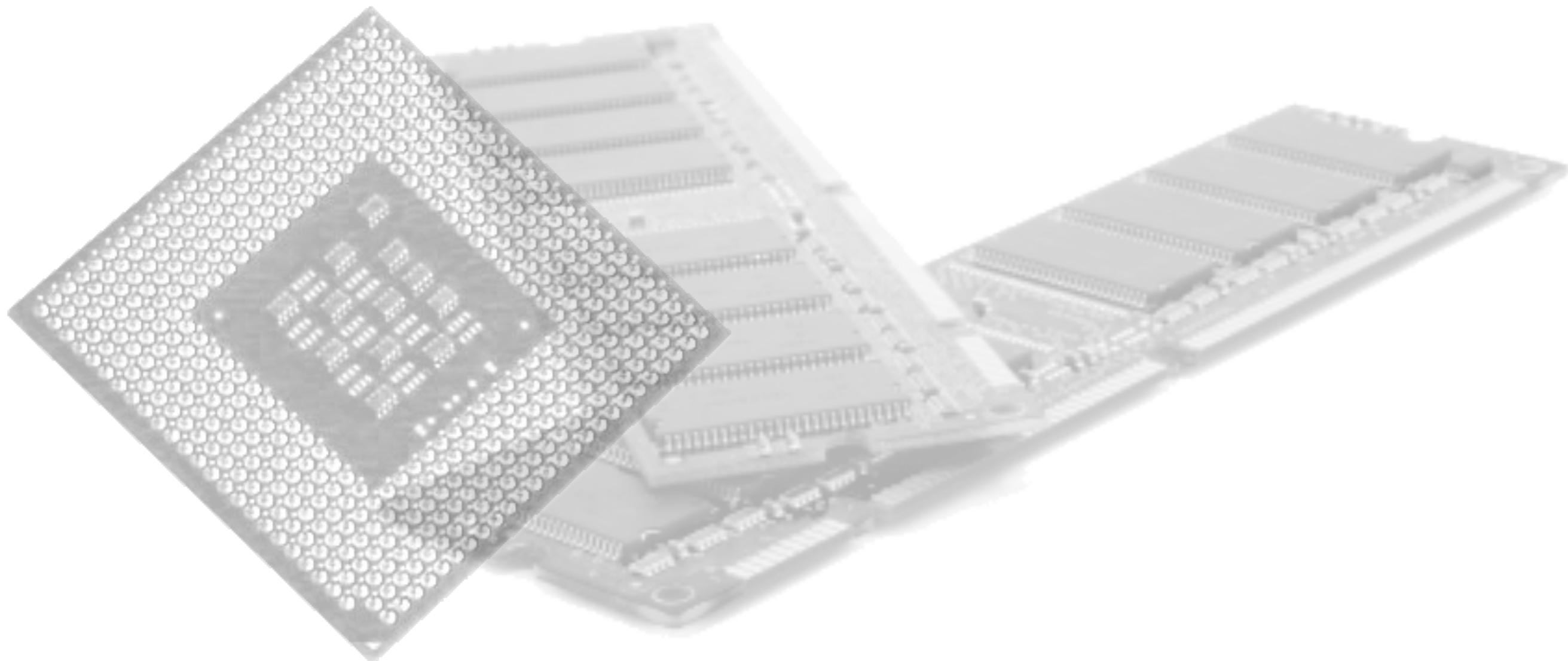
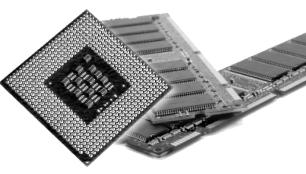


Arbeitsspeicher

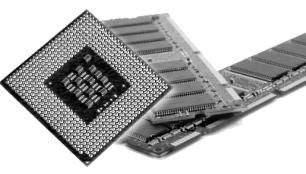




Arbeitsspeicher / Hauptspeicher

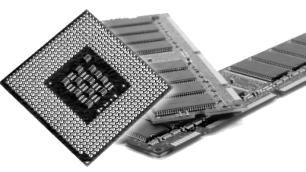
- Random-Access Memory (RAM)
- lesen und schreiben möglich (englische Bezeichnung eigentlich falsch)
- asynchron oder synchron möglich
- in der Computertechnik: synchron (mit Takt)
 - synchronous dynamic RAM (SDRAM)





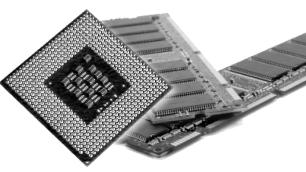
RAM Typen

- Static RAM (SRAM)
 - bei Anliegen der Betriebsspannung bleibt der Inhalt gespeichert
 - verbraucht viel Chipfläche
 - sehr schneller Speicher
 - lange Speicherung mit einer Batterie möglich
 - => Verwendung als Cache
- Dynamic RAM (DRAM)
 - periodisches Auffrischen des Inhalts nötig
 - sehr hohe Datendichte
 - preiswerte Produktion
 - auch im Standby wird Strom benötigt
 - => Verwendung als Arbeitsspeicher



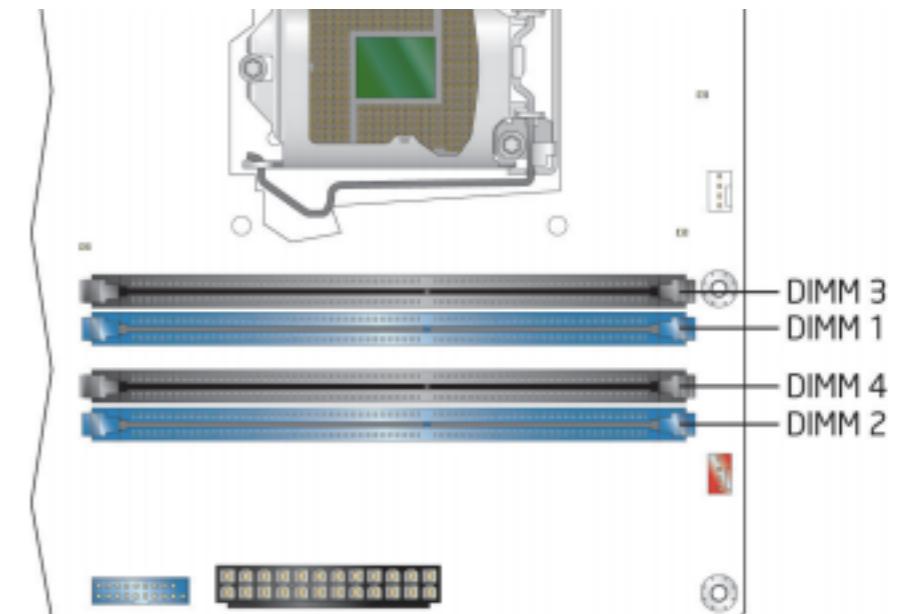
Arbeitsspeicher

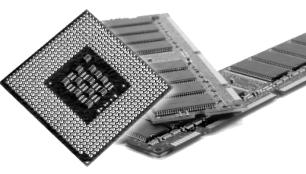
- Steuerbus (R/W): gibt an, ob gelesen oder geschrieben werden soll
- Adressbus (wie von Neumann)
 - in der Regel kann mehr Speicher adressiert werden als vorhanden ist
- Datenbus
 - bidirektional (d.h. je nach Steuersignal wird die Richtung verändert)
 - oft zwei Busse vorhanden für eine bessere Geschwindigkeit



Arbeitsspeicher

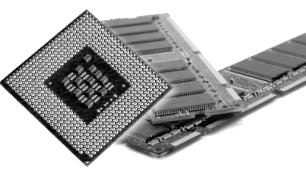
- Dual Channel
 - die Kapazität beider Kanäle muss gleich sein
 - paralleler Betrieb über 2 Busse
 - höchste Geschwindigkeit
- Single Channel
 - die langsamste Geschwindigkeit wird genutzt
 - bei nur einem Speicher oder wenn verschiedene Kapazitäten verbaut sind
- Flex Mode
 - Mischung aus beiden Modi
 - beide Kanäle müssen dazu besetzt werden
 - nur die kleine Kapazität wird per Dual Channel angesprochen





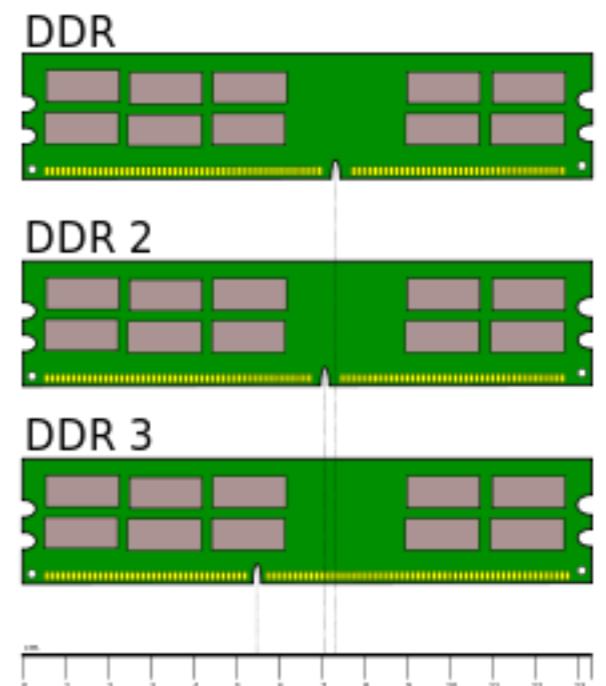
Arbeitsspeicher

- DDR-SDRAM (Double Data Rate Synchronous Dynamic Random Access Memory)
- DDR:
 - pro Takt werden die doppelten Daten übertragen
 - sowohl bei der **auf-** als auch bei der **absteigenden Flanke** des **Taktsignals** wird ein Datenbit übertragen, anstatt nur bei der aufsteigenden

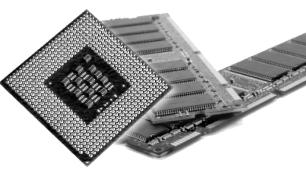


Arbeitsspeicher

- Formen:
 - DIMM (Dual Inline Memory Module)
 - SO-DIMM (Small Outline Dual Inline Memory Module)
 - Kontakte auf der Vorder- und Rückseite
- Anzahl Kontakte (nicht SO-DIMM)
 - DDR: 184 Kontakte
 - DDR2 und DDR3: 240 Kontakte
 - DDR4: 255 Kontakte



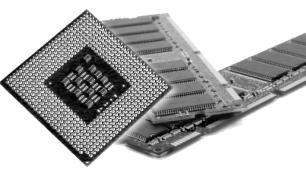
Typ	Spannung (V)
SDRAM	3,3
DDR-SDRAM	2,5
DDR2-SDRAM	1,8
DDR3-SDRAM	1,5
DDR3-SDRAM LV	1,25



Arbeitsspeicher

- DDR3

Chip	Modul	Speichertakt	I/O-Takt ²	Effektiver Takt ³	Datenrate pro Modul	Datenrate Dual Channel
		Werte in Megahertz (MHz)			Werte in Gigabyte pro Sekunde (GB/s)	
DDR3-800	PC3-6400	100	400	800	6,4	12,8
DDR3-1066	PC3-8500	133	533	1066	8,5	17,0
DDR3-1333	PC3-10600	166	666	1333	10,6	21,2
DDR3-1600	PC3-12800	200	800	1600	12,8	25,6
DDR3-1866	PC3-14900	233	933	1866	14,9	29,8
DDR3-2133	PC3-17000	266	1066	2133	17,0	34,0

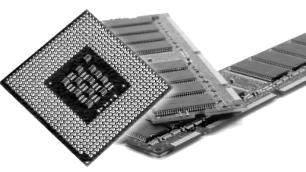


Arbeitsspeicher

- DDR4

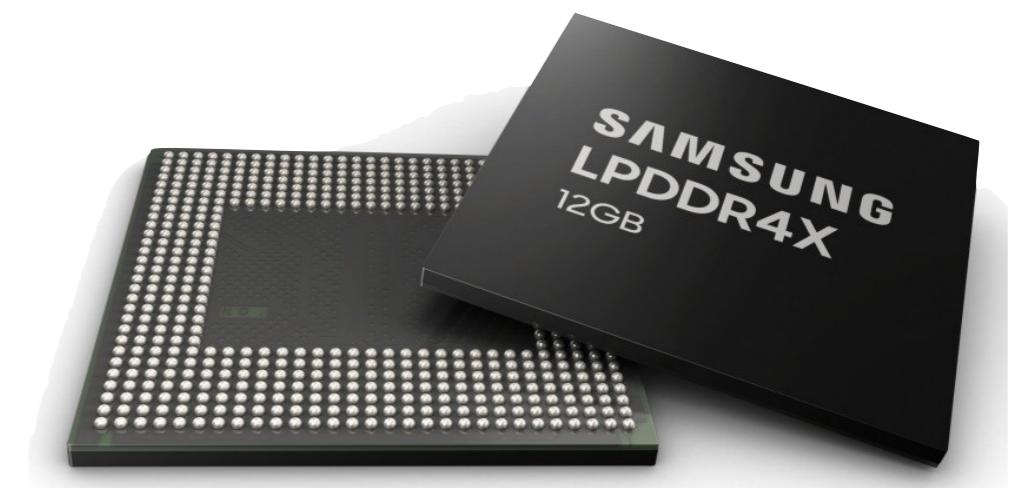
Chip	Modul	Speichertakt	I/O-Takt	Effektiver Takt	Spannung	Übertragungsrate pro Channel
DDR4-1600	PC4-12800	200 MHz	800 MHz	1600 MHz	1,2 V	12,8 GB/s
DDR4-2133	PC4-17000	266 MHz	1066 MHz	2133 MHz	1,2 V	17,0 GB/s
DDR4-2666	PC4-21300	333 MHz	1333 MHz	2666 MHz	1,2 V	21,3 GB/s
DDR4-3200	PC4-25600	400 MHz	1600 MHz	3200 MHz	1,2 V	25,6 GB/s

- höher getaktet => höhere Transferraten
- Spannung auf 1,2 Volt gesenkt
- Chip-Stacking-Technologie: bis zu acht Speicherschichten übereinander geschichtet
- verbesserte Fehlererkennung und Fehlerkorrektur



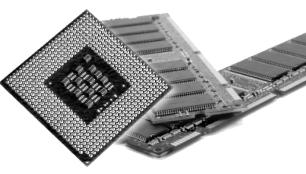
Low-Power DDR (LPDDR)

- für Smartphones
- z.B. Samsung LPDDR4X-4266:
 - 64-Bit-Interface
 - Datentransferrate von 34,1 GByte pro Sekunde



Properties of the different LP-DDR generations

	LP-DDR							
	1	1E	2	2E	3	3E	4	4E
Memory array clock (MHz)	200	266.7	200	266.7	200	266.7	200	266.7
Prefetch size	<i>2n</i>		<i>4n</i>		<i>8n</i>		<i>16n</i>	
I/O bus clock frequency (MHz)	200	266.7	400	533.4	800	1067	1600	2134
Data transfer rate (DDR) (MT/s)	400	533.4	800	1067	1600	2134	3200	4267
Supply voltage(s)	1.8 V		1.2 V, 1.8 V		1.2 V, 1.8 V		1.1 V, 1.8 V	
Command/Address bus	19 bits, SDR		10 bits, DDR		10 bits, DDR		6 bits, SDR	



Optane DC Persistent Memory

- NV-DIMM (Non Volatile) nicht-flüchtiger Speicher; bis zu 512 GByte pro Modul
- passt in DDR4 Slots
- 3D-Xpoint-Speicher
- Arbeitsspeicher in der Kapazität erweitern oder als extra RAM-Memory nutzen
- 8,3 GByte/s lesend und bis zu 3 GByte/s schreibend (DDR4 bis zu 25,6 GByte/s)
- günstiger als RAM und mit mehr Kapazität erhältlich

