

2.5 Arbeitsspeicher

Der Arbeitsspeicher bei einem PC ist aus DRAM-Chips (Dynamic Random Access Memory) aufgebaut, die sich bei üblichen PC und Notebooks auf Speichermodulen befinden. Die DRAMs benötigen in bestimmten Zeitintervallen (spätestens nach 64 ms) einen Refresh-Impuls, damit sie nicht ihre Ladung und damit ihre Speicherinformation verlieren, während die schnelleren und damit auch teureren SRAMs ihre gespeicherte Information so lange behalten, bis der PC ausgeschaltet wird. Der Cache-Speicher ist beispielsweise mit SRAMs aufgebaut.

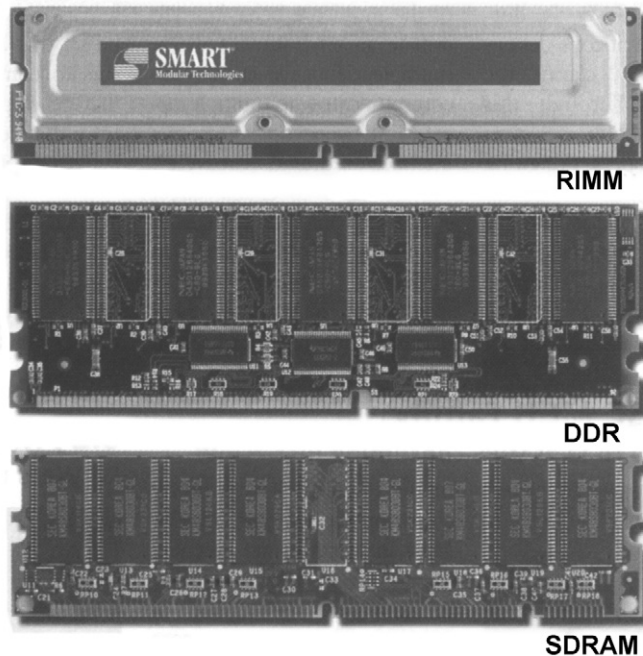


Abb. 2-16 Zum Vergleich: RIM-, DDR- und SDRAM-Module älterer Bauart

Im Laufe der Zeit sind verschiedene DRAM-Module hergestellt worden, die sich technologisch bestimmten Prozessorgenerationen zurechnen lassen, über unterschiedliche maximale Speicherkapazitäten, über verschiedene Interfaces zur Mainboard-Elektronik (Chipset) und über verschiedene Bauformen verfügen. Eine Kompatibilität unter den verschiedenen Modulen ist dabei nicht gegeben, sodass ein Mainboard-Wechsel zu einer neuen Prozessorgeneration auch den Austausch der Speichermodule bedeutet.

Diese Module werden entsprechend ihrer Auslegung als SIPs, SIMMs, PS/2-SIMMs, RIMMs und DIMMs bezeichnet. Durch die Verwendung von Modulen ist die Speicheraufrüstung in der Regel eine Sache von Minuten. Wie der »Arbeitspei-

cher« aufgerüstet werden kann, hängt vom Mainboard ab. Ist der Speicher auf dem Mainboard bereits voll bestückt, sind die vorhandenen Module durch solche mit höherer Kapazität auszutauschen. Dabei ist der jeweilige Typ des Moduls zu beachten, denn auch wenn viele der Module gleich aussehen, sind sie es nicht. Selbst wenn sie mechanisch in die Modulsteckplätze passen sollten, müssen sie noch lange nicht mit dem jeweiligen Mainboard zusammenarbeiten. Im Manual zum Mainboard sind üblicherweise die geeigneten Modultypen angegeben, wovon üblicherweise immer mindestens zwei davon benötigt werden.

Typ	Bedeutung	Kontakte	Betriebsspannung	Max. Takt
SIP	Single In Line Memory Package	30	5 V	20 MHz
SIMM	Single In Line Memory Module	30	5 V	33 MHz
PS/2-SIMM	Personal System 2- SIMM	72	5 V	33 MHz
DIMM	Double In Line Memory Module	168	3,3 V	133 MHz
RIMM	RAMBus In Line Memory Module	184	3,3 V	400 MHz
DDR-DIMM	Double Data Rate DIMM	184	2,5 V	200 MHz
DDR2-DIMM	Double Data Rate 2 DIMM	240	1,8 V	533 MHz
DDR3-DIMM	Double Data Rate 3 DIMM	240	1,5 V	1066 MHz
DDR4-DIMM	Double Data Rate 4 DIMM	284	1,2 V	1600 MHz

Tab. 2-5 Kennzeichnung und Ausführung der verschiedenen Speichermodule

Die SIPs unterscheiden sich von den SIMMs nur durch ihren elektrischen Anschluss und besitzen statt Kontaktflächen herausgeführte Anschlussbeinchen, die direkt von oben in eine entsprechende SIP-Fassung auf dem Mainboard gesteckt werden. Die SIPs sind mit der Einführung der 486-Mainboards ausgestorben und deshalb nur noch in alten 286- und 386-PCs zu finden.

Die 30-poligen SIMMs stellten bis Mitte der Neunzigerjahre den Standard für Speichermodule dar und wurden im Zuge der immer höheren notwendigen Speicherkapazitäten durch die 72-poligen Typen ersetzt, die im Gegensatz zu den vorherigen Typen eine Busbreite von 32 Bit statt 8 Bit aufweisen, weshalb weniger Module als zuvor für die Bestückung einer Speicherbank auf einem Mainboard notwendig sind. Die 72-poligen Module werden mitunter als *Big-SIMMs* und häufiger als *PS/2-SIMMs* bezeichnet, weil dieser Speichertyp erstmalig bei den IBM-Systemen mit MicroChannel – den PS/2-PCs – eingesetzt wurde.

2.5.1 Double In Line Memory Modules – DIMMs

Für SDRAMs (Synchronous Dynamic RAM) werden als Speichermodule 168-polige Steckplatinen (DIMMs) verwendet, die eine Datenbreite von 64 Bit aufweisen. Demnach ist für eine Pentium-CPU (64 Bit) in der Minimalausstattung nur ein einziges DIMM notwendig. Die SDRAMs auf einem Modul arbeiten alle mit einem synchronen Takt (ab 66 MHz bis typischerweise 133 MHz: PC133), während die vorherigen Typen (Fast Page Mode, EDO, BEDO) mit einem unterschiedlichen CAS- und RAS-Timing funktionieren, wofür im BIOS-Setup meist zahlreiche Optionen vorhanden sind.

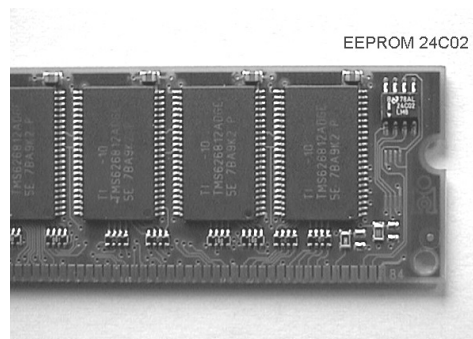


Abb. 2–17 Mit den DIMMs wurde ein Speicherchip (hier 24C02) zum Standard, der die aktuellen Modulparameter für die automatische Konfigurierung durch das BIOS enthält.

Mit den SDRAMs hat sich die Parametereinstellung für die Speichermodule stark vereinfacht, weil sie üblicherweise mit einem Speicherbaustein (SPD-EEPROM) ausgestattet sind, welcher Daten über den Modultyp, die Organisation der verwendeten DRAMs und über das jeweilige Timing-Verhalten enthält, was automatisch eine optimale Einstellung für verschiedene SDRAMs ermöglicht. Der EEPROM-Inhalt wird mithilfe des *System Management Bus* (SMB) vom BIOS automatisch ausgelesen, wofür ein spezieller Befehlssatz festgelegt ist, der mit den nachfolgenden Modulen um weitere Kommandos erweitert wurde. Es kommt immer wieder vor, dass die im SPD-EEPROM abgelegten Daten fehlerhaft sind. Die auf dem Modul eingesetzten Speicherchips können dann nicht von der automatischen Speichereinstellung im BIOS korrekt identifiziert und eingestellt werden, sodass eine manuelle Konfigurierung (siehe Abschnitt 6.4.3) notwendig wird.

Aufgrund der hohen Verbreitung der DIMMs mit SDRAM werden entsprechende Module nach wie vor auch als Neuware angeboten, während die Vorgänger schon seit längerer Zeit nicht mehr produziert werden. Aktuell verfügbar sind die DDR-

Speicher entsprechend der hier gültigen vier Standards (siehe Abschnitt 2.5.3), wozu noch spezielle Bauformen für Notebooks (siehe Abschnitt 3.3) hinzukommen.

2.5.2 Rambus Inline Memory Modules – RIMMs

Eine andere Speichertechnologie stellt RAMBus dar, die auf *Rambus Inline Memory Modulen* (RIMMs, siehe oben in Abb. 2–16) eingesetzt wird und von Intel ursprünglich als Konkurrenz zu den DIMMs mit DDR-SDRAM (siehe folgenden Abschnitt) entwickelt wurde. Die RIM-Module gibt es in Kapazitäten von 64 MByte bis hin zu 512 MByte. Sie sehen den üblichen DIMMs ähnlich, verfügen wie die DDR-DIMMs über 184 Anschlüsse und besitzen ebenfalls ein SPD-PROM. Die RAMBus-Technologie erscheint gegenüber DDR als zu aufwendig, und deshalb sind die RIMMs im Verhältnis zu vergleichbaren DDR-DIMMs auch zu teuer. Intel hat sich mit DDR2 von den RIMMs verabschiedet, die im Handel bereits seit Jahren nicht mehr zu finden sind.

2.5.3 Double Data Rate DIMM – DDR DIMMs

Die Speichermodule werden vom Chipset mit einem synchronen Takt betrieben, wobei die Datenübernahme auf der Flanke des Taktsignals (CLK) erfolgt, was mit den SDRAMs auf den DIMMs eingeführt wurde. Eine theoretische Verdoppelung der Datenübertragungsrate ergibt sich, wenn die Daten nicht nur auf der ansteigenden CLK-Flanke, sondern auch auf der abfallenden Flanke übertragen werden können, was von den *Double Data Rate SDRAMs* (DDR-SDRAMs) angewendet wird.

Hieraus resultieren zwei unterschiedliche Definitionen der Takte, die sich in den jeweiligen Modulbezeichnungen niederschlagen. Während der übliche Modultakt (CLK) sowohl bei DDR als auch bei SDR (Single Data Rate), wie die DDR-Vorgänger nachträglich benannt wurden, beispielsweise 100 MHz beträgt, beträgt der Datentakt bei SDR ebenfalls 100 MHz, bei DDR jedoch 200 MHz.

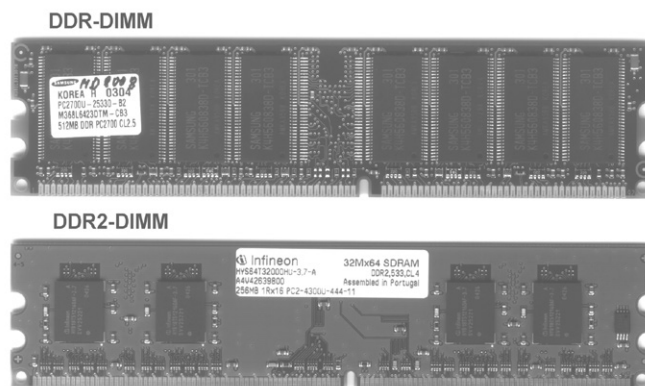


Abb. 2–18 Zum Vergleich: ein DDR- und ein DDR2-DIMM

Eine Weiterentwicklung der DDR-SDRAMs sind die DDR2-SDRAMs. Diese unterscheiden sich erst auf den zweiten Blick von den DDR-Modulen. Sie haben zwar die gleiche Größe, verfügen demgegenüber jedoch über 240 statt über 184 Kontakte und werden mit einer noch geringeren Spannung von 1,8 V betrieben. Die Leistungssteigerung der DDR2-DIMMs ergibt sich durch die Möglichkeit, den Takt erhöhen zu können, und durch den geänderten Aufbau der internen Speicherlogik (Prefetch), sodass ein gleichzeitiger Zugriff auf bis zu vier Speicherzellen (statt auf zwei wie bei DDR2) möglich ist. Ein ganz wesentlicher Kniff bei den verschiedenen DDR-Speichermoduletypen ist aber nicht eine einfache Takterhöhung, sondern vielmehr die geschickte Verschachtelung mehrerer Taktsignale, die sich aus einem Systemtakt ableiten.

Das gleiche Prinzip von geringerer Spannung – was zu einer geringeren Verlustleistung führt, weshalb wieder ein höherer Takt möglich ist – und eine weitere Parallelanordnung der internen Speicherfelder (achtfach Prefetch statt vierfach) führt zum DDR3-Speicher. Die DDR3-Chips, die in entsprechender Anzahl zu den Modulen zusammengefasst werden, beginnen mit ihren Taktfrequenzen dort, wo die DDR2-Bausteine technologisch am Ende zu sein scheinen, was sich entsprechend von einer DDR-Modulgeneration zur nächsten übertragen lässt. Dabei ist stets eine gewisse »Überlappung« von einer Generation zur kommenden gewollt, sodass es beispielsweise sowohl für 400 MHz als auch für 533 MHz beide Typen (DDR2 und DDR3) gibt. DDR3 kann seine Vorteile erst ab 667 MHz und darüber ausspielen.

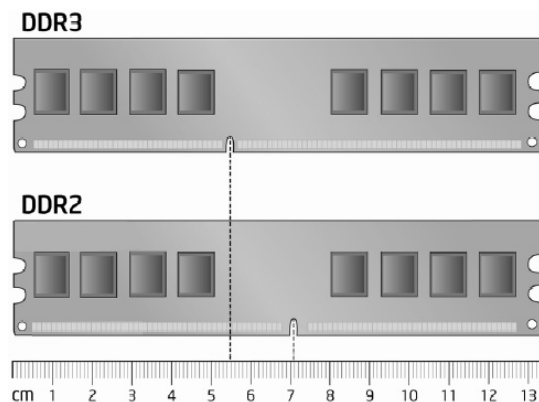


Abb. 2-19 Der als Steckschutz dienende Schlitz in der Kontakteleiste ist beim DDR3-Modul weiter zum Rand hin lokalisiert.

Beim neuesten Speichertyp, DDR4, wird die Vergrößerung der Prefetch-Architektur als Mittel zur Leistungssteigerung nicht angewendet, weil dies einen breiteren Datenbus erfordern würde, was als zu aufwendig erschien. Stattdessen wird die Anzahl der internen Speicherbänke erhöht, die zu Gruppen mit einem zusätzlichen Zwischenspeicher verschaltet werden. Die Module verfügen wiederum über mehr Kontakte

(284) als die Vorgänger und arbeiten bereits ab 1,2 V. Die DDR4-Module sind 1 mm länger und 1 mm schmaler als die 240-poligen Vorgänger (DDR2, DDR3), weil die Kontaktflächen nur noch 0,84 mm statt wie bisher 1 mm breit sind. Außerdem sind die Kontaktflächen zur Mitte – zum Steckschutz – hin länger als an den Modulenden.



Abb. 2–20 DDR-DIMMs gibt es mit Kapazitäten von 2 bis 32 GByte.

Wie bereits erwähnt, sind die verschiedenen Module (vgl. Tab. 2–5) jeweils für bestimmte Mainboards und damit für eine bestimmte CPU-Generation vorgesehen und aus den Unterlagen zum Mainboard geht hervor, welche Speichermodule und Prozessoren sich jeweils dort einsetzen lassen.

Für zuverlässige Speichersysteme werden Module eingesetzt, die *Error Correction Codes* (ECC) unterstützen. Dadurch ist es möglich, auftretende Bitfehler automatisch erkennen und korrigieren zu lassen. 1-Bit-Fehler können mit ECC sofort korrigiert werden, während 2-Bit-Fehler zwar erkannt, aber nicht korrigiert werden können. Diese ECC-Funktionalität ist mit den SDRAMs eingeführt worden und hat das davor übliche Verfahren abgelöst, welches mit einem Paritätsbit (Parity Bit) zur Fehlererkennung arbeitet. Der Einsatz des ECC-Verfahrens führt zu einem 72 Bit breiten internen Aufbau des Moduls (statt 64 Bit wie zuvor) und verlangt zusätzliche Chips. Wie bei den DIMMs mit SDRAM existieren DDR-Module sowohl mit als auch ohne ECC-Funktion. Das jeweilige Chipset, der Speicherbus sowie das BIOS müssen die ECC-Typen explizit unterstützen, was bei Desktop-PCs eher nicht der Fall ist, sondern bei Server- und NAS-Systemen. Außerdem gibt es DDR-DIMMs in *Buffered* (Registered) und in *Unbuffered*-Ausführung, wobei man den Modulen nicht ansehen kann, welchem Typ sie jeweils entsprechen. Die *Registered* oder *Buffered DIMMs* sind insbesondere für die Opteron- und Athlon-64-FX-Systeme notwendig geworden und generell bei Serverboards üblich, bei denen hohe Speicherkapazitäten erforderlich sind. Entsprechende Kennungen im Anschlussbereich eines DDR-DIMMs in Form unterschiedlich ausgeführter Kerben sind weder für ECC-Typen noch für die *Buffered DIMMs* vorgesehen. Lediglich die Beschreibung zum Modul bzw. ein Aufkleber informiert über den jeweiligen Typ.

Für die verschiedenen DDR-Speichermodule sind Bezeichnungsschemata vorgeschrieben, aus denen ihre genaueren Daten hervorgehen. Ein DDR-DIMM ist stets 8 Bytes (64 Bit) breit, und wenn es die Bezeichnung PC1600 trägt, arbeitet es mit einem Datentakt von 200 MHz (100-MHz-Modultakt), weil $8 \times 200 = 1600$ ist und ungefähr der maximal erreichbaren Datentransferrate (1600 MByte/s) entspricht. Der Modulbezeichnung bei den DDR2-DIMMs wird ein PC2 vorangestellt, der bei den DDR3-DIMMs ein PC3 und der bei den DDR4-DIMMs ein PC4, sodass ein Modul mit der Bezeichnung PC4-19200-Modul mit 1200 MHz arbeitet (8×1200) und eine (theoretische) Datenrate von eben 19.200 MByte/s bietet. Bei vielen Mainboards wird der Speicher zweikanalig ausgelegt (Dual Channel), so dass dann mindestens zwei Speichermodule notwendig sind, die stets vom gleichen Typ sein müssen, was dann zu einer (theoretisch) doppelt so hohen Datenrate wie mit nur einem Modul führt. In Abschnitt 11.2 wird detailliert auf die Erweiterung des Arbeitsspeichers eingegangen.

2.6 Grafik

Einige der aktuellen Prozessoren (siehe Tab. 2–4) verfügen über einen integrierten Grafikchip, dessen Ausgangssignale an einen VGA-, DVI- und/oder einen HDMI-Anschluss (siehe Abb. 2–26) geführt werden. Bei einem eventuellen Austausch des Prozessors (siehe auch Abschnitt 11.3) ist dieser Umstand zu berücksichtigen, denn falls der neue Prozessor keine Grafikeinheit aufweist, bleibt der Bildschirm dunkel.

Üblicherweise lässt sich eine Grafikkarte über einen PCIe-Slot (PEG, vgl. Abschnitt 2.3) nachrüsten und die vorhandene Grafik im BIOS/Setup deaktivieren, egal ob sie sich im Prozessor oder als separater Chip auf dem Mainboard (OnBoard-Grafik) befindet. Integrierten Grafiklösungen wird eine schwächere Leistung attestiert als separaten Grafikkarten, wobei die integrierten Grafiklösungen mittlerweile auch für recht flüssige 3D-Spiele und nicht für Office-Anwendungen und die HD-Video-Ausgabe geeignet sind.

Das Maß der Dinge für separate Grafikkarten bestimmen aktuelle Spiele, bei denen die Grafikeinheit in möglichst hoher Auflösung bei zügigem, verzögerungsfreiem Bildaufbau und ruckelfreier Wiedergabe realistisch wirkende Szenen produzieren muss, was nach wie vor eine Domäne von PCIe-Grafikkarten mit Grafikchips von den Firmen AMD (früher ATI Technology) und NVIDIA ist. Der Markt teilt sich quasi zwischen den Radeon- und GeForce-Chips dieser beiden Firmen, die auf Grafikkarten verschiedener Hersteller (z. B. Asus, MSI, Zotac, XFX) zu finden sind und die Grafikspeicher von 1 GByte bis hin zu 8 GByte (AMD Radeon R9 29X2) realisieren, der bei aktuellen Modellen mit einem Takt ab 4,5 GHz (Radeon R7 250) bis hin 7 GHz (GeForce GTX 780) betrieben wird.