht über den PCI-Bus, sondern sieht im Steuerschaltkreis einen direkten Zugriffsweg zum Arbeitsspeicher vor.
- werbewirksame Alleinstellungsmerkmale (ein Vorteil für den Hersteller). Die Ausstattung wird in der Werbung gern hervorgehoben.
- weniger Ärger bei Inbetriebnehmen (ein Vorteil für den Anwender). Es entfällt das Installieren von Steckkarten und zusätzlicher Treibersoftware. Motherboard einbauen - beiliegende Treiber-CD installieren - fertig. Updates zur gesamten eingebauten Peripherie finden wir mühelos (hoffen wir's...) an einer einzigen Stelle - nämlich auf der Web-Site des Motherboardherstellers.

*) : manche Hersteller machen es gerade umgekehrt: sie installieren eine kostengünstige Hardware mit bestenfalls durchschnittlichem Leistungsvermögen auf dem Motherboard. Der Grundgedanke: Nutzern, die damit zufrieden sind, kann eine außergewöhnlich preisgünstige Hardware angeboten werden. Wer dann im Laufe der Zeit unzufrieden wird, muß eben mit Steckkarten „nachrüsten“.

Diesen Vorteilen stehen zwei Nachteile gegenüber:

1. wenn man auf dem Motherboard vorgesehene Funktionen nicht braucht, hat man dafür unnötigerweise Geld ausgegeben (manchmal fällt der Betrag kaum ins Gewicht, manchmal schon (betrifft Graphik, RAID, Gigabit Ethernet usw.)),
2. wenn man eine Funktion an sich braucht, die auf dem Motherboard vorgesehene Ausführung aber nicht ausreicht, wird es noch schlimmer: man hat ohnehin zuviel bezahlt und muß zudem noch eine Steckkarte anschaffen.

Steckkarte und eingebaute Hardware

Manchmal kann es Konflikte geben - vor allem dann, wenn es nicht um eine bloße Erweiterung geht (z. B. um zusätzliche Schnittstellen), sondern um ein Ersetzen des Vorhandenen (z. B. des eingebauten Graphikcontrollers durch eine - leistungsfähigere - Graphikkarte). Die eingebaute Funktion ist dann außer Betrieb zu setzen. Lösungen: (1) von Hand (Jumper, Einstellungen im BIOS-Setup), (2) automatisch innerhalb der Hardware (Beispiel: steckt im Slot eine Karte, so wird ein Anwesenheits-Signal aktiv, das die eingebaute Hardware abschaltet), (3) automatisch im Rahmen der Plug&Play-Funktionen.

Beispiel: Three Load AGP (siehe auch Abschnitt 4.4.4). An das AGP-Interface sind zwei Graphikcontroller angeschlossen, einer direkt auf dem Motherboard und einer auf einer Graphikkarte^{*)}. Einer von beiden muß stets außer Betrieb gesetzt sein. (Typischerweise wird der Graphikcontroller auf dem Motherboard abgeschaltet, wenn eine Karte im AGP-Slot steckt.)

*) : der 3. AGP-Anschluß (*Three Load*...) ist der Steuerschaltkreis.

1.5. Das BIOS

BIOS = Basic Input/Output System = Basissystem zu Ein- und Ausgabezwecken. Dies ist die elementare Software-Ausstattung, die jedem PC gleichsam unverlierbar beigegeben ist. Unter dem Begriff BIOS werden Programmfunktionen zusammengefaßt, die verschiedene Aufgaben haben und auf verschiedene Weise genutzt werden:

- der Anfangstest (Power On Self Test POST). Wird stets nach dem Einschalten durchlaufen und prüft die Hardware (meist aber nicht allzu gründlich).
- die programmseitig änderbaren Einstellungen der Hardware (BIOS Setup). Diese können nach dem Einschalten beeinflußt werden (Bildschirmbedienung). Die Einstellungen werden auch bei ausgeschaltetem PC gehalten (im CMOS-RAM, der aus einer Batterie gespeist wird).
- die elementare Konfigurationssoftware (in PCs etwa ab Baujahr 1994/95). Fragt die installierte Hardware ab und stellt der nachfolgend zu ladenden Systemsoftware eine „zugriffsfertige“ Hardware bereit. Stichwort: Plug and Play (Kapitel 4).
- das anfängliche Laden der Software von einem Datenträger (sprich: Buhtn),
- die elementaren Steuerfunktionen der Peripherie (werden von der Systemsoftware aufgerufen),
- die elementaren Funktionen der Systemverwaltung und der Stromsparsteuerung.

Hinweis:

Steckkarten können ihr eigenes BIOS mitbringen. Solche Karten enthalten Festwertspeicher, deren Inhalt das BIOS des Motherboards entsprechend ergänzt.

1.6. Hochintegrierte Motherboard-Schaltkreise (Chipsets)

1.6.1. Zur Entwicklungsgeschichte

Der AT von 1984 wurde noch mit „von der Stange“ gekauften Schaltkreisen aufgebaut. Diese Tatsache hat wesentlich zum raschen Aufkommen kompatibler Nachbauten (der AT-Clones) beigetragen. Damit entstand eine gleichsam massenhafte Nachfrage nach entsprechenden Funktionen. Das wiederum war Anlaß für die Halbleiter-Hersteller, spezielle hochintegrierte Schaltkreise (Motherboard Chipsets) herauszubringen. Heutzutage baut man einen PC nicht mehr aus „Wald-und-Wiesen“-Schaltkreisen auf. Vielmehr sind alle Funktionen, die einen „kompatiblen“ bzw. WINTTEL-PC kennzeichnen, in hochintegrierten Schaltkreisen verfügbar. Ein Motherboard erfordert neben Prozessor und Speicher meist nur noch 2 oder 3 hochintegrierte Schaltkreise. Gelegentlich kommt man sogar mit einem einzigen Schaltkreis aus.

Motherboard-Schaltkreissätze werden von verschiedenen Herstellern angeboten. Hierbei kann es durchaus vorkommen, daß ein Hersteller Schaltkreise eines anderen in Lizenz fertigt. Zumeist versucht man aber, sich durch gewisse Besonderheiten (Alleinstellungsmerkmale) voneinander zu unterscheiden. Da man sich wirkliche funktionelle Extravaganzen praktisch nicht leisten kann (Kompatibilität!), betreffen diese vor allem:

- das Marktsegment (Kostenoptimierung in Hinsicht auf bestimmte PC-Preisklassen),
- die interne Flexibilität (vor allem in Hinsicht auf den Arbeitsspeicher - so kann man an manche Schaltkreise eine Vielfalt von Speichermoduln anschließen, andere hingegen gestehen nur wenige Wahlmöglichkeiten zu),
- das „rohe“ Leistungsvermögen (z. B. hinsichtlich der Taktfrequenz des Arbeitsspeicher-Interfaces (z. B. 100 MHz, 133 MHz, 200 MHz), der Geschwindigkeit des AGP-Interfaces (2X, 4X, 8X), der Geschwindigkeit und Zugriffsbreite des PCI-Bus (33 oder 66 MHz, 32 oder 64 Bits) usw.),
- Feinheiten der Arbeitsspeichersteuerung (Anzahl der Zugriffswege, Fehlerkorrektur, optimierte Zugriffsabläufe, Unterstützung bestimmter Speichermodultypen),
- die Eignung zum Aufbau von Multiprozessorkonfigurationen,
- die Systemverwaltungsvorkehrungen.

Moderne Motherboard-Schaltkreise sind typischerweise Kombinationsschaltkreise, in denen jeweils mehrere Funktionen vereinigt sind (Brücken zwischen den einzelnen Bussystemen, Interfacecontroller, periphere Einrichtungen). In der Vergangenheit hat man die Motherboard-Funktionen deshalb auf mehrere Schaltkreise aufteilen müssen, weil die Halbleitertechnologie es einfach nicht besser konnte. Derzeit ist die Aufteilung hingegen eine Kosten- und Marketingfrage (extrem große Schaltkreise erfordern teure Gehäuse und ergeben eine schlechtere Ausbeute in der Fertigung). Bei der Aufteilung der Funktionen auf die einzelnen Schaltkreise des Schaltkreissatzes gibt es sowohl in der Entwicklungsgeschichte als auch zwischen den Herstellern vielfältige Unterschiede. Grundsätzlich haben sich aber auch hier gewisse Gepflogenheiten als „Industriestandards“ durchgesetzt.

1.6.2. Plattform-Organisation (1): das Brückenprinzip

Verschiedenartige Bussysteme müssen grundsätzlich über Brücken (vgl. Abbildung 1.5) miteinander verbunden werden. Diese Brücken ermöglichen es, die Steuerschaltkreise über ohnehin erforderliche standardisierte Schnittstellen gleichsam hintereinanderschalten (Ersparnis an Schaltkreisanschlüssen). So wird beispielsweise der PCI-Bus doppelt ausgenutzt: (1) als Erweiterungsbuss (Slot-Bus) sowie (2) als Schnittstelle zum ISA-Bus und zur Plattform-Peripherie (Abbildung 1.37).

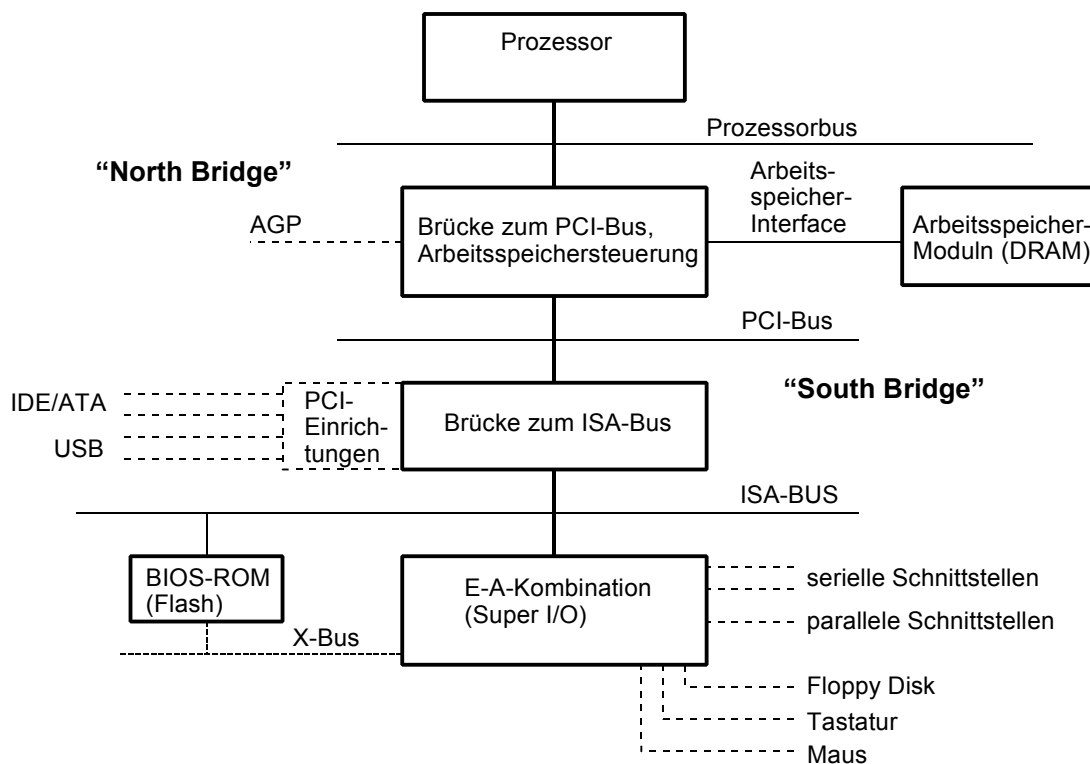


Abbildung 1.37 Anordnung von Motherboard-Schaltkreisen nach dem Brückenprinzip

Erklärung:

Es handelt sich um eine - der Übersichtlichkeit wegen - stark vereinfachte Darstellung des Schemas, das wir aus den Abbildungen 1.26 und 1.27 kennen. Ersichtlich ist die Abstufung der Bussysteme: Prozessorbus - PCI-Bus - ISA-Bus - Plattform-Peripherie, wobei die Zugriffe vom Prozessor aus gleichsam nach unten weitergereicht werden. Diesem Schema entspricht eine Aufteilung auf 3 Schaltkreise: North Bridge - South Bridge - Super I/O.

North Bridge und South Bridge

Diese Bezeichnungen gehen auf Intel zurück. Sie erklären sich aus dem Vergleich des Schemas von Abbildung 1.37 mit einer Landkarte, bei der „oben = Norden“ gilt. Also: die North Bridge (sprich: Norrs Bidsch) ist der Schaltkreis, der den Prozessorbus und den PCI-Bus miteinander verbindet. Sinngemäß verbindet die South Bridge (sprich: Sauss Bidsch) den PCI-Bus mit dem ISA-Bus.

Hinweis:

Auch gänzlich andere Systeme sind nach dem Brückenprinzip ausgelegt (vgl. Abbildung 1.36: hier entspricht Schaltkreis 3 der North Bridge und Schaltkreis 4 der South Bridge - dazu die Seite ggf. um 90° drehen...).

Zugriffsbeispiel (1): vom Prozessor zum Diskettenlaufwerk

Der Prozessor greift über den über den Prozessorbus auf die North Bridge zu. Diese veranlaßt über den PCI-Bus einen Zugriff auf die South Bridge, die ihrerseits einen ISA-Zugriff ausführt. Hierdurch wird der Disketten-Controller im Super-IO-Schaltkreis angesprochen. Arbeitsspeicher-Interface und AGP sind an diesem Zugriff nicht beteiligt.

Zugriffsbeispiel (2): vom Prozessor zum BIOS-ROM

Der Ablauf entspricht dem Zugriffsbeispiel 1, nur handelt es sich um einen Speicher- und nicht um einen E-A-Zugriff. Der ISA-Zugriff betrifft direkt den ROM-Schaltkreis.

Wir merken uns:

Bei der herkömmlichen Brücken-Struktur laufen Zugriffe zur elementaren Peripherie über drei Bussysteme und zwei Brücken. Das betrifft vor allem den BIOS-ROM (aus dem der Prozessor nach dem Einschalten die ersten Maschinenbefehle liest). Die Konsequenzen:

- damit überhaupt etwas losgeht (nämlich die Programmausführung im Prozessor), muß ziemlich viel Hardware funktionsfähig sein,
- es ist möglich, die ROM- und E-A-Zugriffe am PCI-Bus und am ISA-Bus zu beobachten (mit entsprechenden Prüfmitteln).

1.6.3. Plattform-Organisation (2): das Verteilerprinzip

Das Brückenprinzip hat zwei wesentliche Nachteile:

1. die Geschwindigkeit der Datentransporte wird letztlich durch die Bussysteme mit ihren standardisierten Taktfrequenzen und Signalspielen begrenzt (Beispiele: PCI-Bus: ca. 133 MBytes/s, ISA-Bus: ca. 8 MBytes/s),
2. da die Bussysteme auch zum bloßen Weiterreichen von Zugriffen ausgenutzt werden, wird den Einrichtungen an den dazwischenliegenden Bussystemen gleichsam Datenrate entzogen. Wenn beispielsweise in der Anordnung von Abbildung 1.37 Datenübertragungsvorgänge zwischen Arbeitsspeicher und ISA-Bus stattfinden, so belasten diese zwangsläufig auch den PCI-Bus.

Deshalb bevorzugt man neuerdings Punkt-zu-Punkt-Verbindungen (Abbildung 1.38)*. Hierbei handelt es sich um „Privatinterfaces“, die nur zu diesem Zweck verwendet werden - die Schaltkreishersteller können also tief in die Trickkiste greifen und die einzelnen Interfaces entsprechend optimieren.

*) das ist keine allgemeine Regel - gelegentlich bleibt man auch beim Brückenprinzip (vgl. Abbildung 1.34 sowie Abschnitt 1.7.3).

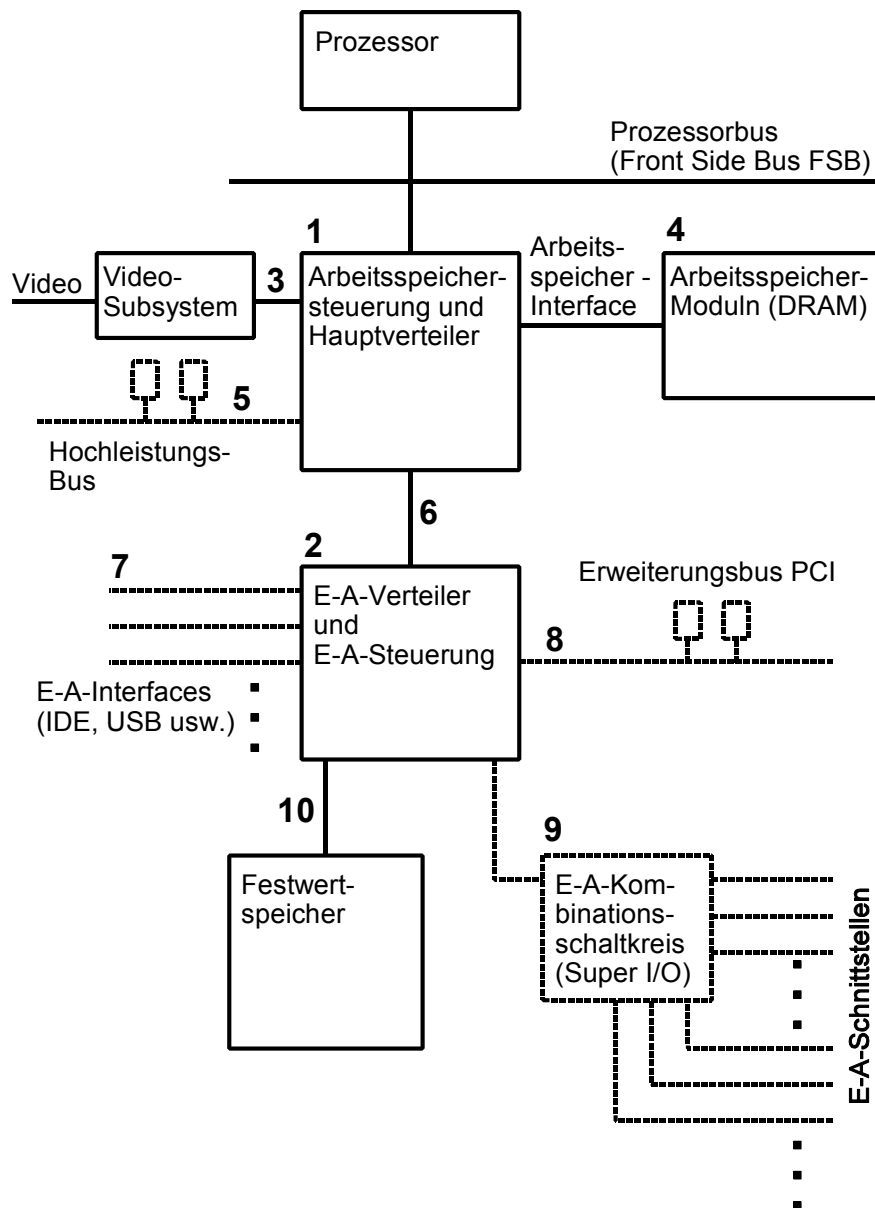


Abbildung 1.38 Anordnung von Motherboard-Schaltkreisen nach dem Verteilerprinzip

Erklärung:

Das Schema kennen wir bereits aus den Abbildungen 1.29 und 1.30. Standardisierte Bussysteme und Interfaces (z. B. PCI und AGP) dienen nur noch zum Anschließen von Peripherie; die einzelnen Motherboard-Schaltkreise sind über spezielle Punkt-zu-Punkt-Interfaces untereinander verbunden.

- 1) im Hauptverteiler sind alle Hochleistungsinterfaces zusammengeführt. Datenraten: von mehreren hundert MBytes/s bis zu mehreren GBytes/s. Moderne Schaltkreise können mehrere unabhängige Datenströme gleichzeitig unterhalten (vom Arbeitsspeicher zum Video-Subsystem, vom Hochleistungsbus zum Arbeitsspeicher, vom Prozessor zum E-A-Verteiler usw.).

- 2) der nachgeschaltete E-A-Verteiler bedient alle Interfaces, die eine vergleichsweise geringe Datenrate haben (die Obergrenze liegt typischerweise bei ca. 133 MBytes/s (entsprechend dem „gewöhnlichen“ PCI-Bus)),
- 3) typische Auslegungen: als eingebautes Videosubsystem (vgl. Abbildung 1.29) oder als AGP-Schnittstelle (vgl. Abbildung 1.30),
- 4) typische Schnittstellen: SDRAM, Direct Rambus (RDRAM), DDR-SDRAM,
- 5) bei Bedarf. Beispielsweise als PCI (66 MHz/64 Bits), als PCI-X oder auch als eine der neumodischen Schnittstellen, wie PCI Express oder HyperTransport.
- 6) Privatinterface,
- 7) die Steuerschaltungen der PC-typischen Interfaces (IDE/ATA, USB usw.) werden typischerweise in den E-A-Verteilerschaltkreis eingebaut,
- 8) bei Bedarf. Der Bus steht den angeschlossenen Einrichtungen voll und ganz zur Verfügung; es werden keine Buszyklen gleichsam abgezweigt, nur um Zugriffe weiterzureichen.
- 9) ein solcher Schaltkreis wird bei Bedarf z. B. vorgesehen, um Schnittstellen und Funktionen der herkömmlichen „Kleinperipherie“ bereitzustellen (Realzeituhr, Tastaturcontroller, Floppy-Disk-Controller, parallele und serielle Schnittstellen usw.). Anschluß: vorzugsweise über LPC-Interface (Abschnitt 4.2.5).
- 10) vorzugsweise ein Privatinterface (bei Intel: ähnlich LPC). Der Festwertspeicher-Schaltkreis enthält typischerweise weitere Funktionen (vgl. die Erläuterungen zum Firmware Hub auf Seite 41).

Zugriffsbeispiel (1): vom Prozessor zum Diskettenlaufwerk

Der Prozessor greift über den über den Prozessorbus auf den Hauptverteiler 1 zu (wir beziehen uns auf Abbildung 1.37). Dieser veranlaßt über das Privatinterface 6 den E-A-Verteiler 2 dazu, einen LPC-Zugriff zum Super-IO-Schaltkreis 9 auszuführen. Hierdurch wird der eingebaute Disketten-Controller angesprochen. Arbeitsspeicher-Interface, AGP und PCI sind an diesem Zugriff nicht beteiligt.

Zugriffsbeispiel (2): vom Prozessor zum BIOS-ROM

Der Ablauf entspricht weitgehend dem Zugriffsbeispiel 1, nur handelt es sich um einen Speicher- und nicht um einen E-A-Zugriff. Der E-A-Verteiler 2 veranlaßt über das LPC-ähnliche Interface 10 einen Zugriff zum Festwertspeicher (im Firmware Hub FWH).

Wir merken uns:

Bei der typischen Verteiler-Struktur laufen Zugriffe zur elementaren Peripherie über drei verschiedene Interfaces (unter Einschluß des Prozessorbus) und zwei Verteiler. Das betrifft vor allem den BIOS-ROM (aus dem der Prozessor nach dem Einschalten die ersten Maschinenbefehl liest). Die Konsequenzen:

- damit überhaupt etwas losgeht (nämlich die Programmausführung im Prozessor), muß ziemlich viel Hardware funktionsfähig sein (praktisch ebenso viel wie bei der Brückenstruktur),
- es ist unmöglich, die Zugriffe an standardisierten Bussystemen (z. B. am PCI-Bus) zu beobachten.

Typische Schaltkreisbezeichnungen nach Intel:

- MCH = Arbeitsspeichersteuerung und Hauptverteiler (Memory Controller Hub),
- GMCH = Arbeitsspeichersteuerung und Hauptverteiler mit eingebautem Graphikcontroller (Graphics and Memory Controller Hub),
- ICH = E-A-Verteiler und E-A-Steuerung (I/O Controller Hub),
- FWH = BIOS ROM mit Zusätzen und Sonderinterface (Firmware Hub)

Ausführungsbeispiele von Privatinterfaces

Wir beziehen uns auf die Hub Interfaces gemäß Abbildung 1.32, Abbildung 1.39 und Tabelle 1.2 geben einen Überblick über die Auslegung beider Interfaces.

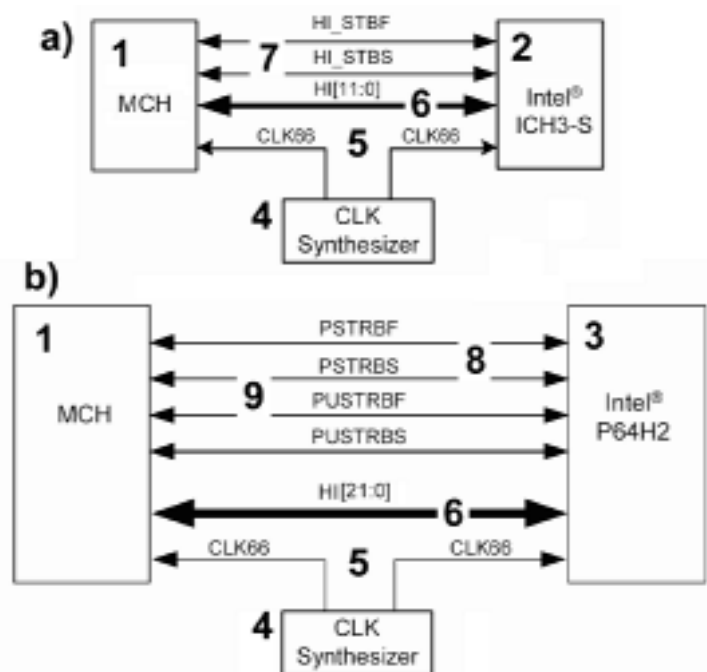


Abbildung 1.39 Privatinterfaces zwischen Verteilerschaltkreisen (nach: Intel)

Erklärung:

1 - Hauptverteiler; 2 - E-A-Verteiler; 3 - PCI-X-Brücke; 4 - zentrale Takterzeugung; 5 - Grundtakt 66 MHz; 6 - Daten- und Zusatzsignalleitungen; 7, 8, 9 - Strobepaare. 1 Strobe-Paar = 2 jeweils entgegengesetzt belegte Signalleitungen (differenzielle Signalübertragung). Die Strobe-Leitungen werden von der jeweils sendenden Einrichtung mit Taktimpulsen belegt.

- a) Interface HI 1.5 (auch: HI_A). Zum Anschließen von E-A-Verteilern. 1 Datenbyte + 4 Zusatzbits. Strobe-Takt = $2 \cdot 66 \text{ MHz}$ (Taktverdopplung). Datenübertragung mit beiden Strobe-Signalwechseln (doppelte Datenrate). Zeitraster der Datenübertragung also $2 \cdot 2 \cdot 66 \text{ MHz} = 266 \text{ MHz}$ (4X). Maximale Datenrate: $1 \text{ Byte} \cdot 2 \text{ Strobe-Signalwechsel} \cdot 2 \cdot 66 \text{ MHz} \triangleq 266 \text{ MBytes/s}^*$. Das entspricht der doppelten Datenrate des am E-A-Verteiler angeschlossenen herkömmlichen PCI-Bus (32 Bits, 33 MHz).
Hinweis: Die „überschüssige“ Datenrate kommt den anderen Einrichtungen zugute (IDE/ATA, LAN, USB).

b) Interface HI 2.0 (auch: HI_B, _C usw.). Zum Anschließen von PCI-X-Brücken. 2 Datenbytes + 6 Zusatzbits. Strobe-Takt = $4 \cdot 66 \text{ MHz}$ (Taktvervierfachung). Datenübertragung mit beiden Strobe-Signalwechslern (doppelte Datenrate). Zeitraster der Datenübertragung also $2 \cdot 4 \cdot 66 \text{ MHz} = 533 \text{ MHz}$ (8X). Das Strobe-Signalpaar 8 betrifft das niederwertige Byte, das Strobe-Signalpaar 9 das höherwertige. Maximale Datenrate: $2 \text{ Bytes} \cdot 2 \text{ Strobe-Signalwechsel} \cdot 4 \cdot 66 \text{ MHz} \triangleq 1,066 \text{ GBytes/s}$. Das entspricht der maximalen Datenrate eines PCI-X-Bus (64 Bits, 133 MHz). *Hinweis:* Der PCI-X-Bus kann nur dann mit 133 MHz betrieben werden, wenn lediglich ein einziger Slot vorgesehen ist (bei 2 Slots: max. 100 MHz, bei 4 Slots max. 66 MHz). Werden beide Busschnittstellen der Brücke mit 133 MHz betrieben, so gibt es ein Problem, wenn die beiden gleichzeitig arbeiten. Intel spricht in diesem Zusammenhang von einem fairen Vermittlungsverfahren. Im Serverbereich ist aber eher mit 66 MHz zu rechnen, da man für die Netzwerkanschlüsse zumeist mehr als nur einen Slot je Bus braucht.

*) : $2 \cdot 66$ ist doch 132? Nicht wundern - das Auf- und Abrunden ist in der Branche üblich (der fachliche Hintergrund: es sind nicht genau 66 MHz, sondern eigentlich 66,666...). Aus dem gleichen Grunde ergeben sich bei Vervierfachung 266 MHz, bei Verachtfachung 533 MHz usw.

Interface	angeschlossen ist	Datenweg	Signalleitungen	maximale Datenrate
HI 1.5	E-A-Verteiler (I/O Controller Hub ICH)	8 Bits	12 + 1 Strobe-Paar	$1 \text{ Byte} \cdot 2 \cdot 2 \cdot 66 \text{ MHz} \triangleq 266 \text{ MBytes/s}$
HI 2.0	PCI-X-Brücke (P64H2)	16 Bits	22 + 2 Strobe-Paare	$2 \text{ Bytes} \cdot 2 \cdot 4 \cdot 66 \text{ MHz} \triangleq 1,066 \text{ GBytes/s}$

Tabelle 1.2 Zur Auslegung der Privatinterfaces

1.6.4. Steuerschaltungen im Prozessor

Nach welchen Gesichtspunkten werden die Funktionen auf die Schaltkreise aufgeteilt?

Die Aufteilung wurde zunächst von den Möglichkeiten der Technologie bestimmt (Integrationsgrad, Größe der Gehäuse, Anzahl der Anschlüsse). Es war unmöglich, alles in einem Schaltkreis unterzubringen. Bei der Aufteilung lag es nahe, sich an den ohnehin vorzusehenden standardisierten Schnittstellen zu orientieren. So ist die herkömmliche Brücken-Struktur (vgl. Abbildung 1.37) zustande gekommen. Mittlerweile ist die Technologie so leistungsfähig, daß weitgehend beliebige „Abmischungen“ von Funktionen in einem Schaltkreis untergebracht werden können. Abbildung 1.40 zeigt ein Beispiel. Ein weiteres finden Sie in Kapitel 2 (Abbildung 2.20).

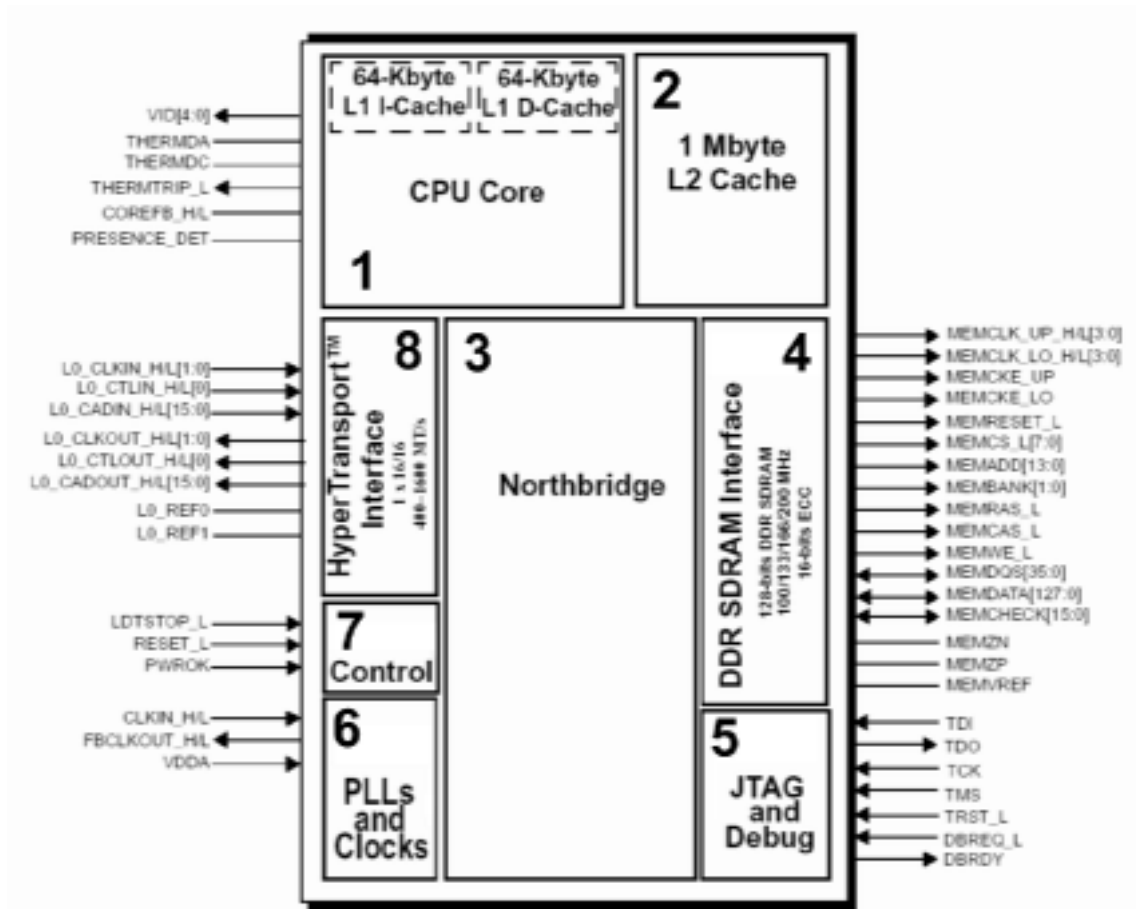


Abbildung 1.40 Es geht auch anders... Die Struktur des Athlon64 FX (AMD)

Erklärung:

Der Prozessorschaltkreis enthält die North Bridge und die Arbeitsspeichersteuerung. Zur Verbindung mit dem E-A-Verteiler und anderen Schaltkreisen dient die HyperTransport-Schnittstelle, ein neuartiges Hochleistungsinterface. 1 - der eigentliche Prozessor; 2 - der L2-Cache; 3 - der Hauptverteiler (hier traditionell als North Bridge bezeichnet); 4 - Arbeitsspeichersteuerung (für DDR-Moduln; Zugriffsbreite 128 Daten- + 16 ECC-Bits); 5 - Prüf- und Fehlersuchschnittstelle; 6 - Takterzeugung; 7 - allgemeine Steuerung; 8 - HyperTransport-Schnittstelle.

Wodurch wird die Funktionsaufteilung letzten Endes bestimmt?

- durch die Fertigungskosten. Gehäuse mit über 1 000 Anschlüssen, Schaltkreise mit über 50 Millionen Transistoren usw. lassen sich zwar herstellen, sind aber in der Fertigung nach wie vor teuer. Ein einziger Transistor nicht funktionsfähig - und der gesamte Schaltkreis ist Ausschuß...
- durch die Prüfkosten. Je komplizierter ein Schaltkreis, desto schwieriger ist er auf Funktionsfähigkeit zu prüfen.

- durch die Anforderungen des Marktes und der Produkthaftung. Die Kunden (das betrifft sowohl die PC-Hersteller als auch all jene, die es vorziehen, sich ihren Computer selbst zusammenzustellen) möchten die Wahl haben; sie legen Wert darauf, die einzelnen Funktionseinheiten freizügig kombinieren zu können. Das ist nicht nur eine Frage der schöpferischen Freiheit, sondern oft auch eine Geldfrage - es ist offensichtlich ein Unterschied, ob man Motherboard, Prozessor, Speicher usw. einzeln kaufen und austauschen kann oder ob all diese Funktionseinheiten ein einziges Aggregat bilden, das stets auf einmal angeschafft oder ersetzt werden muß. Das gilt nicht nur für den Anwender, sondern auch für den Lieferanten (Garantieleistungen). Deshalb sind die Hersteller u. a. gezwungen, für ihre Prozessoren Steckfassungen vorzusehen, obwohl es aus funktioneller Sicht viel besser wäre, den Prozessor-Chip gleich auf das Motherboard zu löten.

1.6.5. Motherboard-Schaltkreise im Bild

Die Abbildungen 1.41 bis 1.44 veranschaulichen Motherboard-Schaltkreise anhand von Beispielen.

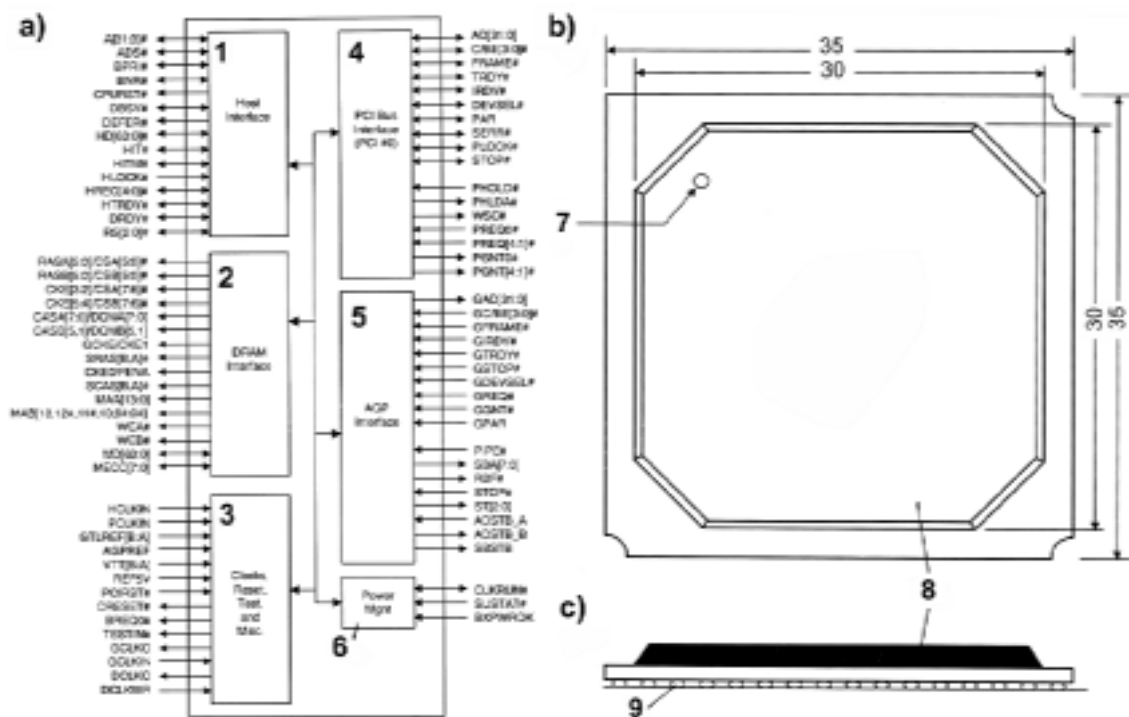


Abbildung 1.41 Eine herkömmliche North Bridge: der 82443BX Host Bridge/AGP Controller (Intel)

Erklärung:

a) - Blockschaubild; b) - Draufsicht; c) - Seitenansicht. 1 - Prozessorinterface; 2 - Arbeitsspeicher-Interface (unterstützt sowohl EDO- als auch SDRAM-Speichermodul); 3 - Takt, Rücksetzen usw.; 4 - PCI-Bus; 5 - AGP-Interface; 6 - Stromsparsteuerung (Power Management). Das Blockschaubild sieht recht harmlos aus; die einzelnen Interfaces haben aber teils 64, teils 32 Datensignale - und sie werden mit Taktfrequenzen von 33, 66 und 100 MHz

betrieben. 7 - Lagekennzeichnung; 8 - Abdeckung aus Metall; 9 - Kontakte. Anhand der Gehäuseform und -größe wird ersichtlich, daß es sich um einen nicht gerade einfachen Schaltkreis handelt. Das Gehäuse hat 492 Anschlüsse, die in Gitterform angeordnet sind. Fachbegriff für diese Gehäusebauart: BGA = Ball Grid Array. Die Kontakte sind nahezu kugelförmig und werden mit den Leiterzügen des Motherboards direkt - ohne Bohrungen - verlötet (Oberflächenmontage).

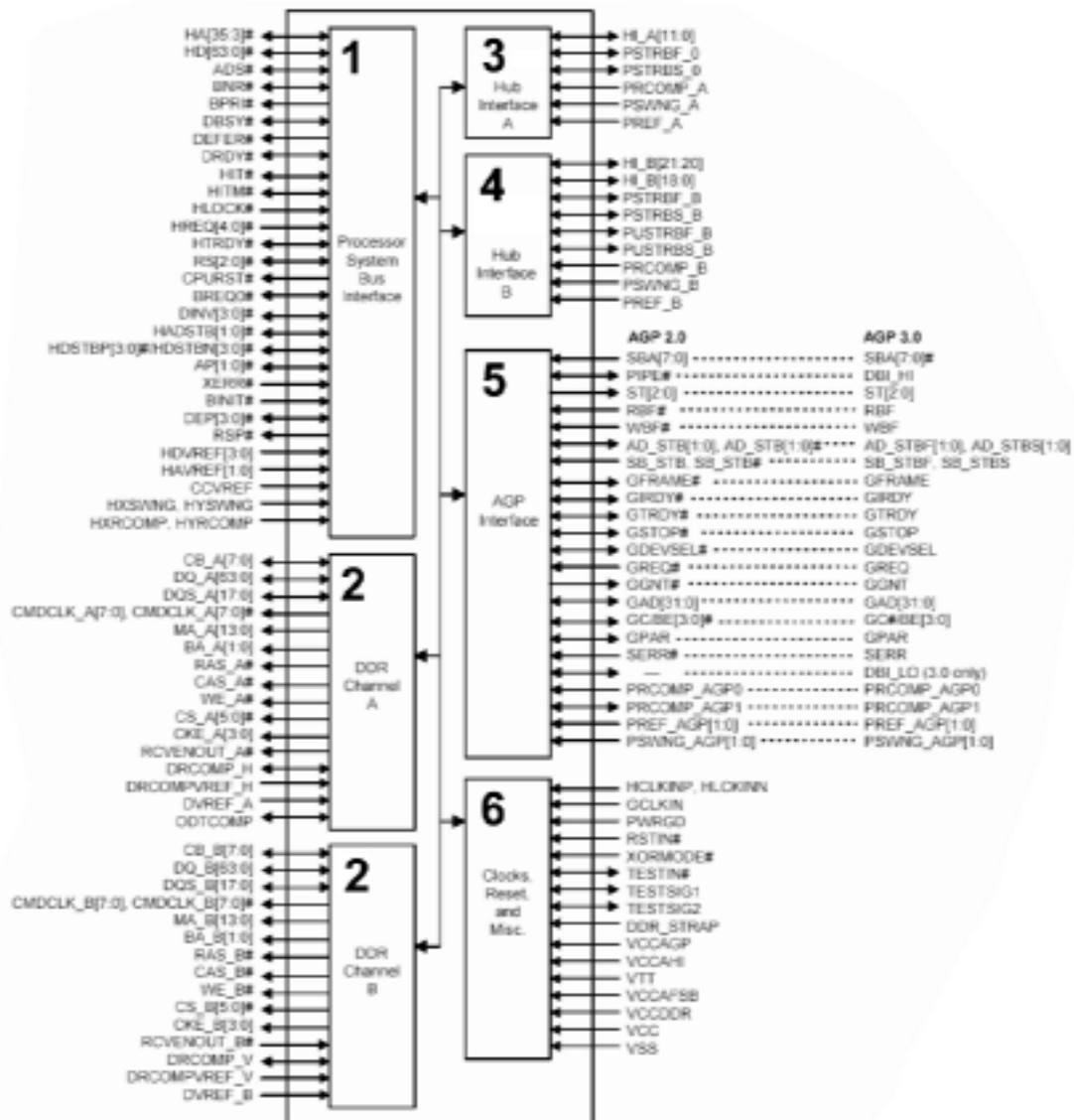


Abbildung 1.42 Ein Verteilerschaltkreis im Blockschaltbild (Intel). Hier: der E7505 MCH

Erklärung:

Der Schaltkreis dient als Hauptverteiler und Speichersteuerung in Xeon-Systemen (vgl. die Abbildungen 1.20 und 1.32). 1 - Prozessorinterface; 2 - Arbeitsspeicher-Interfaces (zwei DDR-DRAM-Kanäle); 3 - Privatinterface zum E-A-Verteiler; 4 - Privatinterface zur PCI-X-Brücke; 5 - AGP-Schnittstelle; 6 - Takt, Rücksetzen usw. Der Schaltkreis befindet sich in einem Ball-Grid-Gehäuse mit 1005 Anschlüssen.

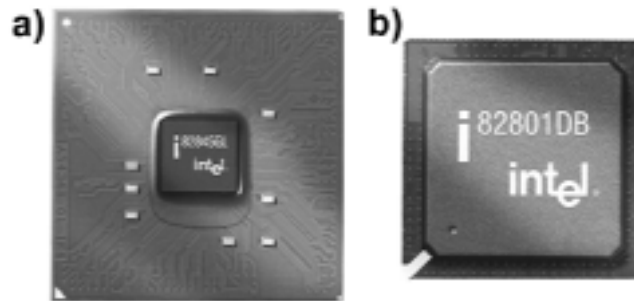


Abbildung 1.43 Verteilerschaltkreise: a) Hauptverteiler/Speichersteuerung (MCH) 82845; b) E-A-Verteiler (ICH) 828101 (Intel). Ein Schaltkreissatz für PCs des Massenmarktes (Mainstream PCs)

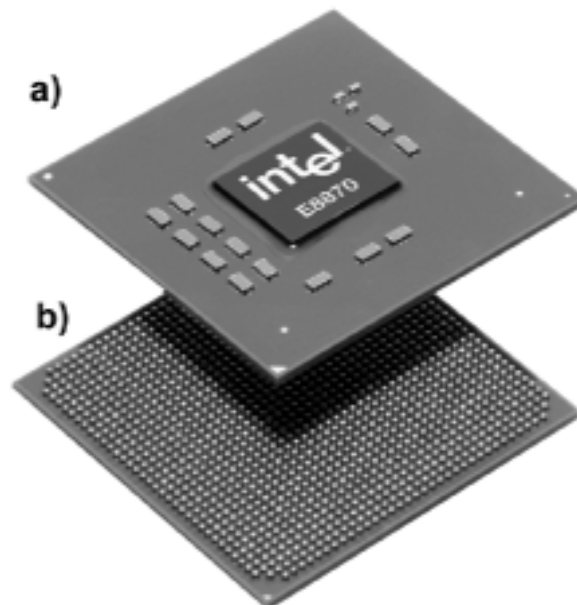


Abbildung 1.44 Der E8870 - ein Steuerschaltkreis für den Itanium 2 (Intel)

Erklärung:

a) - Draufsicht; b) - Ansicht von unten. Es handelt sich um eine Subsystemsteuerung für Itanium-2-Computer (Scalable Node Controller SNC; vgl. Abbildung 1.35). Das Ball-Grid-Gehäuse hat 1357 Anschlüsse.

Hinweise:

1. Moderne Steuerschaltkreise werden - wie die Prozessoren - nach dem sog. Flip-Chip-Prinzip verpackt. Das Gehäuse ist eine Art Mehrebenen-Leiterplatte, auf die der Schaltkreis mit der Oberseite nach unten (also umgedreht = flipped) direkt aufgelötet wird.
2. Steuerschaltkreise werden - im Gegensatz zu den typischen Prozessoren - auf dem Motherboard fest angeordnet.
3. Viele Steuerschaltkreise brauchen Kühlkörper, manche sogar Lüfter (vgl. die Abbildungen

1.15 und 1.17).

1.7. Anmerkungen zur Motherboard-Bauweise

1.7.1. Weshalb bevorzugt man die Motherboard-Bauweise?

Um zwei Vorteile zu vereinen: geringe Herstellungskosten und freizügige Erweiterbarkeit. Eine einzelne größere Leiterplatte, die alle Bauelemente eines elektronischen Gerätes enthält, ist offensichtlich billiger als eine Vielzahl kleinerer Leiterplatten, die untereinander verbunden und mit mehr oder weniger Aufwand befestigt werden müssen. Besteht ein Gerät oder System aus sehr vielen Bauelementen bzw. sind Sonderanforderungen (freizügige Erweiterbarkeit, Austausch von Funktionseinheiten während des Betriebs usw.) zu erfüllen, so wählt man eine recht aufwendige Bauweise: Die gesamte Elektronik wird auf Steckkarten untergebracht. Die Baugruppen, die die Steckkarten aufnehmen, enthalten nur die entsprechenden Steckverbinder und die elektrischen Verbindungen zwischen ihnen (die *Rückverdrahtung*), aber keinen einzigen Schaltkreis (die Rückverdrahtungs-Baugruppe wird deshalb „passiv“ genannt). Diese Steckkarten-Aufnahmen (Card Cages) sind zumeist als Einbaurahmen mit rückwärtigen Steckverbindern ausgeführt. Sie haben für jede Steckposition Gleitschienen, die die betreffende Steckkarte führen und in ihrer Lage halten. In modernen Systemen ist auch die Rückverdrahtung als Leiterplatte ausgebildet (Backplane). Als es möglich wurde, komplette Funktionseinheiten auf jeweils einer einzelnen Steckkarte unterzubringen, ist man dazu übergegangen, die Rückverdrahtung als Bus auszulegen. Als Beispiele aus der Entwicklungsgeschichte seien genannt: der Unibus der PDP-Computer von Digital Equipment (DEC), Multibus I und Multibus II (Intel), der VME-Bus und der Futurebus. Ein modernes Beispiel: CompactPCI (Abbildung 1.45).

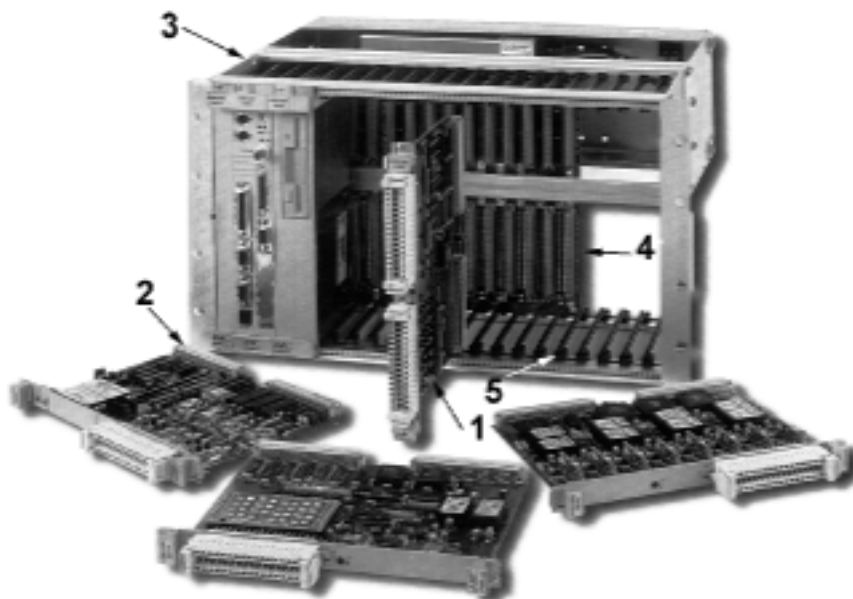


Abbildung 1.45 Systemaufbau mit „passiver“ Rückverdrahtungs-Leiterplatte (Backplane)

Erklärung:

1 - Steckkarte; 2 - indirekter Steckverbinder; 3 - Einbaurahmen (Card Cage); 4 - Rückverdrahtungsplatine (Backplane) mit Steckverbindern; 5 - Gleitschiene.

Im Gegensatz dazu wurden die ersten „persönlichen“ Computer des Massenmarktes zumeist auf einer einzigen Leiterplatte aufgebaut (Abbildung 1.46).

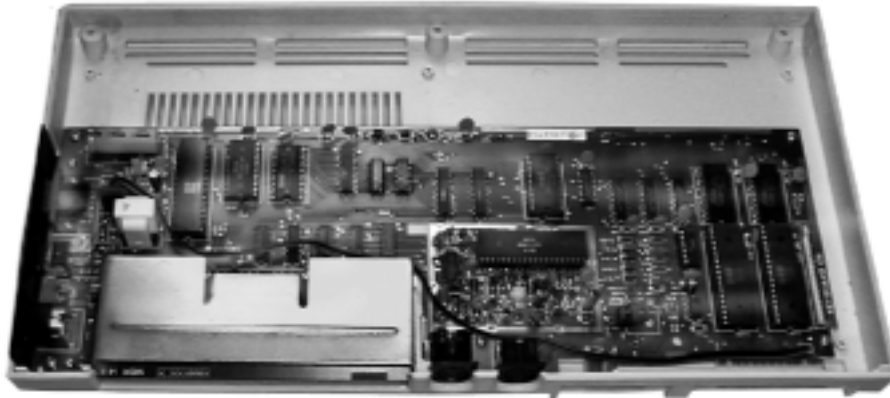


Abbildung 1.46 So einfach geht's auch: der Commodore VC 20 von innen. Der VC 20 ist der Vorgänger des legendären C64

Die ersten IBM-PCs waren nicht für den Massenmarkt, sondern für den „ernsthaften“ Einsatz bestimmt. Mit den seinerzeitigen Schaltkreisen ließ sich die hierfür erforderliche Hardware aber nicht auf einer einzigen Leiterplatte unterbringen. Zudem hatte man die Erweiterbarkeit (durch Steckkarten) von Anfang an als sinnvoll angesehen. Schließlich kam man zu der - sicherlich „künstlerisch inspirierten“ - Entscheidung, den PC als flache Blechkiste zu bauen, die man auf den Tisch stellen kann. Letzten Endes verfiel man darauf, die Hardware aufzuteilen: die Grundausstattung auf das Motherboard (Motto: soviel, wie freiwillig*) draufpaßt), den Rest auf Steckkarten. Und die wurden wegen der Vorgaben (Gestaltung des Gehäuses, geringe Kosten) eben so ausgelegt, wie wir sie heute kennen: „längliche“ Bauform mit direktem Steckverbinder unten und Anschlüssen an der Rückseite.

*) : soll heißen: unter den Bedingungen der wirtschaftlichen Fertigung. IBM gehört zu jenen Firmen, die so entwickeln, daß sich möglichst viele Fertigungsvorgänge automatisieren lassen (mit Bestückungsautomaten, Montagerobotern usw.).

Solche Entscheidungen sind typischerweise Geschmackssache. Nicht selten werden sie von geradezu banalen Gegebenheiten im Unternehmen bestimmt (z. B. von vorhandenen Betriebsmitteln (Werkzeugen, Prüfeinrichtungen, Transportmitteln usw.), von der Bevorzugung bestimmter Zulieferer, von bestehenden Lieferverträgen oder von bereits angearbeiteten Entwicklungen, die weitergenutzt werden sollen - der PC stammt in direkter Linie von einem kleinen Datenerfassungssystem ab, das 1980 begonnen wurde, dem System 23 Data Master. Die mechanische Auslegung (flache Kiste mit daraufgestelltem Bildschirm) gab es bereits bei einem anderen IBM-Gerät, dem Textverarbeitungssystem Displaywriter (1980). Andere haben es manchmal anders gemacht (vgl. beispielsweise den ersten Macintosh der Fa. Apple).

Ein weiterer wichtiger Vorteil der großen Leiterplatte (Motherboard-Bauweise): Steckverbinder sind Schnittstellen, die den Entwickler dazu zwingen, Vorgaben (Standards) einzuhalten; auf einer einzigen Leiterplatte hat er hingegen weitgehende Narrenfreiheit. Zudem sind Steckverbinder aus Sicht der Elektrotechnik „Störstellen“, die - kurz gesagt - bremsend wirken. Mit anderen Worten: einen ausschließlich zwischen Schaltkreisen auf einer Leiterplatte geführten Signalweg kann man mit höheren Datenraten betreiben als einen an Slots geführten Bus. Infolge der typischen Bauweise können somit Motherboard-Hersteller das Leistungsvermögen moderner Schaltkreise viel schneller zum Massenmarkt „durchreichen“ als dies möglich wäre, hätte sich eine konservative Bauweise ähnlich Abbildung 1.45 als Industriestandard durchgesetzt (Beispiele: (1) die Erhöhung der Taktfrequenz des Prozessor-Interfaces von 66 MHz auf 100 MHz und weit mehr, (2) das AGP-Interface, (3) moderne Arbeitsspeicher-Interfaces (Direct Rambus, DDR-SDRAM). Es ist deshalb damit zu rechnen, daß auch in der nächsten Zukunft diese Bauweise vorherrschend bleiben wird, allerdings bei Modernisierung der Bauformen bzw. Formfaktoren.

1.7.2. Formfaktoren und E-A-Anschlüsse

Die meisten Motherboards entsprechen gewissen Standards. Diese Standards räumen aber dem Entwickler ziemlich viel Narrenfreiheit ein. Das betrifft auch die Art und die Anordnung der E-A-Anschlüsse.

Die E-A-Anschlüsse der herkömmlichen PCs (AT-Formfaktoren)

Fest auf dem Motherboard befindet sich nur der Tastaturanschluß. Alle anderen Anschlüsse sind teils an in Slot-Abdeckblechen, teils im Gehäuse befestigt. Sie müssen über Flachbandkabel mit dem Motherboard verbunden werden (Abbildung 1.47).

Die E-A-Anschlüsse der modernen PCs (ATX-Formfaktoren)

Es gibt mehrere Möglichkeiten der Anordnung:

- im E-A-Anschlußblock. Die Steckverbinder der typischen Schnittstellen sind auf dem Motherboard angeordnet und in einem E-A-Anschlußblock zusammengefaßt. Hierfür gibt es eine standardisierte Blende, die die Steckverbinderanordnung verkleidet. Sie paßt in einen entsprechenden Ausschnitt des Gehäuses. Wie dieser Bereich (I/O Connector Area) mit Steckverbindern belegt wird, ist dem Motherboard-Hersteller überlassen. Die Auswahl richtet sich nach den jeweils vorgesehenen Interfaces (Abbildung 1.48).
- in Slot-Abdeckblechen (Brackets) auf der Rückseite. Die Anschlüsse werden über Kabel mit dem Motherboard verbunden (Abbildung 1.49).
- in Slot-Abdeckblechen von speziellen Interfacekarten (Riser Cards). Näheres in Abschnitt 1.7.4.
- in Slot-Abdeckblechen „gewöhnlicher“ Steckkarten,
- an an der Vorderseite des PCs. Eine etwas neuere Mode, die vor allem USB, Firewire, Infrarotschnittstellen und Multimedia-Anschlüsse (Audio, Video) betrifft. Die Zubehörindustrie bietet hierfür Bastellösungen an, nämlich Einschübe für Laufwerksschächte, die über Kabel mit den herkömmlichen Steckverbindern auf der PC-Rückseite oder auf dem Motherboard verbunden werden. Aber auch die Gehäusehersteller haben sich dieses Problems angenommen (Abbildung 1.50).

Wer liefert was?

Die Slot-Abdeckbleche (Brackets) mit Steckverbindern und Kabeln gehören typischerweise zum Motherboard, die frontseitigen Anschlüsse (einschließlich der zugehörigen Kabel) hingegen zum Gehäuse (das betrifft auch die Netztaste, die Rücksetztaste, den Lautsprecher und die Leuchtdioden).



Abbildung 1.47 Interfacianschlüsse in herkömmlichen PCs. 1 - Slot-Abdeckblech mit Interface-Steckverbindern; 2 - Flachbandkabel zum Motherboard

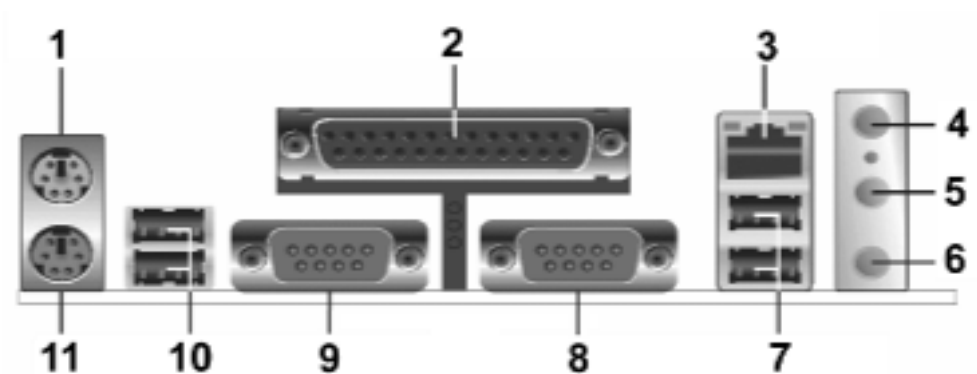
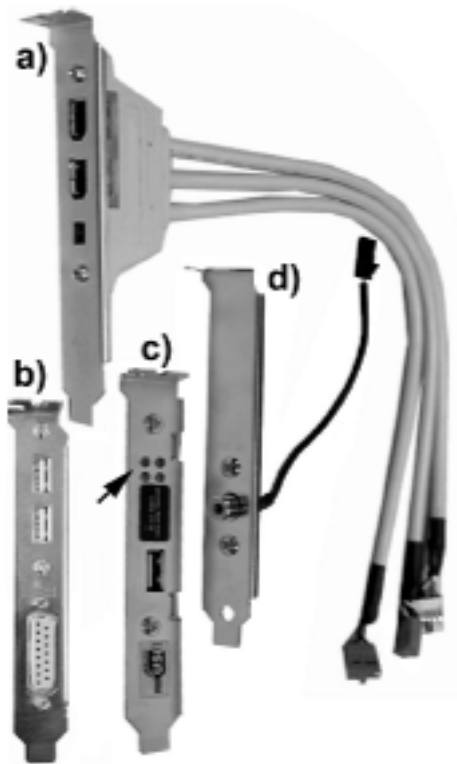


Abbildung 1.48 Ein E-A-Anschlußblock

Erklärung:

1 - Maus; 2 - parallele Schnittstelle; 3 - Netzwerk (LAN); 4 - Audioeingang; 5 - Audioausgang (zum Lautsprecher); 6 - Mikrophon; 7 - zweimal USB; 8 - zweite serielle Schnittstelle (COM2); 9 - erste serielle Schnittstelle (COM1); 10 - zweimal USB; 11 - Tastatur.



Erklärung:

- a) - dreimal Firewire;
- b) - Game Port + zweimal USB;
- c) - USB + Leuchtanzeigen zu Diagnosezwecken (Pfeil);
- d) - SPDIF-Audiointerface.

Abbildung 1.49 Slot-Abdeckbleche (Brackets) mit Interface-Anschlüssen

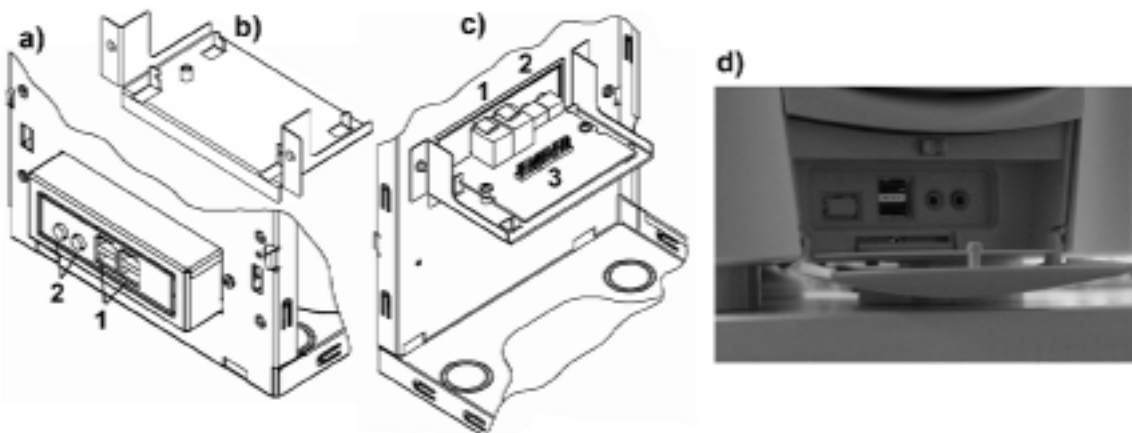


Abbildung 1.50 Anschlüsse an der Vorderseite

Erklärung:

- a) - Anordnung im PC-Gehäuse; b) - Montagewinkel; c) - die Anordnung von hinten; d) - Ausführungsbeispiel. 1 - USB-Anschlüsse; 2 - Audio-Anschlüsse; 3 - Steckverbinder für Kabel zum Motherboard.

1.7.3. Besonders kleine Motherboards

Man braucht sie für besonders kleine PCs und für Embedded Systems. Kompakte Formfaktoren gibt es seit längerem im Bereich der „industriellen“ PC-Technik. Derartige Hardware ist typischerweise qualitativ hochwertig, aber auch ziemlich teuer. Da Klein-PCs in Mode kommen (als Internetzugangsgерäte, als Baugruppen von Unterhaltungssystemen oder ganz einfach als schicke, kleine Computer für alltägliche Arbeiten) betätigen sich auch Anbieter „normaler“ Motherboards auf diesem Gebiet. Die Abbildungen 1.51 und 1.52 zeigen ein Beispiel.



Abbildung 1.51 Ein besonders kleines Motherboard: der Formfaktor Mini-ITX (VIA Technologies)

Die Abmessungen: rund 170 · 170 mm. Das ist die kleinstmögliche Größe, wenn man einige Grundlagen des ATX-Formfaktors beibehalten möchte, nämlich den E-A-Anschlußblock und das Raster der Befestigungsbohrungen*). Die Ausstattung ist naturgemäß beschränkt: nur ein PCI-Slot, kein Diskettenlaufwerksanschluß usw.

*) Beispiel eines noch kleineren Formfaktors: Nano-ITX (120 · 120 mm).

Das Leistungsvermögen soll für die aktuellen Betriebssystemversionen (z. B. Windows XP oder Linux^{*)}) und typische Alltagsanwendungen (Internet, Büroprogramme, Multimedia) ausreichen. Die Anforderungen an Stromversorgung und Kühlung sollen dem kleinen Formfaktor angemessen sein (möglichst keine Lüfter). Deshalb bestückt man solche Motherboards mit stromsparenden Prozessoren und übertreibt es auch nicht mit den Taktfrequenzen (z. B. Beschränkung auf 133-MHz-SDRAM).

*) : man muß also nicht auf „abgerüstete“ Versionen wie Windows CE oder Embedded Linux zurückgehen.

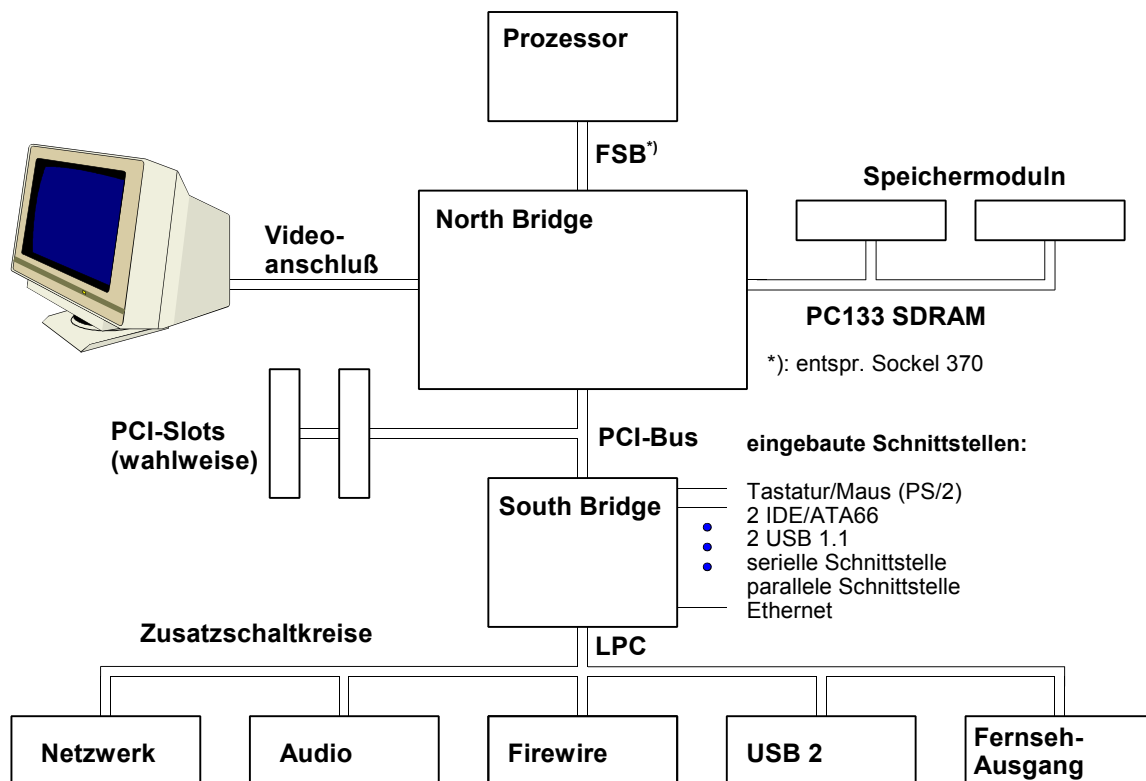


Abbildung 1.52 Ein Mini-ITX-Motherboard im Blockschaltbild (nach: VIA Technologies)

Erklärung:

Aus Sparsamkeitsgründen wird das herkömmliche Brückenprinzip beibehalten. Das Videosubsystem befindet sich in der North Bridge. Die South Bridge enthält die übliche Schnittstellenausstattung. Sie wird ggf. durch Zusatzschaltkreise ergänzt. Diese Auslegung ermöglicht es dem Hersteller, Motherboards in speziellen Bestückungsvarianten anzubieten (als Fernsehvorsatzgerät, als Spielkonsole, als Internet-Terminal usw.).

1.7.4. Adapterkarten (Riser Cards)

Adapterkarten sind steckbare Leiterplatten, die entweder das Motherboard erweitern oder Verbindungen zu anderen Einrichtungen herstellen. Es sind aber keine Steckkarten, die einzeln vertrieben werden, sondern sie gehören unmittelbar zum Motherboard oder zum PC. Der Fachbegriff (sprich: Reiser Kahr) deutet an, daß solche Karten typischerweise senkrecht zum Motherboard gesteckt werden (engl. to rise = aufstehen, sich erheben usw.).

Trägerplatten für Bus-Slots

Eine solche Leiterplatte wird in einen speziellen Steckverbinder auf dem Motherboard gesteckt. Sie trägt eine gewisse Anzahl an ISA- bzw. PCI-Slots. Somit kann man Steckkarten parallel zum Motherboard stecken. Diese Bauweise wird gelegentlich angewendet, um besonders flache Auftisch-Gehäuse bauen zu können (Abbildung 1.53). Die Auslegung ist oft herstellerspezifisch. Vor einigen Jahren wurde aber von Intel ein entsprechender Formfaktor für solche Motherboards spezifiziert: LPX.

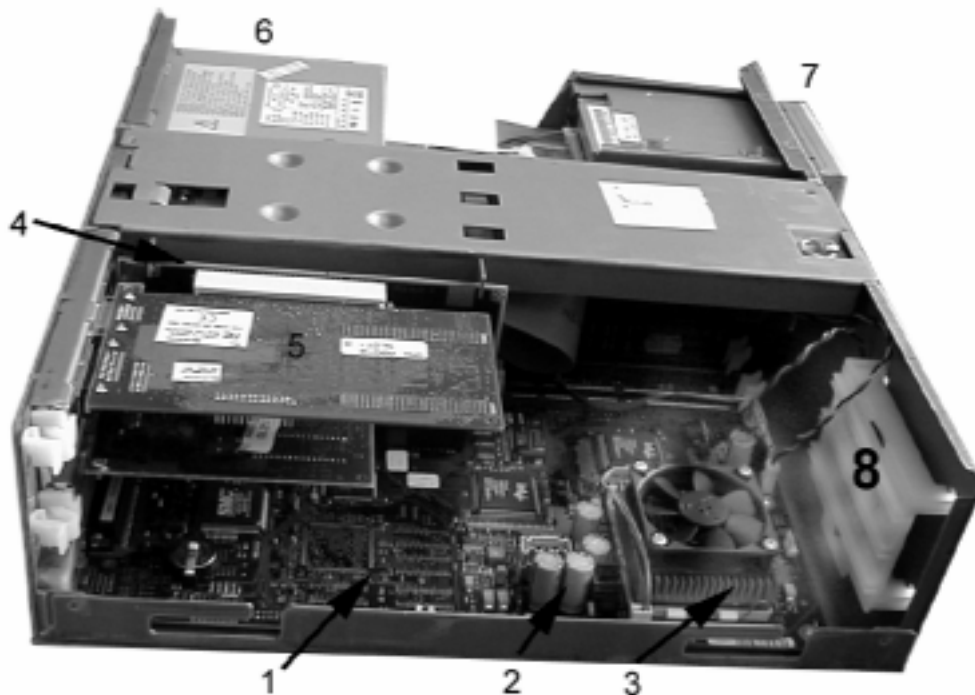


Abbildung 1.53 Ein Marken-PC von innen. Blick auf das Motherboard

Erklärung:

1 - Motherboard; 2 - Spannungsregler für Prozessor; 3 - Prozessor mit Kühlkörper und Lüfter; 4 - Trägerplatine (Riser Card); 5 - Steckkarte (PCI-Bus); 6 - Netzteil; 7 - Diskettenlaufwerk; 8 - Führungsschienen für besonders lange Steckkarten. So sieht es im Innern eines vernünftigen Markengerätes aus (vgl. demgegenüber Abbildung 1.9).

ISA Riser

Neumodische PCs dürfen - wenn es nach Intel und Microsoft geht - keine ISA-Slots mehr haben (und die meisten Hersteller halten sich gehorsam daran). Eine Möglichkeit, ISA-Karten trotzdem stecken zu können, besteht darin, entsprechende Riser-Karten zum Stecken in einen PCI-Slot zu bauen.

ATX Riser

Dies ist eine Intel-Spezifikation. Sie soll es ermöglichen, kleine (im besonderen: flache) PCs zu bauen, die trotz ihrer vergleichsweise geringen Abmessungen mit üblichen Steckkarten bestückt werden können. Grundlage: Motherboards in den verschiedenen ATX-Formfaktoren. Es liegt nahe, eine solche Erweiterungskarte einfach in einen PCI-Slot zu stecken. Das Problem dabei: die Punkt-zu-Punkt-Signale, die von den einzelnen PCI-Slots zu den Steuerschaltkreisen auf dem Motherboard führen. Der Ausweg: ein zusätzlicher Steckverbinder, der gleichsam als Verlängerung an einen PCI-Slot angesetzt wird. Eine ATX-Riser-Karte kann also nur in ein eigens hierfür ausgelegtes Motherboard gesteckt werden (Abbildung 1.54).

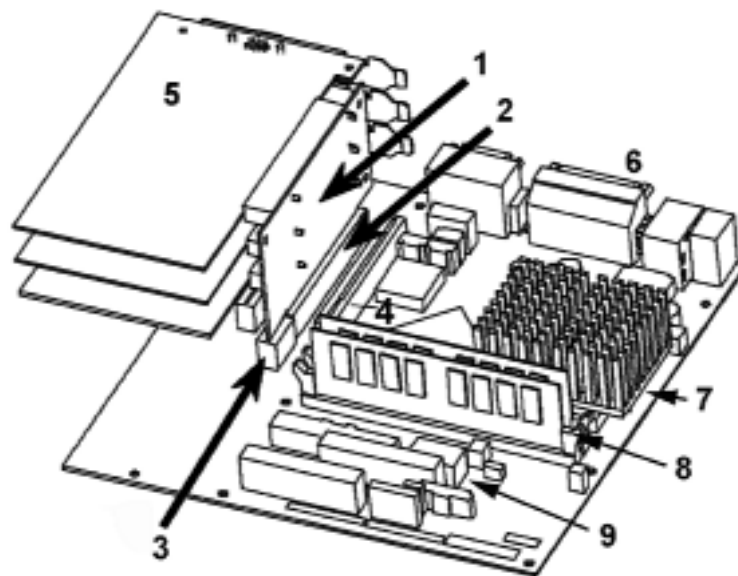


Abbildung 1.54 Micro-ATX-Motherboard mit ATX Riser und Steckkarten (Intel)

Erklärung:

1 - ATX Riser; 2 - PCI-Slot; 3 - der angesetzte Zusatzsteckverbinder (2 · 11 Kontakte); 4 - ein weiterhin nutzbarer PCI-Slot des Motherboards; 5 - PCI-Steckkarten; 6 - E-A-Anschlußblock (gemäß ATX-Formfaktor); 7 - Prozessor mit Kühlkörper; 8 - Speichermoduln; 9 - Laufwerks- und Stromversorgungsanschlüsse. Eine solche Riser Card kann 2 oder 3 PCI-Slots enthalten, aber auch ISA-Slots oder andere Schnittstellen.

NLX Riser

Diese Erweiterungsleiterplatte nimmt die Slots sowie weitere Steckverbindungen (z. B. zum Anschließen der Laufwerke) auf. Sie ist im PC-Gehäuse fest montiert. Das eigentliche NLX-Motherboard wird seitlich in einen speziellen Slot eingeschoben.

AMR, CNR, ACR

Diese Leiterplatten dienen dazu, moderne Motherboards um Audio-, Telekommunikations- und Netzwerkanschlüsse zu ergänzen. AMR = Audio/Modem Riser, CNR = Communication and Networking Riser, ACR = Advanced Communications Riser. AMR (1998) betrifft Audio- und Modemanschlüsse, CNR (2000) und ACR (2000/2001) betreffen darüber hinaus verschiedene Netzwerkanschlüsse.

AMR und CNR kann man durchaus als Gags der Fa. Intel*) bezeichnen - man hat gemerkt, daß es bei Wegfall der ISA-Slots Probleme gibt, Audio- und LAN-Hardware vernünftig unterzubringen. Der Ausweg: die eigentlichen „Kernfunktionen“ werden in hochintegrierten Schaltkreisen auf dem Motherboard vorgesehen, Wandler, Koppelstufen und Steckverbinder hingegen auf einer Erweiterungskarte (Abbildung 1.55).

*) ACR geht auf AMD und andere Anbieter zurück, ist also eine Konkurrenzlösung.

Tatsächlich ist es ungünstig, die Schnittstellen (Netzwerkanschluß, Telefonanschluß, Lautsprecher, Mikrophon usw.) auf dem Motherboard anzuordnen. Sie sind dort von Störungen betroffen (HiFi ist wegen der Störeinstrahlung nicht zu erwarten). Zudem sind sie gegen Schäden (falsches Anschließen, Überspannung usw.) recht empfindlich - und wenn man deshalb stets das ganze Motherboard wegwerfen müßte... Des weiteren haben verschiedene Nutzer verschiedene Anforderungen (von „Hauptsache billig“ bis „wirklich HiFi“, mit oder ohne Telefonanschluß usw.) - und nur deswegen verschiedene Motherboards zu fertigen, wäre recht kostspielig.

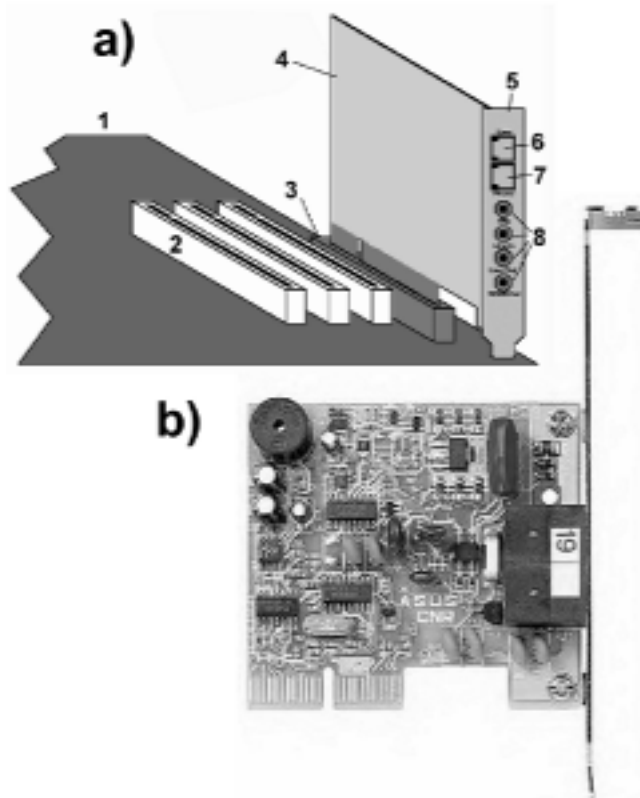


Abbildung 1.55 Erweiterung eines Motherboards mit einer Riser Card. Beispiel: Communication and Networking Riser CNR. a) Prinzip (Intel); b) Beispiel einer CNR-Karte (Asus)

Erklärung:

1 - Motherboard; 2 - PCI-Slots; 3 - CNR-Slot; 4 - CNR-Steckkarte; 5 - Blende mit Steckbuchsen; 6, 7, 8 - Anschlußbeispiele: 6 - zur Telefondose; 7 - hier wird das Telefon angeschlossen; 8 - Audiobuchsen (Mikrophon, universeller Audioeingang, universeller Audioausgang, Lautsprecher).

Hinweis:

Intel spricht davon, daß solche Riser Cards nur für den PC-Hersteller bestimmt sind, also nicht als einzelne Funktionseinheiten vertrieben werden^{*)}. Andererseits besteht sicherlich das Problem der Ersatzbestückung (wenn z. B. der Telefonanschluß durch Blitzschlag in der Nähe „entschärft“ wurde). Also: (1) nachsehen, was (vom Großhandel) so angeboten wird, (2) Bezugsquellen für gelegentlichen Ersatzbedarf erkunden (an sich wäre der Lieferant des Motherboards oder PCs der erste Ansprechpartner).

*) : Motherboard und Riser Card müssen zusammenpassen. Die Standards räumen hier Etliches an Narrenfreiheit ein - und die Hersteller nutzen das auch aus. Wir müssen also ggf. wirklich genau nachsehen, was zu bestellen ist.

1.7.5. Leistungsbereiche

Prozessor, Arbeitsspeicher, E-A-Ausstattung und Schaltkreissatz hängen eng zusammen. Es ist nicht besonders schwierig, die gerade aktuellen Prozessortypen kennenzulernen. Bei den Speichermoduln, Bussystemen, Schnittstellen usw. handelt es sich um Industriestandards. Demgegenüber sind Schaltkreissätze herstellerspezifisch, und die Typenbezeichnungen können nicht nur den Anfänger verwirren. Manchmal kommt es aber auf den Schltakreissatz an - bei ansonster gleicher Ausstattung ist das Motherboard X mit Schaltkreissatz A besser zum Spielen geeignet, das Motherboard Y mit Schaltkreissatz B besser zum Arbeiten mit Bürosoftware, Kenner wissen womöglich, daß das Spiel Z auf einer Maschine mit Schaltkreissatz C nur dann richtig läuft, wenn man ein bestimmtes BIOS-Update installiert hat usw. (vgl. die Testberichte und Tips in den PC-Zeitschriften). Wer es genau nimmt, sollte sich deshalb von Zeit zu Zeit in den Typenlisten der Hersteller umsehen (Internet).

Wofür ist welcher Schaltkreissatz geeignet?

Die Anbieter haben hierfür charakteristische Bezeichnungen. Als Beispiel beziehen wir uns hier auf die Begriffe, mit denen Intel die verschiedene Ausstattungs- und Leistungsklassen der PCs bezeichnet:

- Value PC,
- Mainstream PC,
- Performance PC,
- High End PC,
- Entry-Level Workstation,
- Workstation,
- Server.

Leistungsvermögen und Ausstattung wachsen in der Reihenfolge der Aufzählung. Value PCs sind kostengünstige, kleine Modelle mit beschränkten Erweiterungsmöglichkeiten (Abschnitt 1.7.6). Mainstream PCs sind die typischen Modelle des Massenmarktes (erweiterbar, mittleres Leistungsvermögen, für die üblichen Anwendungen - und Spiele - ausreichend). Performance- und High-End-PCs liegen in Ausstattung und Leistungsvermögen darüber. Es handelt sich noch um

die typische PC-Auslegung (eine Prozessorfassung, AGP + PCI, Haupt- und E-A-Verteiler usw.), die aber entsprechend großzügig ausgebaut ist (mehrere GBytes Arbeitsspeicher, maximale Taktfrequenzen, viel Peripherie auf dem Motherboard). In diesem Bereich ist die Bezeichnung oft Sache des Marketings. Näherungsweise gilt: Performance PC = High End PC = Entry-Level Workstation. „Echte“ Workstations haben leistungsfähigere Schaltkreissätze (mehr Speicher, mehr als einen Prozessor, schnellere Bussysteme usw.). Die grundsätzlichen Anforderungen an Workstations und Server kennen wir bereits (Seite 30).

PC und Desktop

Manche Anbieter unterscheiden damit zwei Anwendungsbereiche:

- PC: vorwiegend Einzelgerät beim Einzelnutzer. Vor allem wichtig: Leistungsvermögen und Speicherausstattung. Weniger wichtig: geringe Größe des Gehäuses, Netzwerkfunktionen, Vorkehrungen zur automatisierten Systemverwaltung und Fernwartung, elementare Sicherheitsfragen.
- Desktop: vorwiegend Arbeitsplatz-Computer, der auf dem Schreibtisch steht (vor allem in Unternehmen, Behörden usw.)*) und an ein (lokales) Netzwerk angeschlossen ist. So ein Computer darf nicht allzu groß sein, muß sich übers Netz verwalten lassen, muß dagegen gesichert sein, daß die Anwender einfach das Gehäuse öffnen und im Innern herumspielen usw. Andererseits wird man hier kaum immer wieder die neuesten Graphikkarten installieren oder alle paar Wochen ein BIOS-Update veranstalten (um besser spielen zu können).

*) : man spricht in diesem Zusammenhang gelegentlich vom *Corporate Desktop* und meint damit jene Maschinen, die zu Tausenden in den Großfirmen (Corporations), im öffentlichen Dienst usw. zum Einsatz kommen. Die Stückzahlen sind hoch, die Beschaffungsrichtlinien ziemlich streng (Umweltauflagen, Energieverbrauch, Platzbedarf, Sicherheit, Ergonomie usw.). Ausgesprochene Billigmühlen sind bei den Großen praktisch nicht abzusetzen. Deshalb geben sich die Hersteller viel Mühe, diesen besonderen Markt zu pflegen.

Motherboards zum Basteln

Soll vor allem heißen: zum Übertakten, also zum Betreiben mit höheren Taktfrequenzen (Overclocking). Es gibt Anbieter, die sich Mühe geben, den einschlägigen Kundenkreis (der notorischen Freaks) zu bedienen. Entsprechende Motherboards haben vielfältige Einstellmöglichkeiten, die in der Werbung gern herausgestellt werden.

Motherboards, mit denen Freaks nicht viel anfangen können

Anderer Anbieter wiederum haben etwas gegen die Bastelei. An deren Motherboards kann man einfach nichts verstellen (das betrifft z. B. die Modelle von Intel).

Wieviele Prozessoren?

Das typische Motherboard des Massenmarktes ist nach wie vor für einen einzigen Prozessorschaltkreis ausgelegt. Es gibt aber auch Motherboards zum Aufbau von *Multiprozessorsystemen* (mit zwei oder mehr Prozessoren). Auf Motherboards der üblichen Bauarten ist die Prozessorzahl allerdings begrenzt.

Intel (1): Prozessoren ohne Hyper-Threading Technology

Die Prozessoren sind an einen gemeinsamen Prozessorbus (System bzw. Host Bus) angeschlossen. Beispiele entsprechender Anschlußmöglichkeiten:

- Celeron: 1 Prozessor,
- Pentium II, III, 4 (herkömmliche Modelle): 2 Prozessoren,
- Xeon, Itanium: 4 Prozessoren.

Computer mit noch mehr Prozessoren (8, 16 usw.) haben besondere Bussysteme oder Umschaltnetzwerke (vgl. Abbildung 1.35); sie sind also infolge ihrer Auslegung nicht mehr zu den typischen PCs zu rechnen.

Intel (2): Prozessoren mit Hyper-Threading Technology

In einem Gehäuse befinden sich praktisch zwei Prozessoren. Daß an einem Bus nur maximal vier Prozessoren Platz haben, ist aber eine grundsätzliche Einschränkung. Somit können vorgesehen werden:

- Pentium 4: 1 Schaltkreis (= 2 Prozessoren),
- Xeon: 2 Schaltkreise (= 4 Prozessoren).

AMD

Die AMD-Prozessoren haben ein Punkt-zu-Punkt-Interface. Es hängt deshalb vom Schaltkreissatz ab, wieviele Prozessoren auf dem Motherboard angeordnet werden können. Beispiel: zwei Athlon MP (vgl. Abbildung 1.34).

1.7.6. Motherboards für besonders preisgünstige PCs

Wie kann man PCs besonders billig anbieten?

Grundsätzlich gibt es folgende Möglichkeiten:

1. scharf kalkulieren (bis hin zum Verkaufen unter dem Einstandspreis),
2. veraltete (oder auch nur aus der Mode gekommene) Hardware verramschen (das „klassische“ Billigangebot),
3. die Hardware aus billigen Teilen aufbauen (auch das hat seine Blüten getrieben - bis hin zum Einbau gebrauchter Funktionseinheiten, bis hin zum Bestücken von Motherboards mit zu alten, übermäßig lange gelagerten Bauelementen usw.),
4. die Hardware von Grund auf entsprechend entwickeln (kostenoptimierte Schaltkreissätze, Value PCs).

Kostenoptimierte Schaltkreissätze und Value PCs

Schaltkreissatz, Prozessor usw. werden genau auf dieses Ziel hin entwickelt: kostengünstige PCs fertigen zu können, die für viele Anwendungen brauchbar sind. Der Fachbegriff: *Value PCs* (Value (sprich: fälljuh) = Wert). In der PC-Branche heißt *Value* aber nicht „besonders hochwertig“, sondern ist eher im Sinne „möglichst viel für wenig Geld“ zu verstehen. Als Beispiel mögen die Abbildungen 1.13, 1.29, 1.51 und 1.52 dienen.

Hinweis:

Solche Value PCs nicht mit herkömmlichen Billigangeboten verwechseln! Sie sind der Fertigungsqualität nach durchaus hochwertig und auch technisch auf einem aktuellen Stand, sind aber hinsichtlich des Leistungsvermögens, der installierbaren Speicherkapazität, der Anzahl der Slots usw. typischerweise recht beschränkt. Erweiterungen sind nur in begrenztem Maße möglich und vergleichsweise teuer.

Beispiel: Es geht um einen PC mit dem Motherboard, das wir in den Abbildungen 1.13 und 1.29 vorgestellt haben. Mit dem Leistungsvermögen des eingebauten Graphik-Subsystems sind wir aber nicht mehr zufrieden. Also muß eine Graphikkarte her. Aber welche? - oh Schreck: das Motherboard hat keinen AGP-Slot! Am Massenmarkt aber werden Karten, die sich durch hohes Leistungsvermögen und (vergleichsweise) günstigen Preis auszeichnen, nahezu ausschließlich mit AGP-Schnittstelle angeboten... (Hochleistungsfähige PCI-Karten sind zumeist für andere Marktsegmente bestimmt (Workstations, Prozeßleitstände usw.). Dementsprechend ist auch die Preisgestaltung eine ganz andere...)

2. Prozessoren

Der Prozessor ist die Funktionseinheit eines Computers, die die eigentliche Verarbeitungsleistung erbringt. Der Prozessor führt die Programme aus, indem er Maschinenbefehl für Maschinenbefehl aus dem Speicher holt und die jeweiligen Funktionen der Informationswandlung und Ablaufsteuerung ausführt. Die Prozessoren der Personalcomputer sind ausnahmslos *Mikroprozessoren*; alle Programmsteuer- und Verarbeitungsfunktionen sind in einem einzigen Schaltkreis verwirklicht. Prozessoren sind ziemlich komplizierte technische Gebilde. Die Kompliziertheit kommt allein schon im Umfang der einschlägigen Handbücher zum Ausdruck.

2.1. Prozessorfamilien

Verschiedene Typen von Prozessorschaltkreisen mit gleicher Architektur bilden eine *Prozessorfamilie*.

Die Architektur des Prozessors hat einen wesentlichen Einfluß auf die *Systemarchitektur*, das heißt, es hängt wesentlich vom Typ des Prozessors ab, zu welcher Art von Computern das System hardwareseitig gehört. In diesem Sinne sind die hier behandelten „kompatiblen“ bzw. WINTEL-PCs durch eine einzige Prozessorarchitektur gekennzeichnet, und zwar durch jene der x86-Prozessorfamilie, die von der Firma Intel entwickelt wurde.

2.1.1. Die Prozessoren der Personalcomputer

Die ersten Mikroprozessoren wurden keineswegs entwickelt, um damit PCs zu bestücken, und die ersten „persönlichen“ Computer wurden gleichsam um die Prozessortypen herumgebaut, die seinerzeit gerade zur Hand waren. Auch die Entscheidung von IBM, in ihrem PC einen Intel-Prozessor einzusetzen, hatte keine „hochwissenschaftlichen“ Hintergründe (der Typ war eben am Markt verfügbar, war kostengünstig, in Ausstattungsmerkmalen und Leistungsvermögen ausreichend - und man hatte damit bereits andere Entwicklungsvorhaben angearbeitet). Es war vielmehr der Erfolg der IBM-PCs, der dazu geführt hat, daß die Prozessoren der x86-Familie weiterentwickelt wurden^{*)} und daß Intel am Weltmarkt zum bedeutendsten Anbieter von Prozessoren aufsteigen konnte.

*) : Ende der 70er Jahre hatte man bei Intel geplant, die Entwicklung der x86-Familie ausklingen zu lassen und eine vollkommen neue Architektur auf den Markt zu bringen...

Die ersten der in Rede stehenden Intel-Typen waren, ihrer Verarbeitungsbreite nach, 16-Bit-Prozessoren. PCs des Massenmarktes werden aber seit einigen Jahren schon nicht mehr mit derartigen Prozessoren bestückt. Wir wollen uns deshalb auf die derzeit vorherrschende Prozessorarchitektur konzentrieren.

2.1.2. Der Industriestandard: IA-32

IA-32 = Instruction Set Architecture 32 Bits. Diese Architektur wurde vorrangig zum Einsatz in „kompatiblen“ PCs entwickelt. Folgende Merkmale sollten wir im Gedächtnis behalten:

- 32-Bit-Adressierung,
- 32 Bits Verarbeitungsbreite,
- die „Infrastruktur“ (Speicherorganisation, Schutzvorkehrungen usw.) wurde auf einen Stand gebracht, der dem von Mainframes und anderen Hochleistungssystemen entspricht,
- Abwärtskompatibilität bis hin zum 8086.

Abwärtskompatibilität

Die Abwärtskompatibilität war stets eine Stärke von Intel. Andere Anbieter hatten - Ende der 70er/Anfang der 80er Jahre - geglaubt, diesen Gesichtspunkt zugunsten der Innovation vernachlässigen zu können - mit dem Ergebnis, daß ihnen - trotz überzeugender technischer Leistungen - der wirkliche Durchbruch versagt blieb. Aber natürlich hat auch die Abwärtskompatibilität ihren Preis. Bei der Lösung, die Intel gewählt hat, besteht er in einer recht konservativen Auslegung und - vor allem - in übermäßiger Kompliziertheit. So hat man insgesamt drei Betriebsarten vorgesehen. Zudem kann man Betriebsweisen gleichsam mischen: 16-Bit-Verarbeitung und 32-Bit-Verarbeitung, 16-Bit-Adressierung und 32-Bit-Adressierung usw.

Was wir uns merken sollten: jeder IA-32-Prozessor verhält sich unmittelbar nach dem Einschalten zunächst wie ein „uralter“ 8086 - die höher entwickelten Vorkehrungen und Betriebsarten müssen von der Software nach und nach zugeschaltet werden. Wenn wir nichts weiter laden als das Betriebssystem DOS, so erscheint auch der modernste Hochleistungsprozessor lediglich als ein - außergewöhnlich schneller - 8086. Tatsächlich sind Millionen PCs bis weit in die 90er Jahre hinein nicht anders betrieben worden.

Leistungsklassen

Vergleichbar zu gewissen Automarken kann man die IA-32-Prozessoren in verschiedene Klassen einordnen.

Die 386-Klasse

Der erste IA-32-Prozessor war der Intel 80386DX, der 1986 auf dem Markt erschien. 386-Prozessoren haben keinen eingebauten Cache und keine eingebaute Gleitkommaverarbeitung. Es gibt folgende Grundversionen:

- 386DX: 32-Bit-Bus (32 Bits Datenwegbreite, 32-Bit-Adressierung),
- 386SX: 16-Bit-Bus (16 Bits Datenwegbreite, 24-Bit-Adressierung).

Weitere Abwandlungen betreffen u. a. Taktfrequenzen, Speisespannungen und eingebaute Stromsparvorkehrungen.

386-Prozessoren werden auch heutzutage in großen Stückzahlen gefertigt, allerdings vorzugsweise zum Einsatz in Embedded Systems.

Die 486-Klasse

Der Prozessor i486 erschien 1989. Typische Merkmale:

- eingebauter Cache,
- eingebaute Gleitkommaverarbeitung (Floating Point Processing Unit FPU),
- 32-Bit-Bus (32 Bits Datenwegbreite, 32-Bit-Adressierung),
- optimierte Verarbeitungsschaltungen und Befehlspipelining. Viele Befehle werden in einem einzigen Taktzyklus ausgeführt.

Prozessoren der 486-Klasse werden nach wie vor gefertigt. Sie sind vor allem für Embedded Systems vorgesehen.

Die 586- bzw. P5-Klasse

Grundtyp ist der „klassische“ Pentium (Intel, 1993). Typische Merkmale:

- 2 eingebaute Caches,
- eingebaute Gleitkommaverarbeitung (Floating Point Processing Unit FPU),
- 64-Bit-Bus (64 Bits Datenwegbreite, 32-Bit-Adressierung),
- 2 Verarbeitungswerke (so daß 2 Befehle gleichzeitig ausgeführt werden können (Parallelverarbeitung)),
- der Prozessorbus arbeitet noch nach herkömmlichen Prinzipien (ungeteilte Informationsübertragung, herkömmliche Signalpegel).

Die 686-Klasse (auch: P6 (Intel) oder K6 (AMD))

Bei Intel wurde diese Entwicklung mit dem Pentium Pro eingeleitet (1995). Typische Merkmale:

- 2 eingebaute Caches (Befehls- und Datencache),
- eingebaute Gleitkommaverarbeitung (Floating Point Processing Unit FPU),
- 64-Bit-Bus (64 Bits Datenwegbreite, 32-Bit- bzw. 36-Bit-Adressierung),
- mehrere Verarbeitungswerke (so daß mehrere Befehle gleichzeitig ausgeführt werden können (Parallelverarbeitung)),
- erweiterte Befehlslisten (MMX, 3DNow),
- enger Verbund mit dem externen Cache (der gelegentlich nicht über den Systembus, sondern über ein eigenes Interface angeschlossen wird),
- es werden Prozessoren mit verschiedenen Bussystemen angeboten: (1) herkömmlicher Prozessorbus, der aber mit Taktfrequenzen bis zu 100 MHz betrieben wird (Beispiel: AMD K6), (2) Hochleistungsbus mit besonderen Signalpegeln und neuartiger Wirkungsweise (Pentium Pro, Pentium II usw.).

Die 786-Klasse (auch: P7 (Intel) oder K7 (AMD))

Hierzu können u. a. die Typen Pentium III und Pentium 4 (Intel) sowie Athlon, Duron usw. (AMD) gerechnet werden. Typische Merkmale:

- Hochleistungsinterfaces mit besonderen Signalpegeln (Taktfrequenz über 100 MHz),
- Datenübertragung nochmals beschleunigt (z. B. doppelte oder vierfache Datenrate in Bezug auf den Bustakt),
- Unterstützung von Multiprozessorconfigurationen (z. B. Xeon und Athlon MP),
- mehr als eine Prozessorfunktion in einem Schaltkreis (z. B. Intels Hyper-Threading-Technologie),
- Betrieb mit extrem hohen internen Taktfrequenzen (immer mehr GHz),
- höherer Grad der Parallelverarbeitung,
- teils neuartige interne Wirkprinzipien (z. B. die Prozessoren der Fa. Transmeta),
- nochmals erweiterte Befehlsliste (z. B. SSE = SIMD Streaming Extensions),
- L2- und L3-Caches auf dem Prozessorschaltkreis.

Die 886-Klasse (auch: K8 (AMD))

Es liegt nahe, die von AMD eingeführte 64-Bit-Erweiterung der IA-32-Architektur (AMD64) so zu bezeichnen (Beispiele: Athlon64, Opteron). Typische Merkmale:

- weitere allgemeine Leistungssteigerung (schneller, größere Caches usw.),
- Arbeitsspeichersteuerung auf dem Prozessorschaltkreis,
- neuartige schnelle Interfaces (HyperLink),
- 64-Bit-Verarbeitung, 48-Bit-Adressierung, neue Befehle, erweiterter Registersatz.

2.1.3. IA-64: ein neuer Industriestandard?

Abwarten. An der von Intel und Hewlett-Packard eingeführten Architektur IA-64 wird seit 1992 gearbeitet. Die ersten Prozessoren wurden unter dem Namen Itanium in den Jahren 2000 und 2002 vorgestellt. Typische Kennzeichen:

- 64-Bit-Verarbeitung, 64-Bit-Adressierung,
- Bussystem ähnlich dem der 32-Bit-Prozessoren (P6, P7),
- völlig neuartige Befehlsliste, extrem große Registersätze und Caches,
- die Ausnutzung der umfangreichen Hardware muß vom Compiler gesteuert werden. Mit anderen Worten: wird ein Programm übersetzt (compiliert), so muß erkannt werden, welche Operationen parallel zueinander ablaufen können (ein Pentium oder Athlon erkennt das automatisch während der Programmausführung). Reine Gigahertz allein nützen also nicht viel - ob das Leistungsvermögen einer solchen Maschine voll zur Wirkung kommt oder nicht, hängt maßgeblich von der Qualität der eingesetzten Compiler ab.
- die „dicke“ Hardware erfordert entsprechenden Aufwand in der Infrastruktur (Stromversorgung, Kühlung, Arbeitsspeicher usw.),

- die Abwärtskompatibilität zu IA-32 ist eine Art aufgesetzter Zusatzfunktion (also praktisch ein Prozessor im Prozessor) - es ist keine „organische“, evolutionäre Weiterentwicklung wie beispielsweise AMD64.

Derzeit sind die Kosten so hoch, daß IA-64 nur für Server-Systeme der oberen Leistungsklassen in Frage kommt (vgl. Abbildung 1.35).

2.2. Ausgewählte Einzelheiten

2.2.1. 8 - 16 - 32 - 64 Bits

Wir treffen häufig auf derartige Angaben. Achtung - genau aufpassen, was jeweils gemeint ist:

- die Verarbeitungsbreite. Diese betrifft typischerweise jene Datenstrukturen, die mit elementaren Maschinenbefehlen auf einmal zu verarbeiten sind (eine 32-Bit-Maschine heißt deshalb so, weil sie zwei 32 Bits lange Binärzahlen „auf einem Schlag“ (= in einem einzigen internen Taktzyklus) zueinander addieren kann).
- die Adressierung. Die Anzahl der Adreßbits entspricht nicht immer der Verarbeitungsbreite. Dabei gibt es beides: sowohl die Verlängerung als auch die Verkürzung der Adresse. 1. Beispiel: Verlängerung der Adresse auf 36 Bits (Intel). 2. Beispiel: 48-Bit-Adressierung in der Architektur, 40-Bit-Adressierung an den Interfaces (AMD Athlon64 und Opteron).
- die Anzahl der zur Datenübertragung vorgesehenen Busleitungen. Diese muß nicht unbedingt mit der Verarbeitungsbreite übereinstimmen. So haben beispielsweise die Prozessoren von der 586-Klasse an einen 64-Bit-Datenbus, sind aber nach wie vor 32-Bit-Maschinen (die elementaren Maschinenbefehle können nur 32-Bit-Binärzahlen verarbeiten).

Wozu immer mehr Bits?

Grundsätzlich kann man mit jedem Prozessor - sofern er als wirklicher Universalrechner ausgelegt ist - jede Verarbeitungsbreite und jede Adressierungsweise nachbilden - nämlich mittels Software und (erforderlichenfalls) Zusatzbeschaltung. So könnte man z. B. eine „echte“ 64-Bit-Architektur (64 Bits Verarbeitungsbreite, 64-Bit-Adressierung) mit einem 8-Bit-Prozessor realisieren - es würde funktionieren, wäre aber recht langsam. Der Übergang auf immer mehr Bits wird vor allem durch Forderungen seitens der Adressierung (vor allem: der hierzu erforderlichen Adreßrechnung) vorangetrieben (Tabelle 2.1).

Bitanzahl	adressierbare Bytes	Anmerkungen
8 Bits	$2^8 = 256$	meist zuwenig; viele 8-Bit-Prozessoren haben 16-Bit-Adressierung
16 Bits	$2^{16} = 65\,536 = 64\text{ k}$	oftmals zuwenig; viele 16-Bit-Prozessoren haben 20- oder 24-Bit-Adressierung
32 Bits	$2^{32} = 4\,294\,967\,296\,4\text{ G} \approx 4\text{ Milliarden}$	entspricht dem derzeitigen Industriestandard (IA-32)

Bitanzahl	adressierbare Bytes	Anmerkungen
36 Bits	$2^{36} = 68\,719\,476\,736 = 64\text{ G} \approx 68$ Milliarden	Adre�erweiterung verschiedener Intel-Typen (Pentium III, 4, Xeon)
40 Bits	$2^{40} = 1\,099\,511\,627\,776 = 1\text{ T} \approx 1\text{ Billion} =$ 1000 Milliarden	technisches Adressierungsverm�gen einiger AMD64-Typen (Athlon64, Opteron)
48 Bits	$2^{48} = 281\,474\,976\,710\,656 = 256\text{ T} \approx 280$ Billionen	heutzutage bei weitem ausreichende Grenze des Adressierungsverm�gens (z. B. AMD64)
64 Bits	$2^{64} = 18\,446\,7444\,073\,709\,551\,616 = 16\text{ E} \approx$ 18 Trillionen = 18 Milliarden Milliarden	der k�nftige Industriestandard, zumindest im obersten Leistungsbereich (Itanium u. a.)

(k = Kilo, M = Mega; T = Tera; E = Exa)

Tabelle 2.1 Verarbeitungsbreite und Adressierungsvermögen

Erklärung:

Daß wir einzelne Bytes adressieren können, gehört zum Stand der Technik. Lange Zeit war es weit mehr als ausreichend, jedes von ca. 4 Milliarden Bytes auswählen zu können (32-Bit-Adresse) - so große Speicher konnte man über Jahrzehnte hinweg gar nicht bauen. Zwischenzeitlich sind aber auch die Datenmengen ins Gigantische gewachsen. Beispielsweise fallen bei der digitalen Speicherung eines Spielfilms zunächst mehrere Millionen Bytes je Sekunde an. Nun möchte man derartige Videodaten zunächst „roh“ speichern und dann mit Software nachbearbeiten. Hierzu ist es aber notwendig, jedes Byte einzeln auswählen (= adressieren) zu können. Es lässt sich leicht  berschlagen, daß z. B. ein Film von 2 Stunden Spieldauer mehr Bytes umfaßt, als mit einer 32-Bit-Adresse auswählbar sind (Beispiel: 32 MBytes/s ergeben ca. 250 GBytes). Aber auch die Weiterentwicklung der „gewöhnlichen Datenverarbeitung“ führt auf riesige Datenmengen - man möchte einfach „alles“ speichern, was so anf llt, um dann Stoff zum Auswerten zu haben (Fach-Schlagwort: Data Warehousing). Ebenso muß ein Server, der eine gutsortierte Internet-Site bedient, mit derartigen Datenmassen umgehen können.

2.2.2. Taktfrequenzen

Sie werden immer gigantischer: 800 MHz, 1 GHz, 1,5 GHz, 2 GHz, 2,5 GHz, 3,1 GHz usw. *Achtung:* Hierbei ist zu unterscheiden zwischen der Taktfrequenz im Innern des Prozessors (Core Clock) und der Taktfrequenz des Prozessorbus (Bus Clock). Näheres in Abschnitt 2.3.4.

2.2.3. Der Front Side Bus (FSB)

Das ist eine Bezeichnung des „eigentlichen“ Prozessor-Busses, also des Interfaces, an das die North Bridge bzw. der „oberste“ Verteilerschaltkreis angeschlossen wird (vgl. die Abbildungen 1.37 und 1.38). Dieser Begriff wurde eingeführt, als es Mode war, Prozessoren in Steckkassetten einzubauen. Manche dieser Prozessoren haben ein zweites Interface, das zum Anschließen des externen Caches dient. Dieses Interface ist herstellerspezifisch, und der Prozessor ist mit dem angeschlossenen Cache in einer gemeinsamen Baugruppe*) untergebracht. Der Intel-Fachbegriff: Dual Independent Bus Architecture (DIB).

*) z. B. in einem Schaltkreisgehäuse (Pentium Pro) oder in einer Steckkassette (Pentium II/III, AMD Athlon). Die moderne Lösung: der Cache befindet sich auf dem Prozessorschaltkreis.

Mikroprozessoren und PC-Prozessoren

Das Bussystem eines „gewöhnlichen“ Mikroprozessors wird typischerweise so entworfen, daß es möglich ist, industrietübliche, kostengünstige Speicher- und E-A-Schaltkreise auf einfache Weise anzuschließen, also gleichsam nach Kochbuch: man verbinde die jeweiligen Daten- und Adreßanschlüsse miteinander und füge nach Bedarf einige Decodier- und Steuerschaltungen hinzu. Das war auch bei den ersten IA-32-Prozessoren der Fall (beim 486 war es noch praktikabel, bei den P5-Pentiums war es zwar aufwendig, aber immerhin noch möglich). Seitdem ist man von diesem Prinzip abgegangen. Der Prozessorbus und die Schnittstellen der Speicherschaltkreise passen überhaupt nicht mehr zusammen; der FSB dient nur noch zur Verbindung zwischen Prozessor und North Bridge oder Hauptverteiler. Der Vorteil: man kann frei kombinieren - dem Prozessor ist es gleichgültig, ob der Arbeitsspeicher mit SDRAM, DDR-SDRAM oder Rambus bestückt ist, ob ein 32-Bit-PCI- oder ein 64-Bit-PCI-X-Bus vorgesehen ist usw. Die Nachteile: (1) die Kosten, (2) längere Übertragungszeiten, da die Daten zwei Schaltkreise durchlaufen müssen. Vor allem der Hauptverteiler wird zu einem Riesenschaltkreis mit vielen hundert (manchmal über tausend) Kontakten, und man braucht aufwendige Technologien, um ihn zu verbauen. Deshalb geht man bei manchen Prozessoren dazu über, die Speichersteuerung in den Prozessorschaltkreis einzubauen (Beispiele: Athlon64, Opteron, Transmeta Crusoe). Einige Typen haben sogar eine ziemlich umfangreiche E-A-Ausstattung (Beispiel: die Geode-Typenreihe von National Semiconductor; das sind Prozessoren der Pentium-Klasse, die vor allem für Multimedia- und Internetzugangsgeräte bestimmt sind).

2.2.4. Caches

Ein *Cache* (sprich: Käsch) ist ein Schnellzugriffsspeicher, der zwischen dem eigentlichen Arbeitsspeicher und dem Prozessor angeordnet ist, um Speicherzugriffe zu beschleunigen. Er hat eine vergleichsweise geringe Speicherkapazität, aber dafür eine sehr kurze Zugriffszeit, so daß der Prozessor Daten und Befehle aus dem Cache viel schneller holen kann als aus dem Arbeitsspeicher.

Caches in mehreren Ebenen (L1-, L2-, L3-Caches)

Die Cache-Subsysteme der modernen Hochleistungsprozessoren sind zumeist in mehreren Ebenen angeordnet:

- die in den Prozessor eingebauten, den Steuer- und Verarbeitungsschaltungen des Prozessors unmittelbar vorgeschalteten Caches heißen L1-Caches (L1 = Level 1 = 1. Ebene),
- an die Anordnung aus Prozessor- und L1-Cache ist ein weiterer Cache angeschlossen, der L2-Cache (L2 = Level 2 = 2. Ebene),
- schließlich kann zwischen dieser Anordnung und dem eigentlichen Arbeitsspeicher noch ein weiterer Cache (der L3-Cache) vorgesehen sein (L3 = Level 3 = 3. Ebene).

In den Speicherzugriffen werden die Caches der verschiedenen Ebenen nacheinander abgefragt. Ist ein Speicherinhalt nicht im L1-Cache zu finden, so wird im L2-Cache nachgesehen usw.

Weshalb diese Aufteilung?

Man strebt an, daß der Zugriff zum Cache nicht länger als einen internen Prozessortakt dauert. Und das ist nicht eben viel: bei 1 GHz 1 ns, bei 3,1 GHz 320 ps usw. Nun ist ein Speicher um so langsamer, je größer er ist. Würde man einen einzigen sehr großen Cache vorsehen, so würde man - von einer gewissen Größe an - für die Zugriffe mehr Zeit brauchen als diesen einen Prozessortakt. Es hat also gar keinen Sinn, die Speicherkapazität eines einzigen Caches immer weiter zu erhöhen.

Wie wird ein Cache-Subsystem aufgeteilt?

Das genannte Prinzip wird sinngemäß angewendet: ein Zugriff auf einen Cache soll - im Mittel - nicht mehr Zeit kosten als eine Taktperiode des jeweiligen Interfaces. Die Feinabstimmung (2 oder 3 Cache-Ebenen, Größe der einzelnen Caches usw.) ist Sache der Erfahrung und Erprobung sowie der Kostenoptimierung.

Befehls- und Datencaches

Caches können kombiniert für Programme und Datenbereiche verwendet werden (universelle Caches). Es ist aber auch möglich, getrennte Caches für Befehls- und Datenzugriffe vorzusehen. Zum Stand der Technik:

- ist nur ein einziger Cache vorgesehen (wie z. B. in den Prozessoren der 486-Klasse), so ist dieser typischerweise als universeller Cache ausgelegt,
- die L1-Caches moderner Hochleistungsprozessoren sind als getrennte Befehls- und Datencaches ausgeführt (der Vorteil: man hat im Prozessor unabhängige, parallel betreibbare Zugriffswege, kann also auf Befehle und Daten gleichzeitig zugreifen),
- L2- und L3-Caches sind universelle Caches.

Interne und externe Caches

Das Leistungsvermögen eines Caches trägt wesentlich zur Gesamt-Verarbeitungsleistung bei. Kürzeste Verbindungen zum Prozessor sind hier sehr wichtig. Deshalb werden Caches unmittelbar auf dem Prozessorschaltkreis angeordnet. Der Idealfall: das gesamte Cache-Subsystem (also die L1-, L2- und ggf. L3-Caches) befinden sich auf dem Prozessorschaltkreis. Die Schaltungstechnologie ist aber erst seit wenigen Jahren soweit. Deshalb mußte man früher zumindest den L2- oder L3-Cache außerhalb des Prozessors anordnen (externer Cache). Tabelle 2.2 gibt einen Überblick über die verschiedenen Auslegungen.

Anschluß des Caches	Unterbringung des Caches
<ul style="list-style-type: none"> ■ am Prozessorbus, ■ über ein besonderes Cache-Interface 	<ul style="list-style-type: none"> ■ außerhalb der Prozessorbaugruppe (beim PC: auf dem Motherboard), ■ zusammen mit dem Prozessor in einem Gehäuse (Beispiel: Pentium Pro), ■ unmittelbar neben dem Prozessor in einer Steckkassette (Beispiele: Pentium II, III, AMD Athlon), ■ auf dem Prozessorschaltkreis (Beispiele: AMD K6-III, AMD Duron und Athlon, verschiedene Intel-Typen)

Tabelle 2.2 Überblick: Anordnung externer Caches

2.2.5. Der Prozessorkern (Processor Core)

Dieser Begriff (sprich: Prohesssr Kohr) bezeichnet den Verbund der Verarbeitungs- und Steuerschaltungen, die die eigentliche Verarbeitungeleitung erbringen. Nicht zum Prozessorkern gehören eingebaute Caches sowie die Schaltmittel der Interfaces und Bussysteme.

Am Kern ändert sich meist nicht viel

Ein moderner Hochleistungsprozessor ist so kompliziert (und seine Entwicklung ist so kostspielig), daß die Entwickler froh sind, wenn sie ihn soweit zum Funktionieren gebracht haben, daß man es wagen kann, ihn zu verkaufen. (Absolut fehlerfrei ist er dann immer noch nicht. Die vielen Kleinigkeiten - man spricht dann auf einmal Latein und nennt sie „Errata“ - werden teils stillschweigend mittels Software ausgebügelt. Manche dieser Fehler dürften wohl auch zur allgemeinen Unzuverlässigkeit der PCs beitragen. Einige haben sogar eine gewisse Berühmtheit erlangt.) Deshalb werden Prozessorkerne nur sehr behutsam geändert. Die Leistungssteigerung wird vor allem erreicht durch:

- Verbesserungen der Halbleitertechnologie (vor allem: Fertigung mit geringeren Strukturbreiten - das erlaubt den Betrieb mit höheren Taktfrequenzen),
- größere und besser organisierte Caches,
- Verbesserungen beim Bus-Interface (schneller, wirksamere Vorkehrungen zum Puffern von Zugriffen (Schreibpufferung, spekulatives Lesen)).

Deshalb ist oft davon die Rede, daß der neue Prozessor XYZ einen verbesserten ABC-Core enthält. Beispielsweise beruhen alle Intel-Prozessoren Pentium Pro, II und III auf dem sog. P6-Core, der Pentium 4 hat den sog. P7-Core usw.

Skalierbarkeit (Scalability)

Der Begriff hat im Computerwesen mehrere Bedeutungen. Hier - wenn es um den einzelnen Prozessor geht - meint man damit die Möglichkeit, eine ganze Familie von Prozessoren ein und derselben Architektur anbieten zu können: besonders preisgünstige, solche mit besonders geringem Strombedarf, mit besonders hoher Verarbeitungsleistung usw. In der Vergangenheit hat man, um derartige Anforderungen zu erfüllen, jeweils eine eigene Hardware entworfen. So bestand das legendäre System /360 (IBM, 60er Jahre) aus mehreren Modellen mit Verarbeitungsbreiten von 4, 8, 16, 32 und 64 Bits, die teils auf geringe Kosten, teils auf hohe Leistung hin ausgelegt waren. Heutzutage greift man auch hierfür auf jeweils einen einzigen Prozessorkern zurück, der lediglich mit mehr oder weniger aufwendigen Zusatzschaltungen, Caches usw. erweitert und in verschiedenen Halbleitertechnologien gefertigt wird. Beispielsweise beruhen die Prozessorbaureihen Celeron (für besonders preisgünstige PCs (Value PCs)), Pentium (für PCs mittleren Leistungsvermögens (Mainstream PCs)) und Xeon (für Systeme der oberen Leistungsklassen) auf dem P7-Core (frühere Modelle auf dem P6-Core). Das gilt sinngemäß für die AMD-Typen Duron und Athlon (K7-Core).

2.2.6. CISC und RISC

CISC = Complex Instruction Set Computer Architecture = Rechnerarchitektur mit umfangreicher Befehlsliste (und entsprechend komplizierten Wirkprinzipien), RISC = Reduced Instruction Set Computer Architecture = Rechnerarchitektur mit vereinfachter Befehlsliste (und entsprechend vereinfachten Wirkprinzipien).

Die Begriffe werden nicht selten als Schlagworte verwendet. Wir merken uns zunächst:

- IA-32 ist eine typische CISC-Architektur,
- PowerPC (in den Macintosh-Computern) ist eine typische RISC-Architektur,
- IA-64 ist eine weiterentwickelte RISC-Architektur mit programmseitig steuerbarer Parallelarbeit,
- AMD64 ist eine auf Grundlage von IA-32 weiterentwickelte CISC-Architektur,
- die Auslegung (ob CISC, ob RISC) ist in der Anwendungspraxis nur von geringer Bedeutung.

2.2.7. Prozessorbezeichnungen

Diese werden immer verwirrender. In der Vergangenheit hatte man sich an die in der Technik üblichen bescheidenen Typennummern und Buchstaben-Ziffern-Kombinationen gehalten (8080, Z80, 8086, i486 usw.). Anfang der 90er Jahre hatte sich Intel veranlaßt gesehen, den Nachfolger des i486 nicht etwa als 586 zu bezeichnen, sondern das Kunstwort „Pentium“ einzuführen. Der Grund: eine bloße Ziffernfolge kann man sich nicht als eingetragenes Warenzeichen schützen lassen (was sich schützen ließe, wäre bestenfalls die Schriftgestaltung - diese könnte aber einen Wettbewerber nicht daran hindern, seinen Prozessor ebenfalls 586 zu nennen). Weitere Bezeichnungen, wie Celeron, Xeon, Athlon, Opteron usw. sind ebenfalls auf diese Tatsache zurückzuführen (die Namensgebung ist reine Geschmackssache und letztlich Angelegenheit der Marketingabteilung des jeweiligen Herstellers).

Eine neuere Mode: oft werden Prozessoren (aber auch Motherboard-Schaltkreissätze, Geräte und Programmsysteme) mit ihren firmeninternen Projektbezeichnungen angesprochen. Die Projektbezeichnung mit einem - mehr oder weniger geheimnisvoll klingenden - „Tarnnamen“ ist eine Eigenart der US-Industrie. Als Beispiele mögen Bezeichnungen wie Memphis, Cairo, Katmai, Coppermine, Tualatin, Willamette, Northwood, Thunderbird, Prescott usw. dienen. Wurden in der Vergangenheit solche Namen ängstlich geheimgehalten, so geht man heute nicht selten damit gleichsam hausieren - es verschafft zusätzliche (zudem kostenlose) Publizität, und jene, die mit diesen Begriffen um sich werfen, können sich auf ihr Insider-Wissen etwas einbilden.

Wenn Sie irgendwo nachfragen oder eine Bestellung auslösen wollen, nützt Ihnen „Willamette“, „Prescott“ usw. praktisch gar nichts (niemand ist gezwungen, solche Namen auswendig zu lernen, und kein Bestellsystem wird sie akzeptieren). Es kann aber vorkommen, daß irgendwer ausdrücklich einen Blockhead-Prozessor oder ein Motherboard mit dem neuesten Super-Boaster-Schaltkreissatz wünscht - dann heißt es eben nachgrasen... (Z. B. in speziellen Internet-Sites. Bisweilen zeitaufwendig, aber durchaus wirksam: eine Suchmaschine mit der fraglichen

Bezeichnung im gesamten Netz herumsuchen lassen.)

2.3. Die Interfaces der Prozessoren

2.3.1. Überblick

Der Prozessor ist ein Schaltkreis mit einer Vielzahl von Anschlüssen. Er fällt oft schon durch seine Größe auf (vgl. beispielsweise die Abbildungen 1.1 und 1.12). Sein Interface ist durch die Belegung der Schaltkreisanschlüsse und durch die zugehörigen Signalfolgen gekennzeichnet.

Wir können drei grundsätzliche Auslegungen solcher Interfaces unterscheiden:

- der herkömmliche Prozessorbus
- das moderne Universalinterface,
- gar kein universelles Interface, sondern Speicher- und Peripherieschnittstellen.

Der herkömmliche Prozessorbus

Der Prozessorbus ist wie jeder herkömmliche Bus aufgebaut; er umfaßt typischerweise Adreßleitungen, Datenleitungen und Steuerleitungen. Über diese Schnittstelle können Speicher- und E-A-Zugriffe ausgeführt werden. Abbildung 2.1 zeigt ein vergleichsweise einfaches, überschaubares Interface, Abbildung 2.2 veranschaulicht das Prozessor-Interface in grundsätzlicher, allgemeiner Art. Die angegebenen Signale sind in irgendeiner Form bei allen einschlägigen Prozessortypen vorhanden.

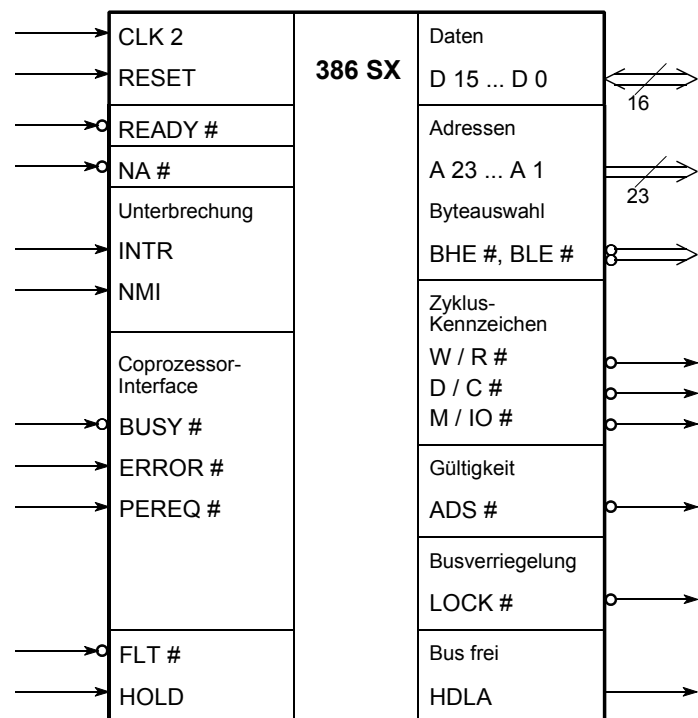


Abbildung 2.1 Fangen wir mit etwas Einfachem an: das Interface des Intel 386SX

Erklärung:

Der 386SX ist ein IA-32-Prozessor mit 386-Kern, aber vereinfachtem Interface (16 Datenleitungen, 24-Bit-Adressierung). „Dickere“ Prozessoren (386DX, 486, Pentium usw.) haben mehr Daten- und Adreßleitungen, so daß die Blockschaltbilder etwas unübersichtlicher aussehen. Im Prinzip sind aber all diese Interfaces gleichartig aufgebaut (Abbildungen 2.2 bis 2.4).

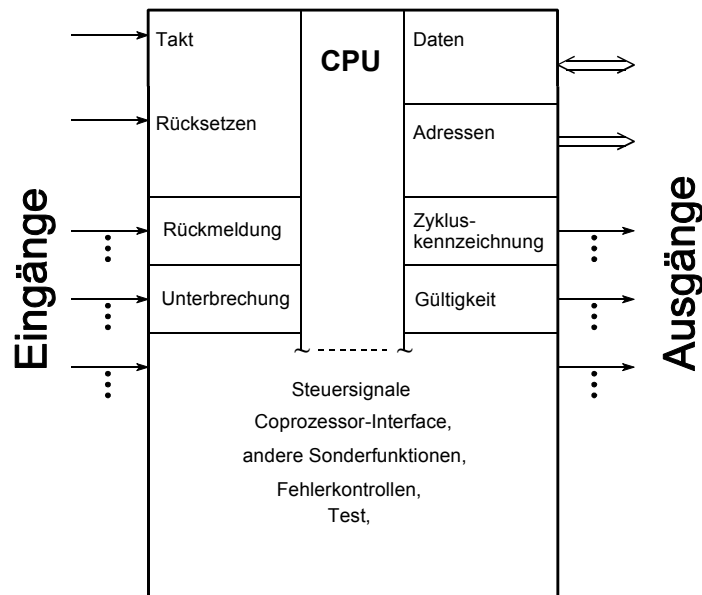


Abbildung 2.2 Das Prozessor-Interface in allgemeiner Form

Das Interface ist die universelle Schnittstelle des Prozessors zu seiner Umgebung. Hierüber werden alle entsprechenden Datentransporte erledigt (Lesen von Speicherinhalten, Schreiben von Daten in den Speicher, Datenausgabe, Dateneingabe). Diese Transportabläufe finden in Form von Buszriffen und Buszyklen statt. Es ist nicht schwer, zu erkennen, was dafür nötig ist:

- die gewünschte Speicherposition oder E-A-Einrichtung ist auszuwählen: *Adressierung*,
- es ist anzugeben, welchen Transportvorgang (Lesen, Schreiben, Eingabe, Ausgabe) auszuführen ist: *Zyklus-kennzeichnung*,
- schließlich sind die eigentlichen Daten zu liefern oder entgegenzunehmen.

Aus den Abbildungen 2.1 und 2.2 ist ersichtlich, daß es für diese funktionellen Anforderungen jeweils gesonderte Interfacesignale gibt. Weitere Signale betreffen die allgemeine „Infrastruktur“ (Takt, Rücksetzen usw.) und verschiedene Sonderfunktionen (Unterbrechungsauslösung, Fehlerkontrolle, Busverriegelung usw.).

Das moderne Universalinterface

Es ist entweder als Bus oder als Punkt-zu-Punkt-Verbindung aufgebaut (Abbildungen 2.3, 2.4). Wie ein herkömmliches Interface umfaßt es Adreßleitungen, Datenleitungen und Steuerleitungen. Diese Signalwege werden aber anders betrieben als ein herkömmlicher Prozessorbus.

Wir merken uns:

- beim herkömmlichen Prozessorbus gibt es zu einer Zeit nur einen Übertragungsvorgang. Alle Bussignale sind an diesem Übertragungsvorgang (Buszyklus) beteiligt.
- beim modernen Universalinterface können mehrere Zugriffe gleichzeitig in Arbeit sein. Verschieden Gruppen von Interfaceleitungen (Adressen, Daten, Rückmeldungen usw.) sind jeweils mit unterschiedlichen Übertragungsvorgängen beschäftigt.

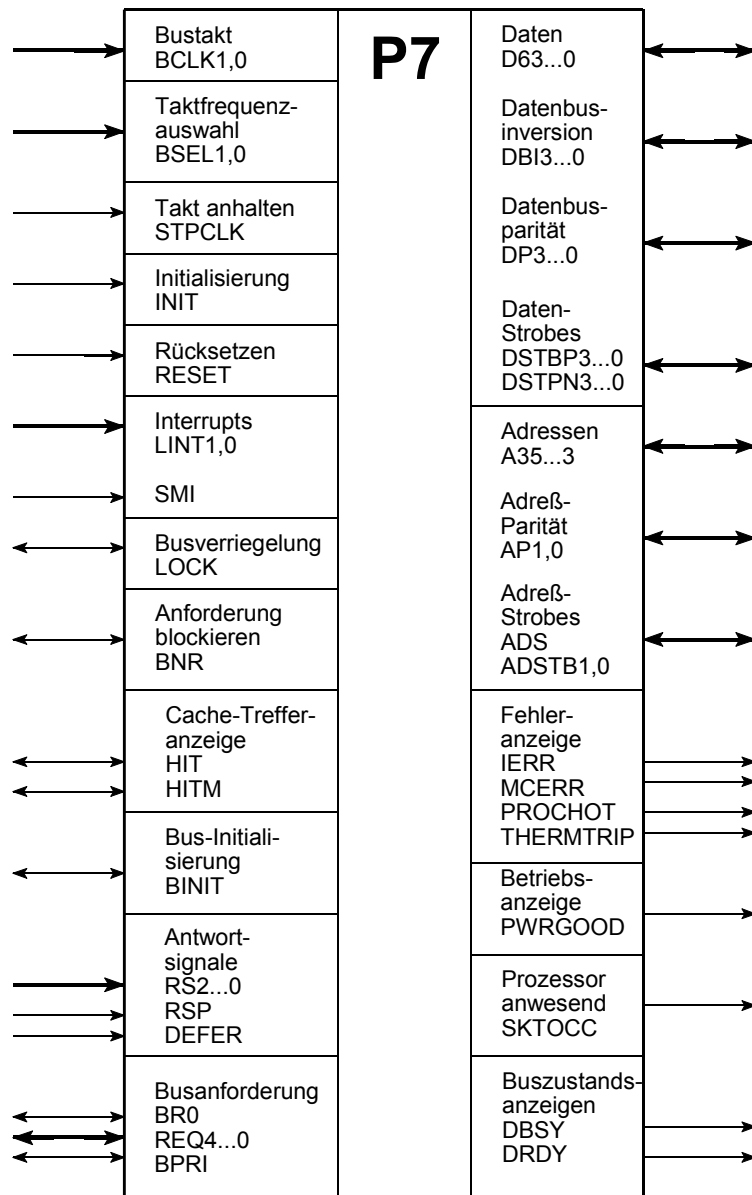


Abbildung 2.3 Das Interface eines P7-Prozessors (hier: eines Pentium 4). Vereinfachte Darstellung

Erklärung:

Es sind viele Signale. Und wir haben noch nicht einmal alle dargestellt (weggelassen wurden die Analogsignale, die Signale, die mit der Leistungsanalyse und dem Fehlersuchen zu tun haben, sowie einige Signale im Zusammenhang mit der Abwärtskompatibilität). Wir finden hier aber im Grunde die gleichen Signalarten wie in den Abbildungen 2.1 und 2.2.

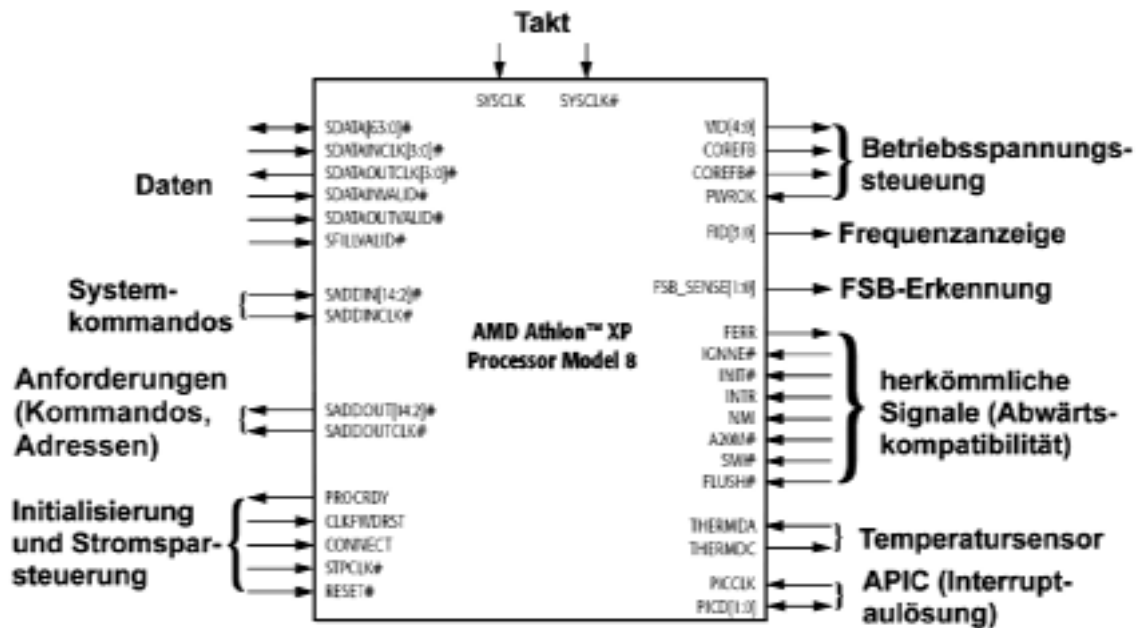


Abbildung 2.4 Das Interface eines Athlon-XP-Prozessors (nach: AMD)

Erklärung:

Der Athlon hat keinen „richtigen“ Bus, sondern eine Punkt-zu-Punkt-Schnittstelle zum Steuerschaltkreis. AMD nutzt hierfür das sog. EV6-Interface. Das ist die Schnittstelle der der Alpha-Prozessoren, einer 64-Bit-Baureihe, die in den 90er Jahren von der Fa. DEC (gibt es nicht mehr) entwickelt wurde. Gewisse Gemeinsamkeiten mit den vorhergehenden Abbildungen sind auch hier erkennbar: der Datenweg mit 64 Datenbits (SDATA[63:0]), der Kommando- und Adreßweg (SADDOUT [14:3]), Takt, Interruptauslösung usw.). EV6 ist eine synchrone Schnittstelle, die als evolutionäre Weiterentwicklung der herkömmlichen Mikroprozessor-Bussysteme angesehen werden kann. Erst die nächste Prozessorgeneration hat Schnittstellen, die - zumindest äußerlich - mit dem guten alten Mikroprozessorbus nichts mehr gemeinsam haben (z. B. HyperTransport).

Im folgenden wollen wir - zum Eingewöhnen - zunächst einen Überblick über Aufbau und Wirkungsweise der *herkömmlichen* Prozessor-Interfaces geben. Die einschlägigen Begriffe und Zusammenhänge brauchen wir, wenn es um die höherentwickelten Schnittstellen, um die anderen Bussysteme der PCs und um die peripheren Interfaces geht (es baut eben eines auf dem anderen auf...). Betrachten wir also den Prozessorbus als Einführung in den allgemeinen Problemkreis der Bussysteme und Interfaces.

2.3.2. Datentransporte

Adressen

Aus der Sicht des Prozessors sind die Adreßleitungen *Ausgänge*. Der Prozessor belegt diese Leitungen mit Adressen, um jeweils eine bestimmte Speicherposition oder E-A-Einrichtung auszuwählen.

Daten

Der Prozessor benutzt die Datenleitungen wahlweise als Eingänge (Lesen, Eingabe) oder als Ausgänge (Schreiben, Ausgabe). Eine solche Betriebsweise heißt *bidirektional* (wörtlich: Betrieb in zwei Richtungen). Ein Prozessor hat üblicherweise 8, 16, 32 oder 64 Datenleitungen.

Steuersignale

Zykluskennzeichnung

Über besondere Kennzeichnungssignale gibt der Prozessor die Art des jeweiligen Zugriffs an (Lesen von Befehlen, Lesen von Daten, Schreiben, Eingabe, Ausgabe usw.).

Gültigkeitssignale

Gültigkeitssignale sind Ausgänge des Prozessors, mit denen er den zeitlichen Ablauf der einzelnen Zugriffe kennzeichnet. Üblicherweise läuft ein Zugriff so ab, daß der Prozessor zunächst die Adressen- und Kennzeichnungssignale entsprechend belegt. Bis diese Belegung an den Anschlüssen der anderen Einrichtungen wirklich anliegt, vergeht eine gewisse Zeit.

Machen wir uns klar: In der Praxis gibt es immer Toleranzen, kleine Unterschiede in der zeitlichen Verzögerung zwischen den verschiedenen Leitungen. Eine Einrichtung, die beispielsweise Daten zum Prozessor liefern soll (ein Speicher oder ein E-A-Gerät) kann also nicht ohne weiteres erkennen, wann eine neue Belegung von Adressen- und Steuerleitungen anliegt. Um dies eindeutig zu kennzeichnen, gibt der Prozessor Gültigkeitssignale aus.

Rückmeldungen

Rückmeldungen sind aus der Sicht des Prozessors *Eingänge*. Ihr Zweck besteht darin, der jeweils angesprochenen Einrichtung zu ermöglichen, dem Prozessor das Ende des jeweiligen Zugriffs mitzuteilen.

Wartezustände (Wait States)

Bei den Prozessoren der üblichen Personalcomputer hat man folgendes Signalspiel vorgesehen: Der Prozessor fragt die Rückmeldesignale zu bestimmten Zeitpunkten ab. Ist das betreffende Signal zum Zeitpunkt der Abfrage aktiv, so wird der Zugriff beendet. Ist es inaktiv, wird ein sogenannter *Wartezustand* (Wait State) eingefügt. Dieser hat ebenfalls eine bestimmte Dauer (typischerweise: 1 Taktzyklus). Vor Beendigung des Wartezustandes wird das Rückmeldesignal nochmals abgefragt. Ist es aktiv, wird der Zyklus beendet. Ansonsten folgt ein weiterer Wartezustand usw. Die Rückmeldung wirkt somit als „Fertig“-Anzeige (Ready-Signal).

Die Anzahl der Wartezustände (also der zusätzlichen Taktzyklen), die für bestimmte Zugriffe notwendig ist, hat einen bedeutenden Einfluß auf das Leistungsvermögen eines Computers. Solche Angaben werden deshalb oft besonders herausgestellt (z. B. als Werbeaussage „Zero Wait States“ oder „No Wait States“ (NOWS), d. h. Betrieb ohne Wartezustände). Siehe weiterhin Abschnitt 2.3.8.

2.3.3. Unterbrechungen

Das Unterbrechungssystem

Das Unterbrechungssystem (Interruptsystem) wirkt folgendermaßen: Die *Unterbrechungsauslösung* bewirkt, daß der Prozessor vorübergehend damit aufhört, das aktuelle Programm weiter zu bearbeiten. Statt dessen beginnt er, ein neues Programm auszuführen. Die Prozessoren sind so ausgebildet, daß jede einzelne Unterbrechungsauslösung eindeutig ein bestimmtes Programm startet. Dieses ist üblicherweise dazu vorgesehen, die Ursache der Unterbrechungsauslösung zu untersuchen und auf diese Tatsache zweckgerecht zu reagieren. Solche Programme werden deshalb als *Unterbrechungsbehandler* (Interrupt Handler; sprich: Interrappt Händler) bezeichnet. Vor dem Start eines Unterbrechungsbehandlers werden die aktuellen Zustandsangaben des zuvor ausgeführten (unterbrochenen) Programms *gerettet*, so daß dessen Ausführung nach Abarbeitung des Unterbrechungsbehandlers wieder fortgesetzt werden kann. Diese Programmfortsetzung wird als *Rückkehr aus der Unterbrechungsbehandlung* (Return from Interrupt) bezeichnet.

Unterbrechungsauslösung

Manche Ursachen zur Unterbrechungsauslösung liegen innerhalb des Prozessors. Sie werden üblicherweise als *Ausnahmen* oder Ausnahmebedingungen (Exceptions; sprich: Ekseptschns) bezeichnet.

Hier gilt unsere Aufmerksamkeit aber den *äußeren* Ursachen. Weshalb ist es so wichtig, von außen im Prozessor Unterbrechungen auslösen zu können? Wäre eine solche Möglichkeit nicht gegeben, so müßte der Prozessor alle besonderen Bedingungen, die für seine Arbeit von Bedeutung sind, durch programmseitige Lesezugriffe *abfragen*, um darauf reagieren zu können. Es ist klar, daß auch dann, wenn *keine* Bedingungen auftreten, der Prozessor mit dem Abfragen beschäftigt ist, wobei er keine Verarbeitungsleistung im eigentlichen Sinne erbringen kann.

Es ist deshalb von Vorteil, den Prozessor normal arbeiten zu lassen (so daß er Leistungen für den Anwender erbringt) und ihm gezielt mitzuteilen, daß „außen“ entsprechende Bedingungen aufgetreten sind.

Unterbrechungssignale

Wir beschränken uns hier auf die herkömmliche Auslegung der x86- und IA-32-Prozessoren. Es gibt nur zwei Unterbrechungseingänge:

Maskierbare Unterbrechung (Interrupt). Der Prozessor kann durch besondere Befehle steuern, ob die Erregung dieser Leitung zu einer Unterbrechung führt oder nicht.

Nichtmaskierbare Unterbrechung (NMI; Non-Maskable Interrupt). Die Erregung dieser Leitung führt *immer* zu einer Unterbrechung; der Prozessor kann dies programmseitig nicht unmittelbar beeinflussen.

Ermittlung der Unterbrechungsursache

Um die Ursache einer maskierbaren Unterbrechung ermitteln zu können, sind üblicherweise besondere Signalspiele am Prozessor-Interface vorgesehen, die von ergänzenden Schaltkreisen unterstützt werden (aus Abbildung 1.25 und Tabelle 1.1 ersehen wir, daß im PC/AT - und somit auch in allen „kompatiblen“ PCs - zwei Unterbrechungssteuerschaltkreise (Interrupt Controller) des Typs Intel 8259 vorgesehen sind). Moderne Computer haben auch moderne Unterbrechungssteuerschaltungen (teils in den Prozessoren, teils im Schaltkreissatz). Die Intel-Bezeichnung APIC (Advanced Programmable Interrupt Controller).

2.3.4. Takt

Der Takt ist eine kontinuierliche Impulsfolge mit gleichbleibender Frequenz, die dem Prozessor zugeführt wird. Auf diese Taktimpulse sind alle anderen Zeitverhältnisse des Prozessor-Interfaces bezogen. Taktimpulse werden von Taktgeneratoren erzeugt (das sind teils gesonderte Schaltkreise auf dem Motherboard, teils Schaltungskomplexe in den Prozessoren und Steuerschaltkreisen).

Die Taktfrequenz, mit der ein Prozessor betrieben wird, bestimmt unmittelbar dessen Arbeitsgeschwindigkeit. Im allgemeinen gibt es aber mehrere Taktfrequenzen, zwischen denen sorgfältig zu unterscheiden ist:

1. das dem Prozessor zugeführte Taktsignal (wird von einem externen Taktgenerator geliefert),
2. der Takt des Prozessorbus (bei modernen Prozessoren: des Front Side Bus). Der aktuelle Fachbegriff: CPU FSB Clock.
3. der interne Arbeitstakt des Prozessors (Internal CPU Clock),
4. bei Prozessoren mit gesondertem Interface zum L2-Cache: der Takt des Cache-Zugriffs,
3. bei manchen Prozessoren: die Zeitraster der Steuervorgänge und der Datenübertragung über den FSB (beschleunigte Datenübertragung).

Taktsignal und Arbeitstakt

Es gibt drei Ausführungen:

Ausführung 1:

Der zugeführte Takt hat eine höhere Frequenz als der interne Arbeitstakt des Prozessors. Der wiederum entspricht dem Takt des Prozessor-Bus. Beispiel: ein 33-MHz-Prozessor arbeitet sowohl intern als auch an seinem Interface mit 33 MHz. Ihm muß aber ein Taktsignal mit einer Frequenz von 66 MHz zugeführt werden. Veraltet. Beispiel: die ursprünglichen 386-Typen von Intel.

Ausführung 2:

Es gibt nur einen einzigen Takt. Ein 33-MHz-Prozessor erhält somit direkt einen 33-MHz-Takt zugeführt, und auch sein Interface arbeitet mit dieser Taktfrequenz. Beispiel: die ursprünglichen 486-Typen von Intel. Im Bereich der Mikrocontroller nach wie vor Stand der Technik.

Ausführung 3:

Der Prozessor arbeitet intern schneller, und zwar mit einem Takt, dessen Frequenz höher ist als die des zugeführten Taktes. Das Prozessor-Interface arbeitet hingegen mit der Frequenz des zugeführten Taktes. Im einfachsten Fall hat ein solcher Prozessor intern die doppelte Taktfrequenz (historisches Beispiel: i486 DX2). Grundsätzlich ist praktisch jedes Teilverhältnis zwischen „Innen“ (Prozessorkern = Core) und „Außen“ (Prozessorbus (FSB)) einstellbar, das sich als Verhältnis ganzer Zahlen (mit anderen Worten: als Bruch) ausdrücken läßt. Beispiel: äußerer Takt: 200 MHz, innerer Takt 2,4 GHz. Teilverhältnis $2 : 24 = 1 : 12$. Es kommen aber auch „krumme“ Brüche vor. Historisches Beispiel: Teilverhältnis $9 : 2 (= 4,5 : 1)$, das heißt, der Prozessor arbeitet bei einem äußeren Takt von beispielsweise 100 MHz intern mit 450 MHz. Diese interne „Frequenzvervielfachung“ entspricht dem aktuellen Stand der Technik.

*) : Fachbegriff: Core-to-Bus Clock Speed Ratio (sprich: Kohr-tu-Bass Klock S-piehd Reeschjo). Formel: *interner Takt = FSB-Takt · Clock Speed Ratio*.

Der Takt des Cache-Interfaces

Hat der Prozessor ein gesondertes Interface zum L2-Cache, so wird dessen Zugriffs-Takt zumeist als Verhältnis (Cache Divisor) angegeben (interner Arbeitstakt (Core Clock) des Prozessors : Takt der Cache-Zugriffe). Je kleiner das Verhältnis, desto besser (desto teurer aber auch der Prozessor...). Beispiele:

- $3 : 1 = 1$ Cache-Zugriff in 3 Taktzyklen,
- $2 : 1 = 1$ Cache-Zugriff in 2 Taktzyklen,
- $1 : 1 = 1$ Cache-Zugriff je Taktzyklus,
- $0,5 : 1 = 1$ Cache-Zugriff in jedem halben Taktzyklus (also: mit jeder Taktflanke) = 2 Cache-Zugriffe je Taktzyklus.

Takt und Daten

Nahezu alle Datenübertragungsabläufe in modernen Personalcomputern werden auf Taktsignale bezogen (Abbildung 2.5).

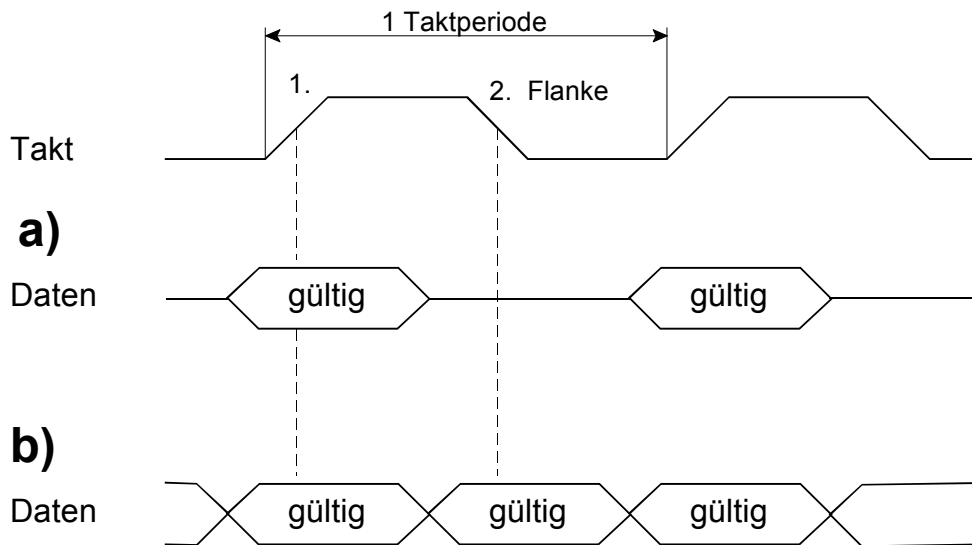


Abbildung 2.5 Datenübertragung in Bezug auf ein Taktsignal

Erklärung:

Taktsignale werden impulsförmig erzeugt. Eine Taktperiode umfaßt einen Taktimpuls und die Pause bis zum Beginn des nächsten Impulses^{*)}. Jeder Impuls hat zwei Flanken - eine ansteigende und eine abfallende. Die Daten werden nur in Bezug auf diese Flanken als gültig gewertet.

*) : der Kehrwert der Periodendauer ist die Taktfrequenz.

Alle Einrichtungen (Prozessor, Hauptverteiler, Speichersteuerung usw.) werden mit dem gleichen Takt beliefert. In jedem Buszyklus weiß jede Einrichtung, was sie in jedem Takt zu tun hat. Beispiel: der Prozessor führt einen Lesezugriff zum Speicher aus. Hat der Speichersteuerschaltkreis (North Bridge oder MCH) die Daten zur Verfügung, so legt sie diese eine kurze Zeit vor der betreffenden Taktflanke auf den Bus. Kurze Zeit nach dieser Taktflanke kann die Datenbelegung wieder abgeschaltet oder durch die nächste ersetzt werden.

Je nachdem, wie die Taktflanken zur Datenübertragung ausgenutzt werden, unterscheidet man zwei Betriebsfälle:

- a) Datenübertragung mit nur einer Flanke. Die Datenrate (in Übertragungsvorgängen je Sekunde) entspricht der Taktfrequenz (Single Data Rate SDR). Diese Auslegung ist technisch einfacher beherrschbar: es steht (1) ersichtlicherweise genügend Zeit (nahezu eine volle Taktperiode) zur Verfügung, um die nächste Datenbelegung aufzuschalten, und es kommt (2) nicht so darauf an, wie breit der Taktimpuls ist.
- b) Datenübertragung mit beiden Flanken. Die Datenrate entspricht dem Doppelten der Taktfrequenz (Double Data Rate DDR). Diese Auslegung ist aber technisch um einiges anspruchsvoller: (1) um eine Datenbelegung ab- und die nächste aufzuschalten, steht

weniger als eine halbe Taktperiode zur Verfügung (das sind heutzutage bestenfalls nur wenige ns!); (2) die Taktimpulse müssen exakt symmetrisch sein (Impulsdauer = Pausendauer = $\frac{1}{2}$ Taktperiode).

Beschleunigte Datenübertragung

Steuerfunktionen erfordern eine gewisse „Intelligenz“ in den beteiligten Einrichtungen: es sind Kommandos zu entschlüsseln, es ist die Betriebsbereitschaft zu prüfen, es ist zu melden, daß die Daten bereitstehen usw. Es leuchte ohne weiteres ein, daß dafür eine gewisse Zeit benötigt wird. Im Gegensatz dazu ist das Übertragen von beispielsweise 256 aufeinanderfolgenden Bytes ein simples Weiterreichen. Diese Tatsache wird seit einiger Zeit ausgenutzt. Die Steuerfunktionen beziehen sich nach wie vor auf den herkömmlichen Bustakt (z. B. 100, 133 oder 200 MHz), die Datenübertragungen laufen hingegen nach einem schnelleren Taktraster ab.

Solche Taktsignale - die das Zeitraster der Datenübertragung vorgeben - heißen üblicherweise Strobe-Signale oder Strobes (vgl. beispielsweise die Daten- und Adreß-Strobes in Abbildung 2.3). Sie werden so angesteuert, daß sie in die gleiche Richtung fließen wie die zu übertragenden Daten. Beispiel (Pentium 4, Xeon usw.): doppelte Frequenz und Nutzung beider Taktflanken (doppelte Datenrate) ergeben eine vierfache Geschwindigkeit (4X) gegenüber der herkömmlichen Nutzung des Bustaktes. Weitere Beispiele: (1) die DDR-DRAMs, (2) die AGP-Schnittstelle.

2.3.5. Rücksetzen

Durch das Rücksetzen wird ein definierter Ausgangszustand des Prozessors eingestellt, von dem an die Programmausführung beginnt. Das Rücksetzen wird dem Prozessor durch einen besonderen Eingang (RESET) angezeigt. Grundsätzlich ist das Rücksetzen nach dem Zuschalten der Versorgungsspannung erforderlich. In den meisten Computern kann es aber auch durch Tastenbetätigung ausgelöst werden, um nach einem „Hängenbleiben“ oder „Abstürzen“ der Programmausführung mit der Arbeit von neuem beginnen zu können (RESET-Taste). Man kann darüber hinaus ein System so gestalten, daß in bestimmten (von der Hardware erkannten) Fehlersituationen das Rücksetzen automatisch ausgelöst wird.

2.3.6. Sonderfunktionen

Bei manchen Prozessoren sind zusätzliche Leitungen und Signalspiele vorgesehen, um Sonderfunktionen auszuführen. Solche Funktionen greifen nicht in den eigentlichen Programmablauf ein. Beispiele für Sonderfunktionen (sie werden teils von außen, teils vom Programm veranlaßt):

- das Freischalten des Prozessorbusses, damit dieser von anderen Einrichtungen für Datenübertragungen benutzt werden kann,
- das Verriegeln des Prozessorbusses, so daß andere Einrichtungen zeitweilig von dessen Nutzung ausgeschlossen werden,
- das Überprüfen des Inhaltes von Schnellspeichern (Caches), die auf dem Prozessorschaltkreis untergebracht sind (wir nennen hier nur die Fachbegriffe: Cache Coherency

- und Cache Invalidation),
- die Überwachung der Datentransporte auf Fehler (bis hin zur Fehlerkorrektur),
- das Prüfen der Hardware auf Funktionsfähigkeit.

2.3.7. Herkömmliche und moderne Bussysteme

Herkömmliche Bussysteme: ungeteilte Übertragung

Die Datenübertragung beginnt mit einer Anfangsadresse und betrifft eine bestimmte Anzahl von Datenbytes. Adreß- und Datenübertragung bilden eine Einheit: den Buszyklus (Bus Cycle; sprich: Bass Seikl). Zu Beginn des Buszyklus liefert der Prozessor die Anfangsadresse und kennzeichnet die Art des Zugriffs. Darauf folgt unmittelbar die Datenübertragung, die ggf. in Form mehrerer aufeinanderfolgender Datenzyklen ausgeführt wird (Burst-Zyklen). Die Dauer der einzelnen Datenzyklen kann durch Wartezustände verlängert werden. Wird ein Wartezustand signalisiert, so wartet der Prozessor, bis dieser zu Ende ist. (Es kann sein, daß intern weiterhin Befehle abgearbeitet werden - das findet aber sein Ende dann, wenn hierbei wiederum der Prozessorbuss benötigt wird.) Mit anderen Worten: die einzelne Übertragung beginnt mit dem Senden der Adresse und endet mit der Übernahme der zugehörigen Daten. In den Wartezeiten wird wirklich gewartet (Abbildungen 2.6 und 2.7).

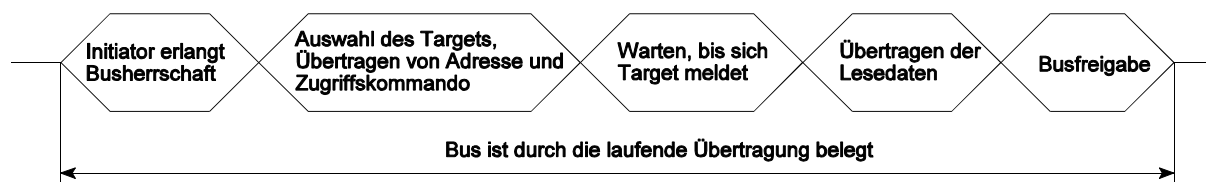


Abbildung 2.6 Der Ablauf eines Buszyklus bei ungeteilter Übertragung

Hinweis:

Die Begriffe "Initiator" und "Target" erklären wir in Kapitel 4.

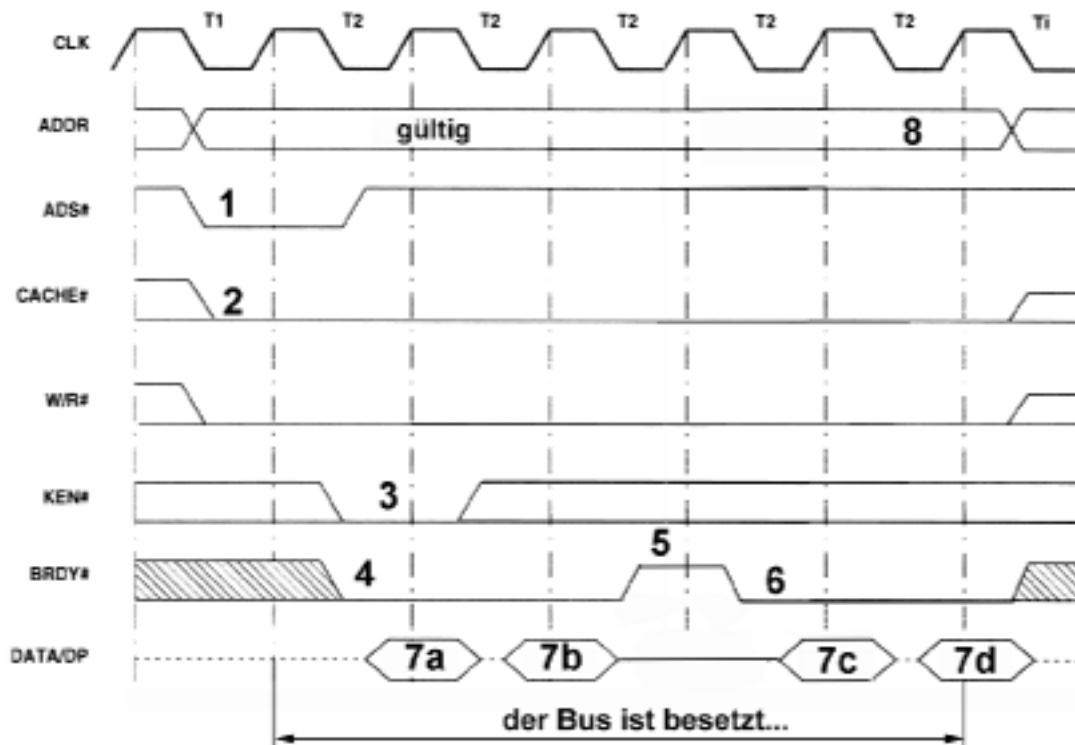


Abbildung 2.7 Ein Ablaufbeispiel (nach: Intel)

Erklärung:

Das Impulsiagramm zeigt einen Burstzugriff, und zwar einen Leseablauf. 1 - Beginn des Zugriffs; 2 - aktives CACHE kennzeichnet den Zugriff als Burstzugriff; 3 - KEN (vom Steuerschaltkreis geliefert) signalisiert, daß die betreffende Adresse in das Caching einbezogen ist; 4 - BRDY aktiv; Lesedaten werden übernommen; 5 - hier wird ein Wartezustand eingefügt (Ablaufbeispiel); 6 - Wartezustand ist beendet; die verbleibenden Lesedaten werden übernommen; 7a, 7b, 7c, 7d - die einzelnen 64-Bit-Worte, die in diesem Burstzugriff gelesen werden. 8 - die Adresse des ersten 64-Bit-Wortes liegt während des ganzen Zugriffs an. Während dieses Ablaufs

- sind alle Bussignale an diesem einen Buszyklus beteiligt,
- ist der Bus für andere Zugriffe blockiert - auch dann, wenn der Prozessor auf die Lesedaten warten muß (vgl. Position 5).

Moderne Bussysteme: geteilte Übertragung (Split Transactions)

Die Auftragserteilung (Adresse + Art des Zugriffs) ist von der eigentlichen Datenübertragung getrennt. Beispielsweise läuft ein Lesezugriff so ab, daß der Prozessor zunächst nur einen *Leseauftrag* absetzt. Dann wird der Bus wieder freigegeben. Hat der Speicher die Daten zur Verfügung, so liefert er sie in einem nachfolgenden Buszugriff an den Prozessor zurück. In der Wartezeit könnte der Prozessor weitere Zugriffsaufträge absetzen. Der Bus kann also nicht durch Wartezustände blockiert werden.

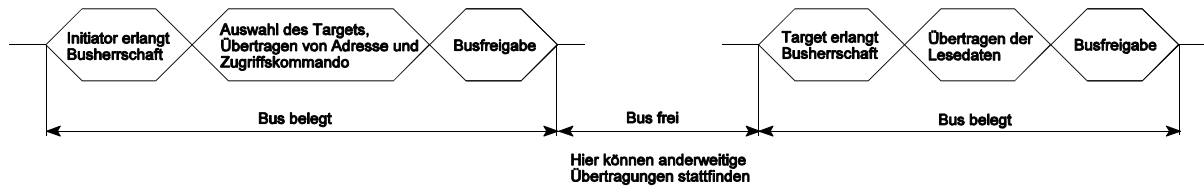


Abbildung 2.8 Der Ablauf eines Buszyklus bei geteilter Übertragung (Split Transaction)

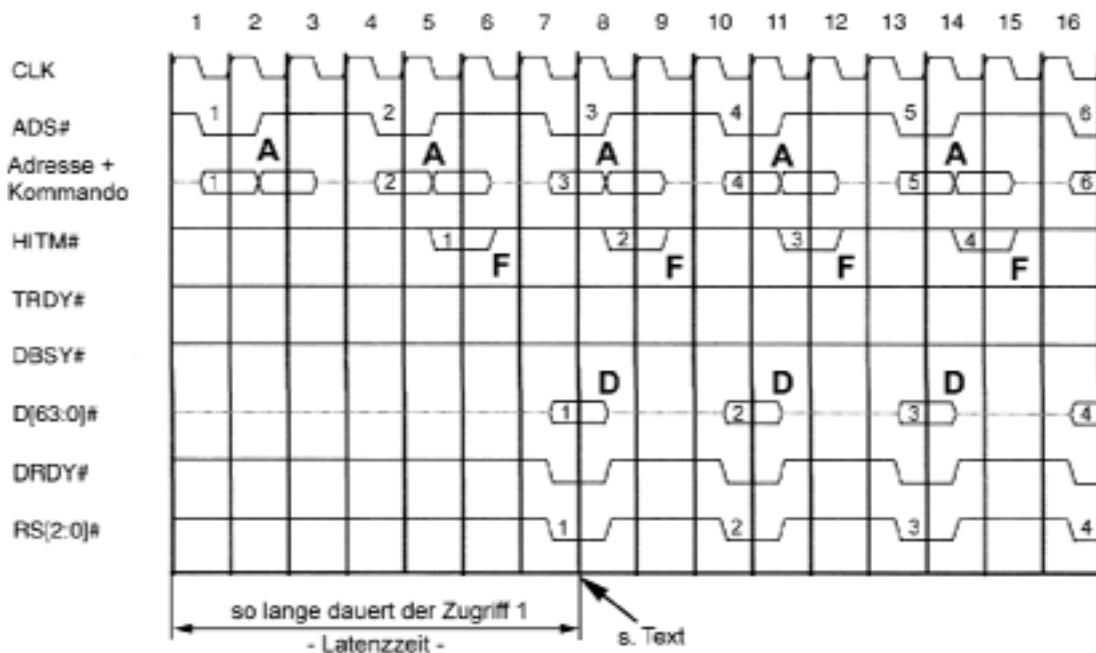


Abbildung 2.9 Aufeinanderfolgende Lesezugriffe am FSB (Intel)

Erklärung:

Es werden nacheinander Lesezugriffe (Transaktionen) 1, 2, 3 usw. in Auftrag gegeben und erledigt. A - Anforderungsphasen; F - Fremdzugriffsprüfung; D - Datenübertragung (hier: jeweils 8 Bytes) mit Antwortphase. Wir sehen, daß auch hier die Übertragungsvorgänge ihre Zeit brauchen. Betrachten wir beispielsweise den Zugriff 1. Nach der Anforderungsphase vergehen 6 Taktzyklen, bis endlich die Daten übertragen werden. Bei einer ungeteilten Übertragung (vgl. Abbildung 2.7) wäre der Bus mit diesem einen Zugriff die gesamte Zeit belegt gewesen. Hingegen werden hier schon die Zugriffe 2 und 3 gestartet, während der Zugriff 1 noch anhängig ist.

Die verschiedenen Gruppen der Bussignale (Adresse, Daten usw.; vgl. Abbildung 2.3) arbeiten hier nicht gemeinsam an einem Zugriff, sondern sie können - unabhängig voneinander - jeweils mit verschiedenen Zugriffen beschäftigt sein. Beispiel: der Taktzyklus 8 (Pfeil). Die Adreßleitungen werden für den Zugriff 3 genutzt, die Datenleitungen hingegen für den Zugriff 1.

Woher kommen die weiteren Aufträge, wenn der Prozessor eigentlich darauf warten muß, daß der erste erledigt wird? - Das ergibt sich aus den vielfältigen Vorkehrungen zur

Zwischenpufferung und zur Ablaufüberlappung. So kann die eine Funktionseinheit des Prozessors vorbeugend neue Befehle anfordern, während die andere noch auf die Erledigung eines Zugriffs wartet. Was allerdings auch bei den neuesten Prozessoren (noch?) *nicht* der Fall ist: daß die *Systemsoftware* vom Warten etwas merkt und veranlaßt, daß in den „Zwangspausen“ andere Programme ausgeführt werden. Was es aber schon gibt: die *Hardware* nutzt die Pausen aus und gibt einem weiteren Prozessor (auf dem gleichen Schaltkreis) Gelegenheit, seine Aufträge über den Bus abzusetzen (Beispiel: Intels Hyper-Threading Technology).

2.3.8. Leistungskennwerte

Bezeichnung von Buszyklen herkömmlicher Bussysteme

Die Buszyklen werden gemäß ihrer Dauer bezeichnet, wobei diese in Taktzyklen gemessen wird. In „normalen“ Zyklen findet jeweils ein einziger Informationstransport statt. Dabei werden so viele Bits auf einmal übertragen, wie dies mit den vorhandenen Datenleitungen möglich ist (z. B. 16, 32 oder 64). Moderne Prozessoren haben darüber hinaus noch die Möglichkeit, Informationstransporte in Form sogenannter Burst-Zyklen auszuführen (Burst Cycles; sprich: Bürst Seikls). Dabei umfaßt ein Buszyklus mehrere schnell aufeinanderfolgende Datenzyklen, wobei in jedem Datenzyklus beispielsweise 64 Bits auf einmal übertragen werden. Die Höchstzahl der Datenzyklen in einem Burst-Zyklus liegt fest (Beispiel: 4 bei den 486- und P5-Prozessoren). Diese Erläuterungen sind notwendig, um folgende Angaben zu verstehen:

Normale Zyklen

Die Takte der Lese- und Schreibzyklen werden gemeinsam angegeben. Dauert ein normaler Lesezyklus r Takte und ein normaler Schreibzyklus w Takte, so spricht man (in Leistungsangaben) von r - w -Zyklen. Beispiel: 2-2-Zyklen erfordern jeweils zwei Takte für Lese- und Schreibzugriff; 3-2-Zyklen hingegen drei Takte für das Lesen und zwei für das Schreiben.

Burst-Zyklen

Hier werden die Takte der einzelnen Datenzyklen nacheinander angeführt. Der schnellstmögliche Burst-Zyklus eines 486- oder P5-Prozessors ist ein 2-1-1-1-Zyklus. Hingegen erfordert beispielsweise ein 4-1-1-1-Zyklus 4 Takte für den ersten Datentransport und je einen Takt für die drei folgenden. Das heißt, im ersten Datenzyklus treten zwei Wartezustände auf. (Anzahl der Wartezustände = tatsächlich benötigte Taktzyklen - minimale Anzahl der Taktzyklen. Bei den 486- und P5-Prozessoren ist die minimale Anzahl = 5.)

Datenraten herkömmlicher Bussysteme

Die Datenrate gibt an, wieviele Bits bzw. Bytes in einer bestimmten Zeit über das Interface transportiert werden können. Die typische Maßangabe: MByte/s (mit $1\text{ M} = 10^6 = 1\text{ Million}$). Eine hohe Datenrate wird in der Werbung gern herausgestellt. Damit es nach etwas aussieht, nennt man oft nur die im bestmöglichen Fall erreichbare Datenrate. Der bestmögliche Fall entspricht fortlaufenden Zugriffen ohne Wartezustände. Um noch besser auszusehen, beschränkt man sich nicht selten auf die während eines Burst-Zugriffs maximal erreichbare Datenrate. IA-32-Prozessoren können hierbei in jedem Taktzyklus eine Busbelegung übertragen (486: 4 Bytes, P5 usw.: 8 Bytes). Ein Prozessor mit 100-MHz-Bus (z. B. AMD K6) hätte so eine maximale Datenrate von 8 Bytes je Taktzyklus (zu 10 ns). $8\text{ Bytes}/10\text{ ns} = 800\text{ MBytes/s}$. Aber Achtung:

ein Burst besteht aus maximal 4 Datenübertragungen - und die erste erfordert 2 Takte (2-1-1-1-Zyklus). Es lassen sich also bestenfalls (wenn keine Wartezustände dazwischenkommen) $4 \cdot 8 = 32$ Bytes in 5 Taktperioden zu 10 ns - also in 50 ns - übertragen. $32 \text{ Bytes} : 50 \text{ ns} = 640 \text{ MBytes/s}$. Und nochmals Achtung: der erste Zyklus erfordert in der Praxis mehr als nur 2 Takte, und auch die nachfolgenden Datenzyklen können gelegentlich länger dauern (typische Zugriffsfolgen sind u. a. 3-1-1-1, 3-2-2-2, 5-2-2-2 bis hin zu 9-3-3-3 usw.).

Datenraten moderner Bussysteme

Bei modernen Hochleistungsprozessoren (Pentium II, III, 4, Xeon, Athlon, Duron usw.) verzichtet man typischerweise auf Einzelangaben, sondern begnügt sich damit, die Taktfrequenz des Front Side Bus und das Taktraster der Datenübertragung (die Datenübertragungsfrequenz) herauszustellen (FSB-Takt beispielsweise 100 MHz, 133 MHz, 200 MHz usw., Datenübertragung mit beispielsweise 400, 533 oder 800 MHz). Manche Marketingleute geben sogar nur das Zeitraster der Datenübertragung (Datenübertragungsfrequenz) an und sprechen beispielsweise von einem Prozessor mit einem 800-MHz-Bus...

Latenzzeiten

Die Zeit von der Auslösung einer bestimmten Anforderung bis zu deren Erfüllung heißt Latenzzeit (Latency; sprich: Lehtennsie). Beispiel: wir wollen ein bestimmtes Byte aus einem Speicher lesen. Hierzu müssen wir zunächst einmal die Adresse und die Aufforderung zum Lesen absenden. Daraufhin muß der Speicher den eigentlichen Zugriff ausführen und die gelesenen Daten zurückliefern (vgl. Abbildung 2.9). Das grundsätzliche Problem: Datenraten-Angaben betreffen typischerweise eine fortlaufende Datenübertragung, sagen aber nichts darüber aus, wie lange es dauert, bis die Übertragung wirklich beginnt. Es ist nun viel einfacher, die Datenrate bei fortlaufender Übertragung zu erhöhen als die Latenzzeiten zu senken. Immer wieder werden Prozessoren, Schaltkreissätze, Speicher usw. mit gigantischen Datenraten angekündigt und in der Werbung groß herausgestellt. Oft sehen sie aber im praktischen Betrieb bei weitem nicht so überlegen aus. Das liegt häufig daran, daß die Latenzzeiten zu lang sind.

Wir merken uns:

An modernen Bussystemen gibt es keine Wartezustände, aber Latenzzeiten. Die sind auch kaum kürzer. Nur spricht niemand darüber...

2.4. Prozessorbauformen

2.4.1. Herkömmliche Prozessoren

Mikroprozessoren und Mikrocontroller werden in verschiedenen Gehäuetypen untergebracht (Abbildung 2.10). IA-32-Prozessoren hat man vor allem in Gehäuse verpackt, die an ihrer Unterseite eine raster- bzw. gitterförmige Anordnung von Kontaktstiften (Pins) haben (Fachbegriff: PGA = Pin Grid Array). Derartige Schaltkreise lassen sich in Steckfassungen einsetzen. Jeder Prozessortyp hat seine besonderen Gehäuseabmessungen und ein besonderes Anschlußbild. Die von Intel eingeführte Bezeichnungsweise der Anschlußbilder (als „Socket“ (Socket) 4, 5, 7 usw.) hat sich in der Industrie durchgesetzt (Abbildung 2.11, Tabelle 2.3).



Abbildung 2.10 Prozessoren - eine kleine Auswahl

Erklärung:

1 - 8-Bit-Mikrocontroller mit eingebautem EPROM (und Quarzglasfenster zum Löschen); 2 - 8-Bit-Mikrocontroller mit Flash-ROM; 3 - 32-Bit-Mikrocontroller; 4 - AMD 80286; 5 - Intel i486; 6 - Intel Pentium MMX mit Kühlkörper und Lüfter.

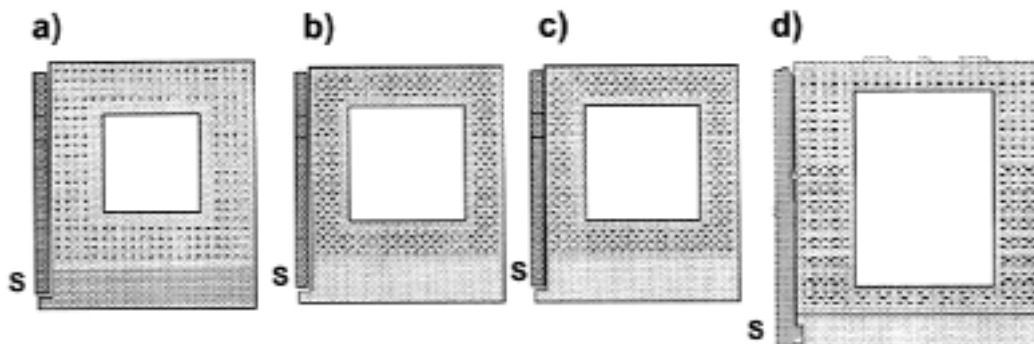


Abbildung 2.11 Anschlußbilder herkömmlicher Prozessoren (Pentium und Pentium Pro). S - Schwenkhebel. Weitere Erklärung in Tabelle 2.3 (nach: Intel)

Abbildung 2.11	Bezeichnung	Anzahl der Anschlüsse	Speisespannung	Signalpegel	Prozessoren ¹⁾
a)	Socket 4	273	5 V	TTL	Pentium; 60 oder 66 MHz
b)	Socket 5	320	3,3 V	TTL	Pentium; 75, 90 oder 100 MHz
c)	Socket 7 ²⁾	321	2,5 V/3,3 V ³⁾	TTL	Pentium und Kompatible; von 66 bis 100 MHz
d)	Socket 8	387	3,5...2,8 V ⁴⁾	GTL	Pentium Pro

1): Taktfrequenzangaben betreffen den internen Prozessortakt; 2): Industriestandard in PCs der Massenfertigung (2. Hälfte der 90er Jahre); 3): Anhaltswerte (Spannungen sind prozessorabhängig); 4): Spannungswert wird über Identifikations-Pins vom Prozessor bestimmt

Tabelle 2.3 Anschlußbilder herkömmlicher Prozessoren (Pentium und Pentium Pro)

Steckbare Kassetten

Diese Bauform wurde von Intel 1997 mit dem Pentium II eingeführt. Weshalb? - Natürlich ging es seinerzeit auch darum, die Konkurrenz mit ihren Socket-7-Prozessoren durch etwas Neues wieder auf Abstand zu halten. Es gab aber auch handfeste technische Gründe: Man wollte die P6-Prozessoren am Massenmarkt einführen. Socket 7 kam aber als Anschlußbild nicht mehr in Frage, da sich der Prozessorbus (Front Side Bus) vollkommen von dem des herkömmlichen Pentium (P5) unterscheidet, nämlich durch neuartige Wirkprinzipien (Split Transactions) und durch ungewöhnliche Signalpegel (GTL). Zudem hat der P6-Kern einen unabhängigen Zugriffsweg zum L2-Cache (Dual Independent Bus Architecture DIB). Der L2-Cache mußte also gleichsam direkt an den Prozessor angeflanscht werden. Die bisherige Bauform - des Pentium Pro - war aber zu kostspielig (keramisches PGA-Gehäuse mit 2 Schaltkreisen (Prozessor, L2-Cache)). Deshalb hat sich Intel dafür entschieden, vom Pentium II an die Prozessoren vorrangig in Steckkarten- oder Kassettenform zu verpacken. AMD hat für die ersten Athlon-Typen eine ähnliche Lösung gewählt.

Die Kassette enthält neben dem Prozessorschaltkreis den kompletten L2-Cache (Abbildung 2.12). Es gibt verschiedene Bauformen: S.E.C.C., S.E.C.C.2, S.E.P.P. usw. Sie unterscheiden sich vor allem im Aufwand, der für Verkapselung, Wärmeableitung usw. getrieben wird (Abbildung 2.13; vgl. auch die Abbildungen 2.15a und 2.16a).

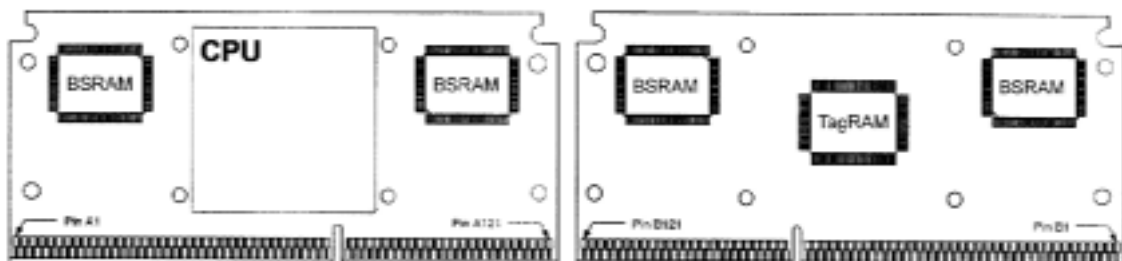


Abbildung 2.12 Der Inhalt der Kassette - eine Prozessorplatine von beiden Seiten (Intel)

Erklärung zu Abbildung 2.12:

CPU - Prozessorschaltkreis; BSRAM - Daten-RAM des L2-Caches (Burst SRAM); TagRAM - Kennzeichnungsspeicher.

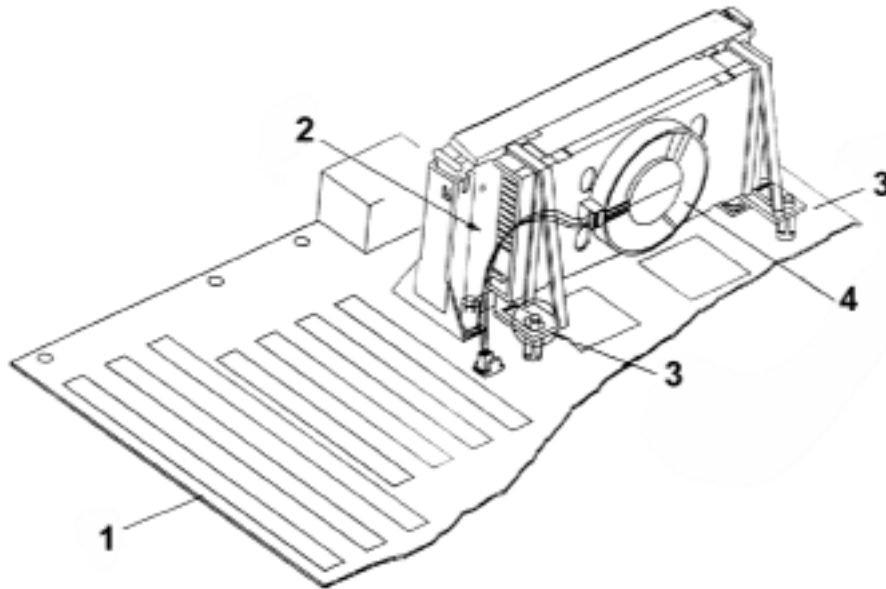


Abbildung 2.13 S.E.C-Kassette auf Motherboard (Intel). Wärmeableitung mit Lüfter

Erklärung:

1 - Motherboard; 2 - Speisespannungsanschluß des Lüfters; 3 - zusätzliche Befestigungspunkte; 4 - Lüfter.

Abmessungen (gerundet): Länge: 140 mm, Höhe: 63 mm, Dicke: 17 mm. *Gewicht*: ca. 150 g.

Der Steckverbinder

Intel unterscheidet zwei Bauformen:

- Slot 1 = SC242 = Steckverbinder mit 242 Kontakten,
- Slot 2 = SC330 = Steckverbinder mit 330 Kontakten.

Slot A

Diese Bezeichnung hat AMD für die entsprechende Auslegung der Athlon-Prozessoren gewählt. Slot A entspricht hinsichtlich der Mechanik (Steckverbinder mit 242 Kontakten, Außenabmessungen der Kassette) dem Slot 1 (SC 242) von Intel. Es handelt sich aber um eine grundsätzlich andere Schnittstelle.

2.4.2. Moderne PGA-Gehäuse

Von 1999 an ist die PGA-Bauweise wieder in Mode gekommen - die Motherboards werden wieder mit den altgewohnten „Sockeln“ bestückt. Die Gründe hierfür:

- die Kassetten sind doch recht sperrig*),
- man möchte so billig wie möglich anbieten (Marktanteile!),
- Verbesserungen der Halbleitertechnologie ermöglichen es, die Schaltkreise kleiner zu bauen,
- zwischenzeitlich kann man es sich leisten, den L2-Cache gleich auf dem Prozessorschaltkreis anzuordnen.

Die Schnittstellen haben aber - bis auf die äußere Form - nichts mehr mit dem herkömmlichen Sockel 7 zu tun. Vielmehr hat man den Front Side Bus der Steckkassetten in elektrischer und funktioneller Hinsicht beibehalten.

*) : das ist aus den folgenden Abbildungen 2.15 und 2.16 ohne weitere ersichtlich. Die PGA-Gehäuse sind deutlich kleiner und einfacher. Allerdings kommt in der Praxis noch die unvermeidliche Kühlkörper/Lüfter-Anordnung hinzu (vgl. die Abbildungen 1.1 und 2.19).

Prozessor-Sockel im Überblick:

- Intel (1): PGA (Sockel) 370 für Pentium III und Celeron,
- Intel (2): Sockel 423 für Pentium 4,
- Intel (3): mPGA (Sockel) 478 für Pentium 4 und Celeron,
- Intel (4): mPGA (Sockel) 603 für Xeon,
- Intel (5): mPGA (Sockel) 604 für Xeon,
- AMD (1): PGA (Sockel) A = Sockel 462 für Athlon und Duron,
- AMD (2): Sockel 754 für Athlon64,
- AMD (3): Sockel 940 für Opteron.

Die Nummern (370, 423, 478 usw.) betreffen die jeweilige Anzahl der Steckkontakte.

Entsprechungen (in elektrischer und funktioneller Hinsicht):

- Sockel 370 \triangleq Slot 1 (SC 242),
- Sockel A (Sockel 462) \triangleq Slot A.

Verschiedene PGA-Prozessoren können in Motherboards mit Slot-Interface eingesetzt werden (z. B. PGA 370 in Slot 1). Hierfür gibt es eigens Adapterkarten (Abbildung 2.14).

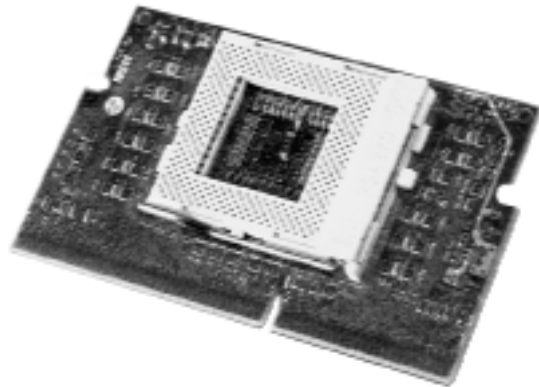


Abbildung 2.14 Adapterkarte PPGA 370 auf Slot 1

Moderne PGA-Gehäusebauformen

Herkömmlicherweise werden die Anschlüsse von Gehäuse und Schaltkreis über sog. Bonddrähte miteinander verbunden. Neuerdings setzt man den Schaltkreis mit den Schaltungsstrukturen nach unten auf den Gehäuseboden und fügt die Anschlüsse über Lötverbindungen unmittelbar zusammen*) - eine technologisch sehr anspruchsvolle Lösung, die aber zwei wichtige Vorteile hat: (1) kürzere Verbindungen; (2) bessere Wärmeableitung - der Silizium-Block des Schaltkreises kann direkt mit einem Kühlkörper (+ Lüfter usw.) in Kontakt gebracht werden.

*) : Fachbegriff: Flip-Chip-Technologie.

Typische PGA-Bezeichnungen (Intel):

- herkömmliche Gehäuse: CPGA (keramisch), PPGA (Plastik),
- moderne Gehäuse: FC-PGA (FC = Flip Chip).

FC-PGA und FC-PGA2

Das PPGA- oder FC-PGA-Gehäuse ist im Grunde einer Mehrebenen-Leiterplatte, die den Schaltkreis mit den Kontaktstiften verbindet. Wenn man eine Leiterplatte hat, liegt es nahe, darauf auch weitere Bauelemente unterzubringen (von den unbedingt notwendigen sog. Stützkondensatoren bis hin zu Temperatursensoren, kleinen Festwertspeichern zu Verwaltungszwecken usw.). Solche Anordnungen sind in der Handhabung recht empfindlich (vor allem bei der Kühlkörpermontage). Deshalb hat man die Bauform FC-PGA2 eingeführt. Hierbei wird das Gehäuse auf der Oberseite mit einer Metallkapsel abgedeckt. Diese schützt nicht nur den Prozessor, sondern dient auch zur Wärmeableitung (Heat Spreader).

Wir merken uns:

PPGA und FC-PGA = offene, FC-PGA2 = verkapselte Bauweise.

Achtung:

Beim Stecken der Prozessoren und beim Montieren der Kühlkörper/Lüfter achtgeben. Es muß alles zusammenpassen: das Gehäuse, der Kühlkörper mit seinem Lüfter und die zugehörigen Befestigungselemente an der Fassung oder auf dem Motherboard.

Prozessoren im Bild

Die folgenden Abbildungen 2.15 bis 2.19 sollen einen Überblick darüber geben, wie die Prozessoren der modernen PCs aussehen.

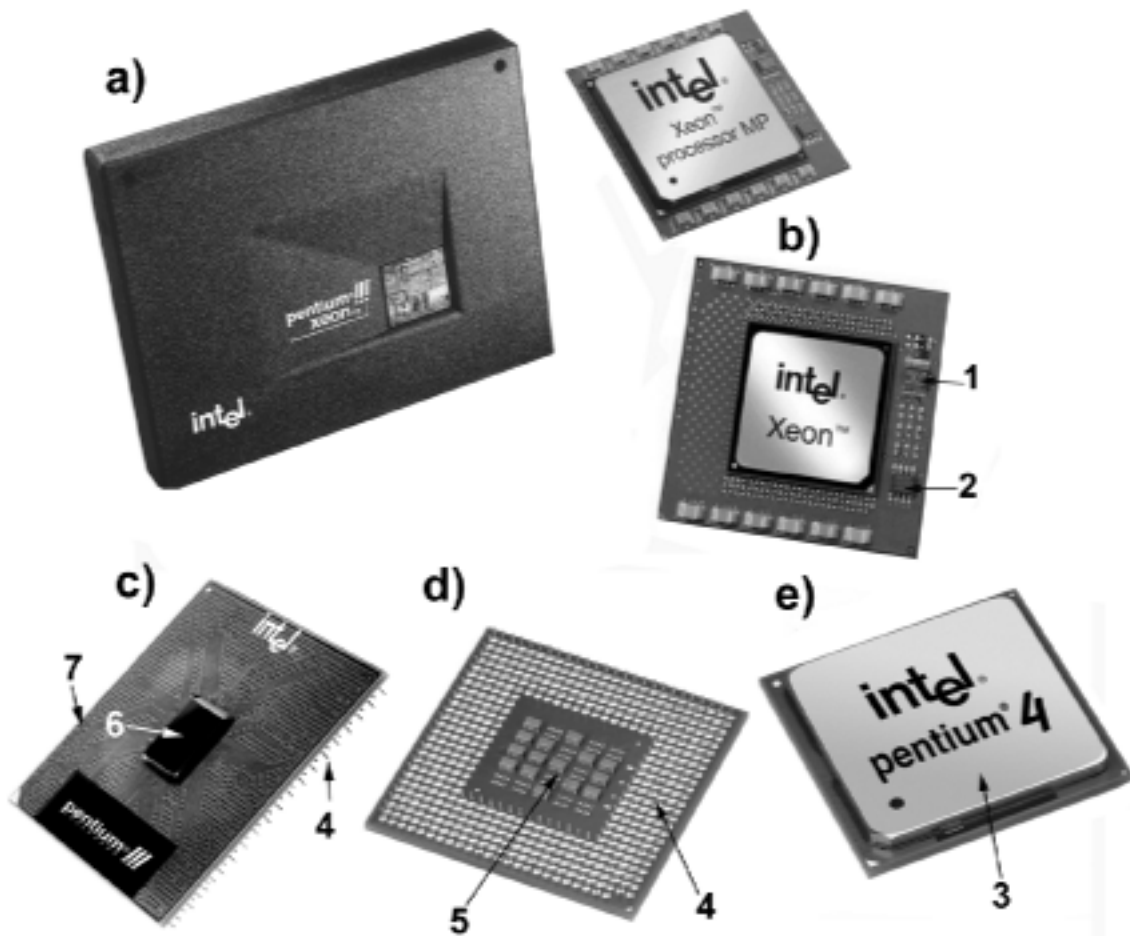


Abbildung 2.15 Pentium- und Xeon-Prozessoren (Auswahl)

Erklärung:

a) - Pentium III Xeon in Steckkassette (Slot 2 = SC 330); b) - zwei Xeon-Prozessoren in FC-PGA-Gehäusen; c) - Pentium III in FC-PGA-Gehäuse; d) - Pentium 4, Ansicht von unten; e) - Pentium 4, Draufsicht (FC-PGA2, Sockel 478). 1 - Temperatursensor; 2 - serieller EEPROM (zur Unterstützung der Systemverwaltung); 3 - Verkapselung und Wärmeableitung (Heat Spreader); 4 - Kontaktstifte; 5 - zusätzliche Bauelemente; 6 - Prozessorschaltkreis; 7 - das Gehäuse (im wesentlichen eine Art Leiterplatte, die die Anschlüsse des Schaltkreises 6 mit den Kontaktstiften 4 verbindet).



Abbildung 2.16 Celeron-Prozessoren (Auswahl)

Erklärung:

a) - Steckkassette für Slot 1 = SC 242 (S.E.P.P = Single Edge Processor Package). Offene Bauweise (kostengünstig, aber in der Handhabung vergleichsweise empfindlich). b) - FC-PGA2 für Sockel 478.

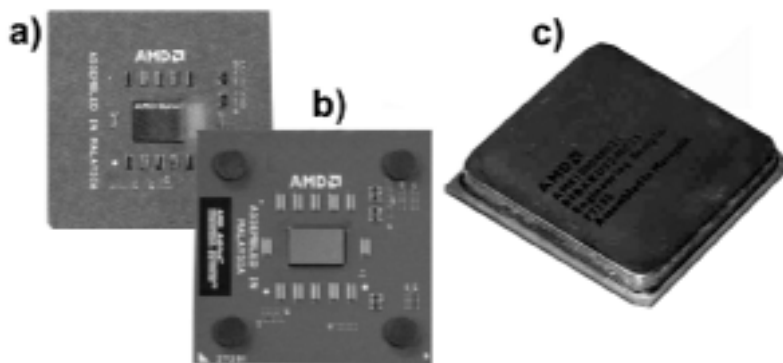


Abbildung 2.17 AMD-Prozessoren (Auswahl)

Erklärung:

a) - Duron; b) - Athlon. Beide für Sockel 462. Offene Bauweise. Beim Montieren aufpassen! c) - Opteron (Sockel 940). Ähnlich Pentium 4 usw. mit Wärmeableitblech (Heat Spreader) verkapselt.

2.4.3. Ganz moderne Hochleistungsprozessoren

Manche Prozessoren des obersten Leistungsbereichs werden nach wie vor in Form von Steckbaugruppen ausgeführt (Abbildung 2.18).

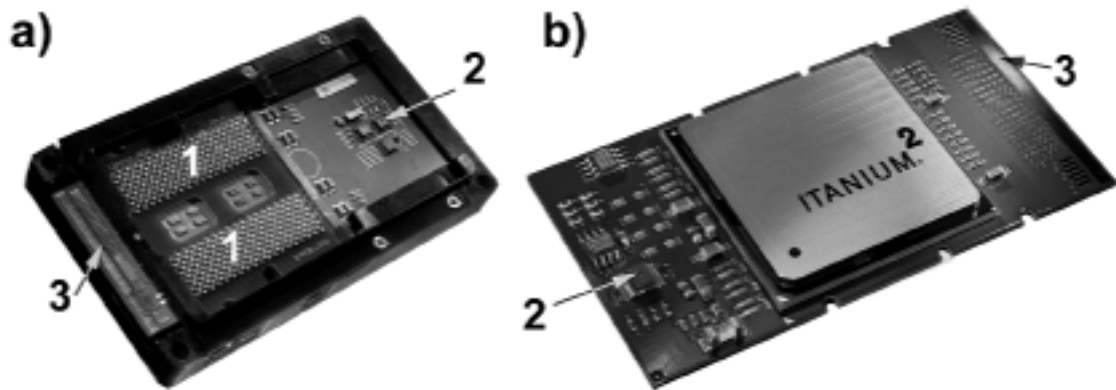


Abbildung 2.18 Itanium-Prozessoren (Intel)

Erklärung:

a) - der Itanium ist in einer Steckkassette (Cartridge) untergebracht. Die Abbildung zeigt die Ansicht von unten. Die Kassette enthält neben dem Prozessor den L3-Cache. b) - der Itanium 2 hat einen im Prozessor eingebauten L3-Cache. Deshalb genügt eine vergleichsweise einfache Trägerplatine (Interposer). 1 - Steckkontakte; 2- Systemverwaltungsschaltkreise (Temperatursensor, EEPROMs); 3 - Stromversorgungsanschluß (Power Tab).

2.4.4. Prozessoren für kleine und mobile PCs

In diesen Bereichen sind geringe Stromaufnahme und kleine Abmessungen besonders wesentlich. Solche Prozessoren haben bei vergleichsweise niedrigeren Taktfrequenzen besonders kleine Versorgungsspannungen und eine entsprechend geringe Stromaufnahme. Deshalb werden sie auch nicht so warm (Abbildung 2.19). Auf diesem Gebiet herrscht ein ziemlich intensiver Wettbewerb. Die Hersteller verfolgen unterschiedliche Ansätze, um kleine, sparsame, kostengünstige und zugleich leistungsfähige Prozessoren anzubieten:

- Optimierung eines an sich bewährten Prozessortyps (Schaltkreistechnologie, besondere Stromsparvorkehrungen usw.). Beispiele: Intel, AMD.
- neuartige architekturseitige Ansätze, um den Prozessorkern klein halten zu können (Prinzip: Software statt Hardware). Beispiel: Transmeta.
- Entwicklung eines Prozessorkerns, der auf die typischen Anwendungsaufgaben ausgerichtet ist (gezielte Beschleunigung häufig gebrauchter Abläufe, sparsame Lösungen für selten genutzte Funktionen, Verzicht auf bestimmte aufwendige Beschleunigungsmaßnahmen). Beispiel: VIA Technologies.
- Einbau von Steuerschaltungen und Peripherie in den Prozessor (der Prozessorschaltkreis hat keinen FSB mehr, sondern verschiedene anwendungsbezogene Schnittstellen, z. B. SDRAM und PCI). Beispiele: Transmeta (Abbildung 2.20), National Semiconductor.



Abbildung 2.19 Ein wichtiges Ziel: möglichst keinen Lüfter (und wenn schon, dann einen ganz kleinen...). Links: Xeon und Pentium 4 mit den typischen Kühlkörper-Lüfter-Konstruktionen; rechts: VIA Eden ohne Lüfter

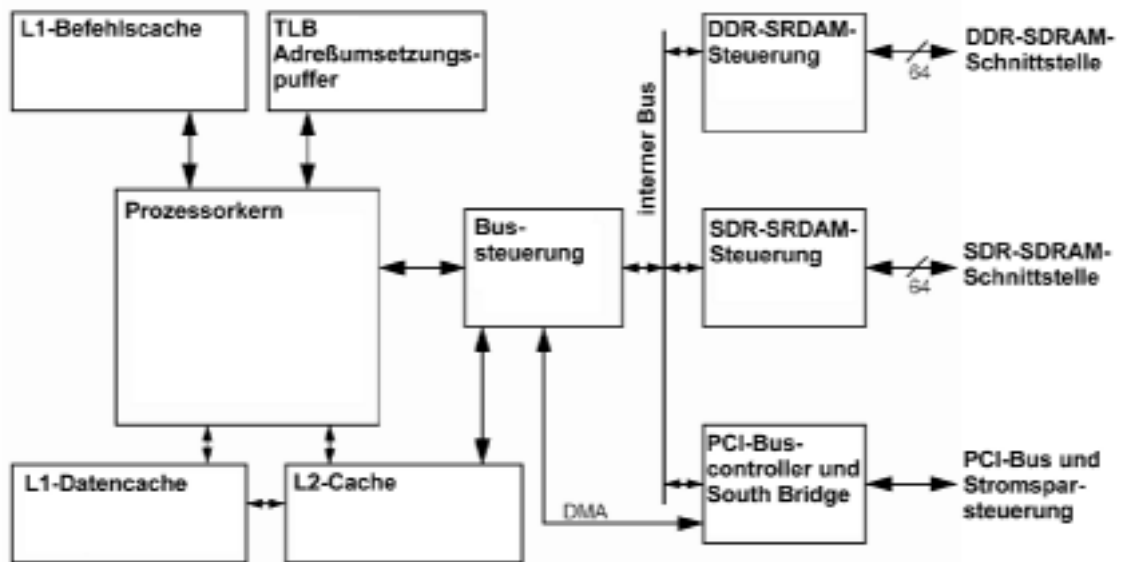


Abbildung 2.20 Ein kleiner PC-Prozessor im Blockschaltbild (nach: Transmeta)

Im Laufe der Zeit wurden verschiedene Bauformen entwickelt (BGA, Micro-PGA, Mini-Cartridge, Mobile Module usw.). Die modernen Prozessoren werden typischerweise in miniaturisierten FC-PGA- und BGA-Gehäusen*) angeboten (Abbildungen 2.21, 2.22).

*) : PGA typischerweise zum Stecken in Fassungen, BGA zum Einlöten.



Abbildung 2.21 Prozessoren für portable Systeme in verschiedenen Bauformen: BGA, Micro-PGA, Mobile Module (Intel)



Abbildung 2.22 Moderne Prozessoren für kleine und mobile PCs (Beispiele)