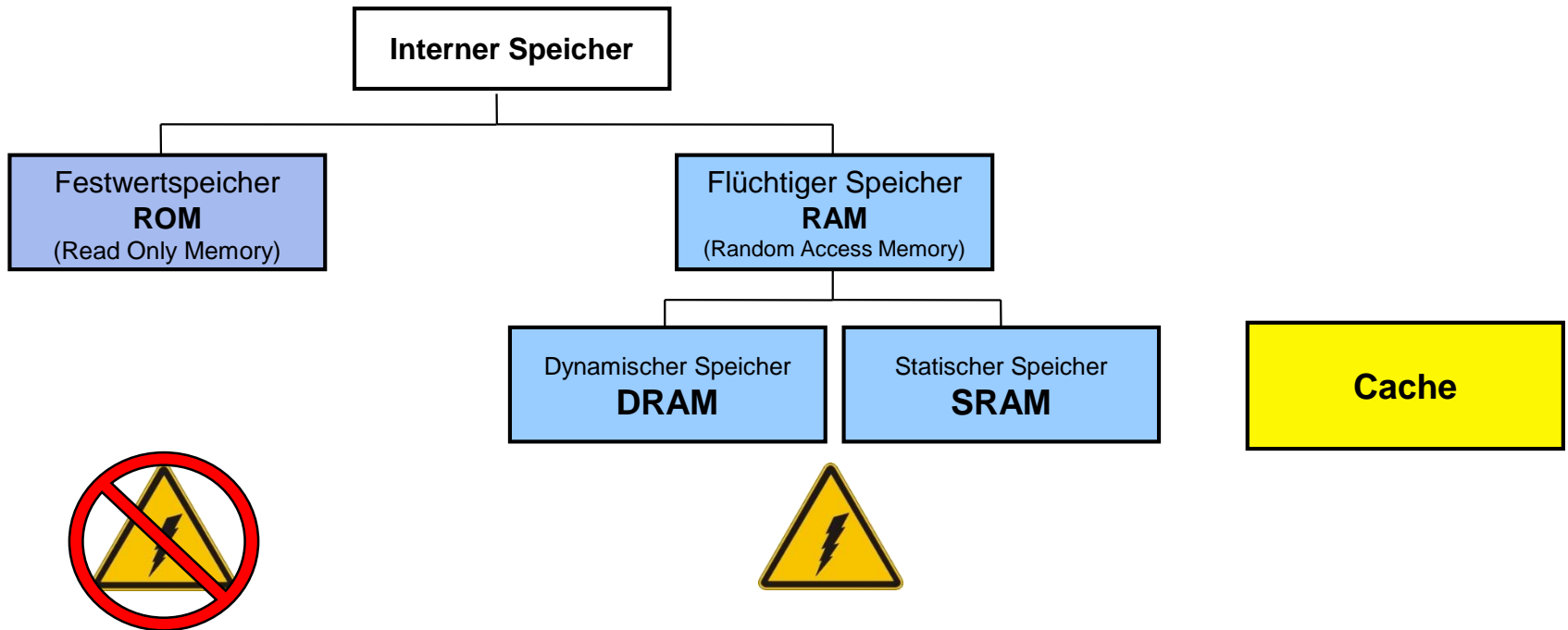


Interner Speicher

Markus Weißenbach



Klassifizierung von internem Speicher



Zugriffszeit:

Zeitspanne vom Anlegen der Adresse bis zum Übertragen der Daten vom/zum Prozessor

Datenrate:

Geschwindigkeit, mit der Daten geschrieben/gelesen werden können in Bytes/s

ROM (Read Only Memory)

MROM	Festwertspeicher nur einmalig beschreibbar mit einer speziellen „Maske“
PROM	Programmierbarer Festwertspeicher nur einmalig elektrisch programmierbar
EPROM	Löschbarer programmierbarer Festwertspeicher der Inhalt kann mit Hilfe von UV-Licht gelöscht werden
EEPROM (E ² PROM)	Elektrisch löschbarer programmierbarer Festwertspeicher der Inhalt kann mit elektrischem Impuls byteweise gelöscht werden
Flash-EEPROM	Elektrisch löschbarer programmierbarer Festwertspeicher Schreib-/Löschvorgang kann „blockweise“ erfolgen

EEPROM

- Electrically Erasable Programmable Read-Only Memory
 - elektrisch löschbarer Nur-Lese-Speicher
- Programmierung durch spezielle Programmier-Geräte oder direkt durch Chipsatz/BIOS
- Besteht aus Feldeffekt-Transistorenmatrix
- Mit geringer Spannung werden Daten ausgelesen
- Max. ca. 1.000.000 Schreibzyklen



RAM (Random Access Memory)

- elektronischer, flüchtiger Schreib-Lesespeicher
- Wahlfreier Zugriff: Random Access Memory
- bei Unterbrechung der Spannungsversorgung gehen die gespeicherten Daten verloren
- der Speicherbereich ist matrizenförmig angeordnet:
 - jede Speicherzelle kann eindeutig über ihre Zeilen- und Spaltenadresse angesprochen werden
- man kann zwischen zwei grundlegenden Technologien unterscheiden:
 - Static RAM: SRAM
 - Dynamic RAM: DRAM

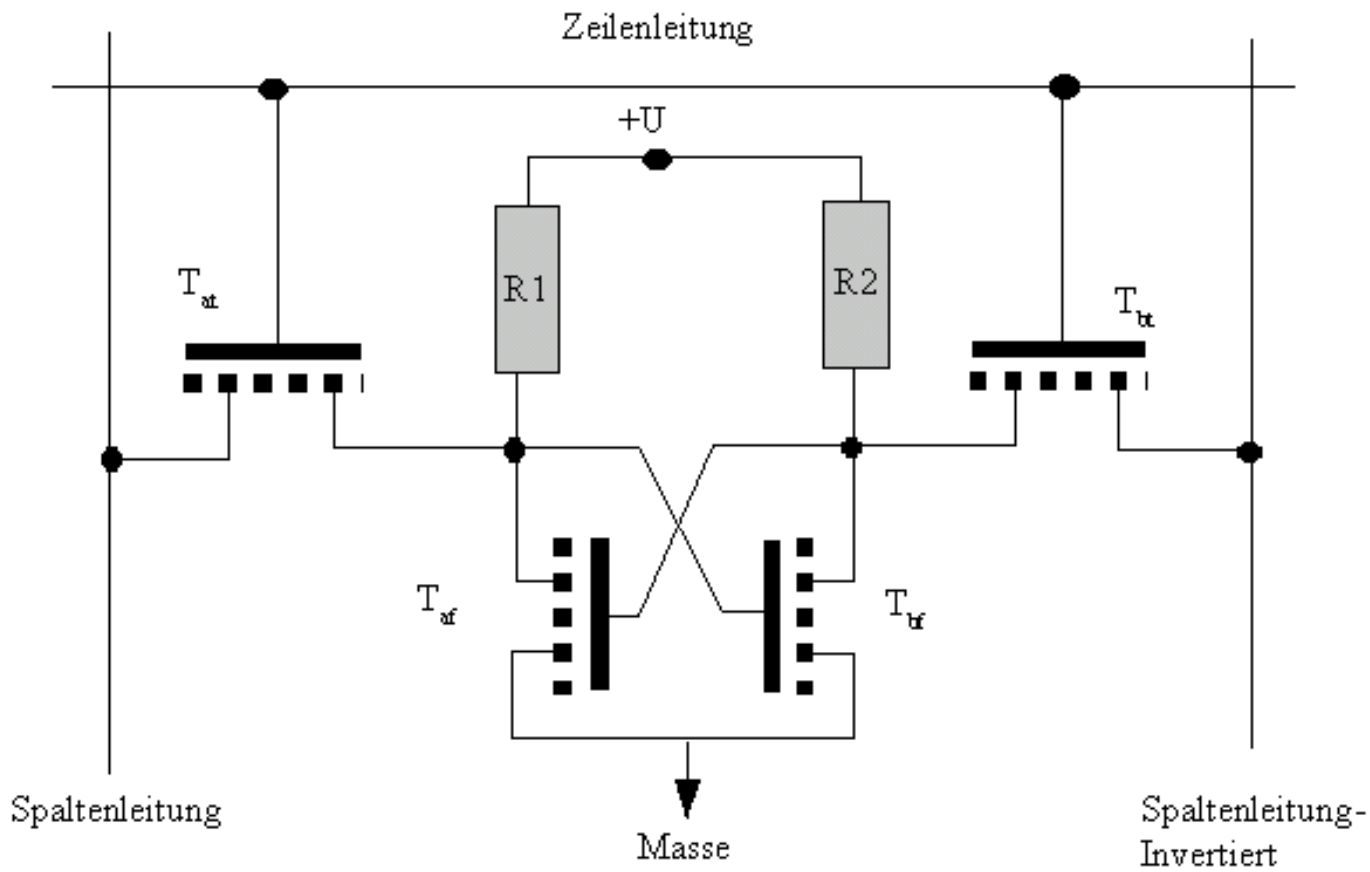


Static RAM - SRAM

- eine Speicherzelle ist aus Flipflops aufgebaut; jedes Flipflop kann einen binären Zustand codieren, also 0 oder 1 einnehmen
- Inhalt bleibt solange erhalten, wie Spannungsversorgung anliegt
- zunächst **asynchron**: interne Funktionsabläufe nicht mit dem Timing von anderen Systemkomponenten synchronisiert → Wartezyklen (Waitstates)
- jetzt **synchron**: heute standardmäßig verwendetes SSRAM arbeitet synchron zum Systemtakt → Wartezyklen entfallen
- **Zugriffszeit** ist kürzer als bei DRAM, jedoch ist die Anzahl von Speicherzellen pro Fläche kleiner und die Herstellung teurer
- wird meist nur bei Zwischenspeichern (Caches) eingesetzt
- spezielle Cellular-SRAMS mit besonders geringer Leistungsaufnahme und hoher Speicherkapazität für den Einsatz in Handys

Schaltbild einer SRAM Zelle

- pro Bit 4 Transistoren:



Dynamic RAM - DRAM

- Speicherzellen bestehen nur aus Transistoren und Kondensatoren
 - Kondensatoren speichern Informationen mit elektrischen Ladungen
 - Transistoren regeln den Zugang der Kondensatoren

Problem:

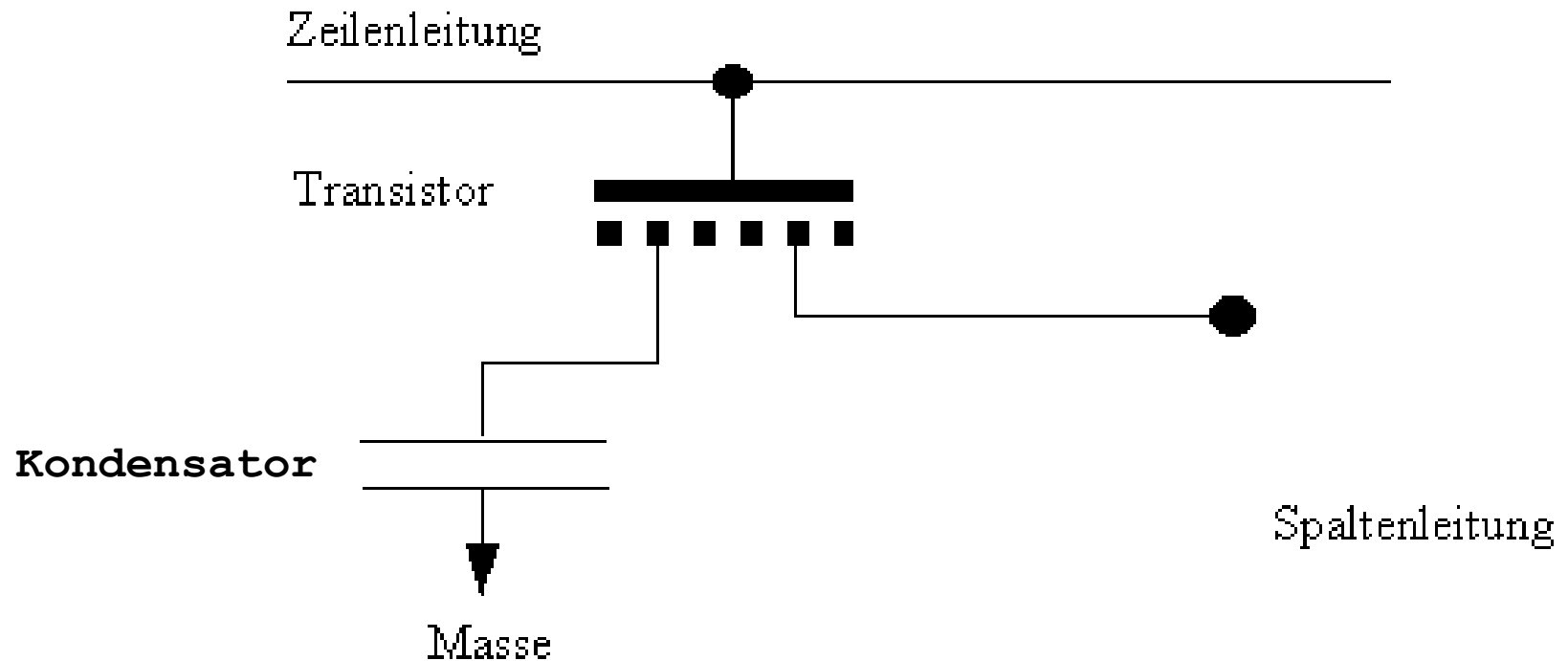
- Kondensatoren verlieren kontinuierlich Ladung → Spannung sinkt

Lösung:

- Refresh: Wiederauffüllen der Ladung
 - ca. alle 3 ms ist eine Auffrischung nötig
 - Während des Refresh's hat der Prozessor keine Zugriffsmöglichkeit auf die Zelle
- DRAM benötigen weniger Platz für Speicherzellen als SRAM

Schaltbild einer DRAM Zelle

- pro Bit 1 Transistor und 1 Kondensator (wird als Transistor hergestellt)



DRAM Typen

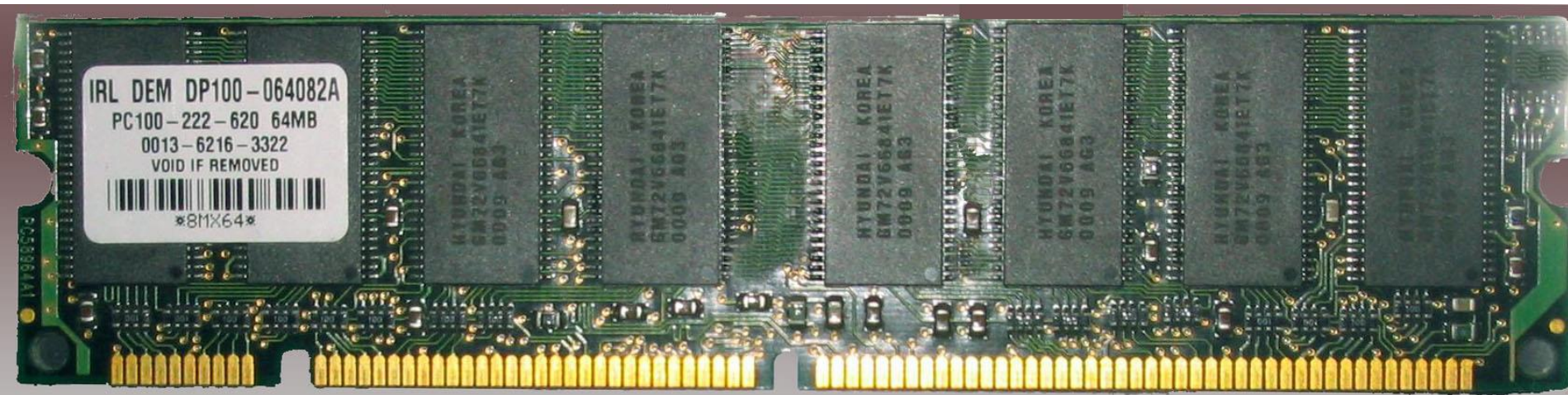
EDO-RAM	Früher verwendeter RAM-Baustein, arbeitet asynchron zum CPU-Takt
SD-RAM SDR-SDRAM	Ein- und Ausgangssignale werden synchron mit dem CPU-Takt verwendet, es entfallen unnötige Wartezyklen
DDR-SDRAM DDR-RAM	Weiterentwicklung des SD-RAM Es werden Daten auf der ansteigenden und abfallende Flanke eines Taktzyklus gelesen
DDR2-RAM DDR3-RAM DDR4-RAM	Weiterentwicklung der DDR-RAM-Technologie

Speichermodule

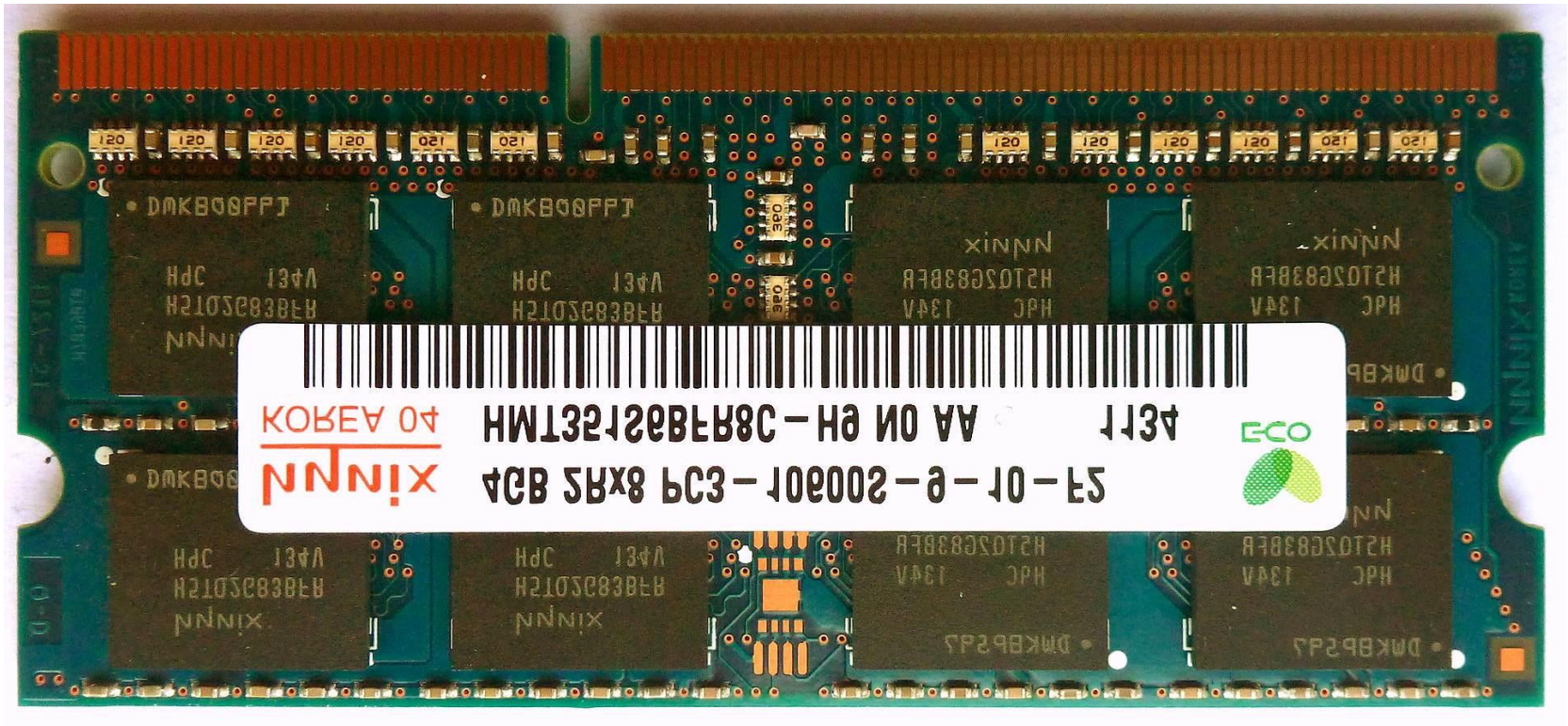
Unter einem Speichermodule versteht man eine kleine Leiterplatte, die mit montierten Speicher-ICs bestückt ist

Single Inline Memory Module (SIMM)	Veraltetes Speichermodule; findet man noch in alten PC's; Datenbusbreite von 8 bzw. 32 bit
Dual Inline Memory Module (DIMM)	Entweder für SDR-SDRAM (Single Data Rate Synchronous Dynamic Random Access Memory) oder DDR-SDRAM, haben aber verschiedene Anschlusskontakte; Datenbusbreite von 64 bit
Small Outline DIMM (SO-DIMM)	Speziell für Notebooks aufgrund ihrer Größe und der geringen Energieaufnahme und Wärmeabgabe
Rambus Inline Memory Modul (RIMM)	Sind grundsätzlich mit RD-RAM-Bausteinen (Rambus) ausgestattet und werden von Pentium-IV-Prozessoren unterstützt, sind aber noch sehr teuer.

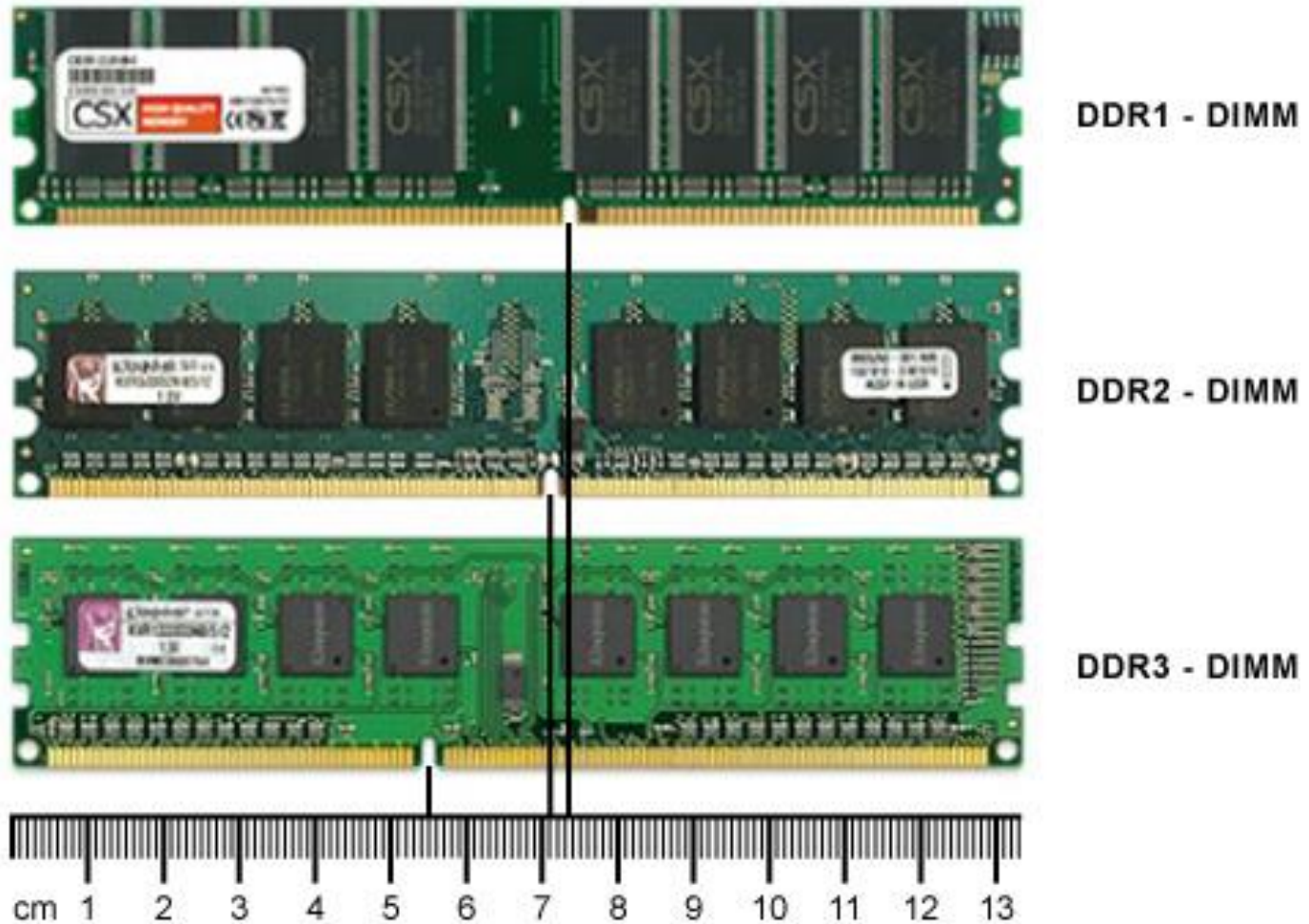
SDR-SDRAM (DIMM)



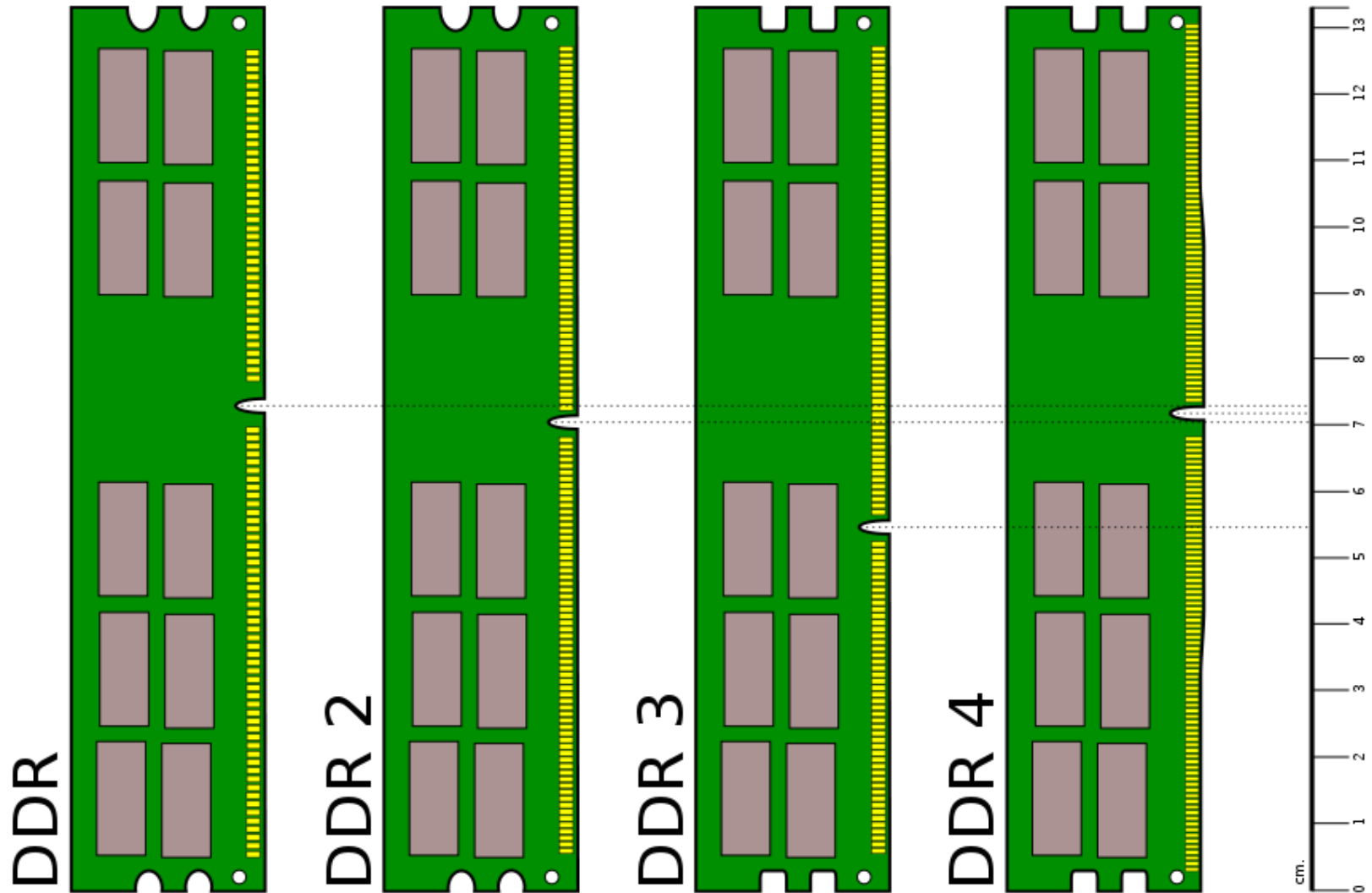
SO-DIMM



DDR, DDR2, DDR3 Module



DDR → DDR4 Module



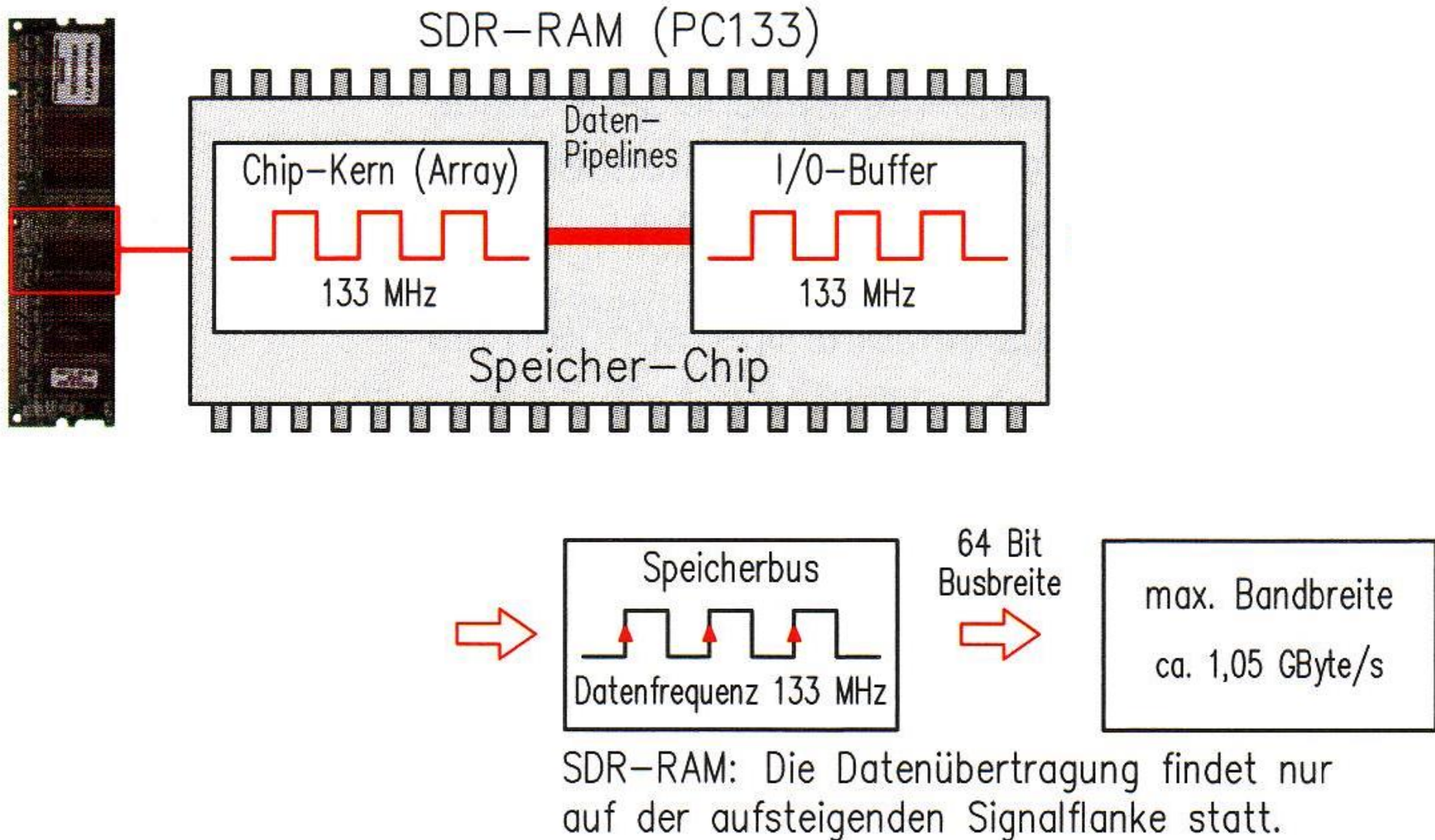
Fehlererkennung und -korrektur

- Speichermodule können unterschiedlich organisiert sein:
 - ohne Paritätsprüfung
 - mit Paritätsprüfung
 - mit Fehlerkorrekturcode (ECC: Error Checking Code)

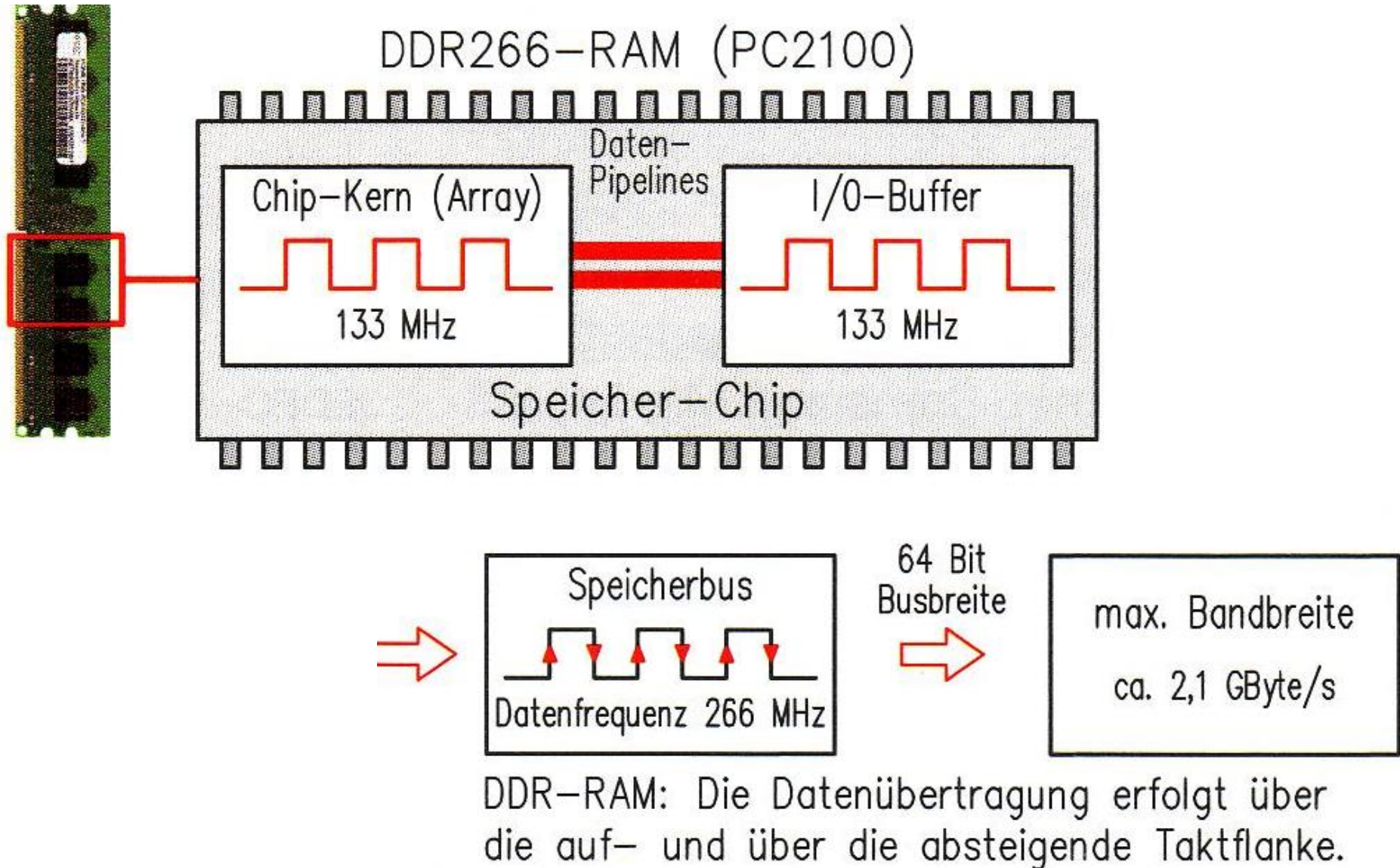
- **Paritätsprüfung:**
 - zusätzlich zu 8 Datenbits wird in einem Paritätsbit festgehalten, ob im Datenbyte eine gerade oder ungerade Anzahl von Einsen enthalten ist
 - daran lässt sich erkennen ob ein Fehler im Datenwort vorliegt

- **Fehlerkorrektur:**
 - ECC: Error Correction Code
 - nur unter Verwendung spezieller Fehlerortbestimmungsalgorithmen möglich
 - meist nur in High-End PCs oder Servern

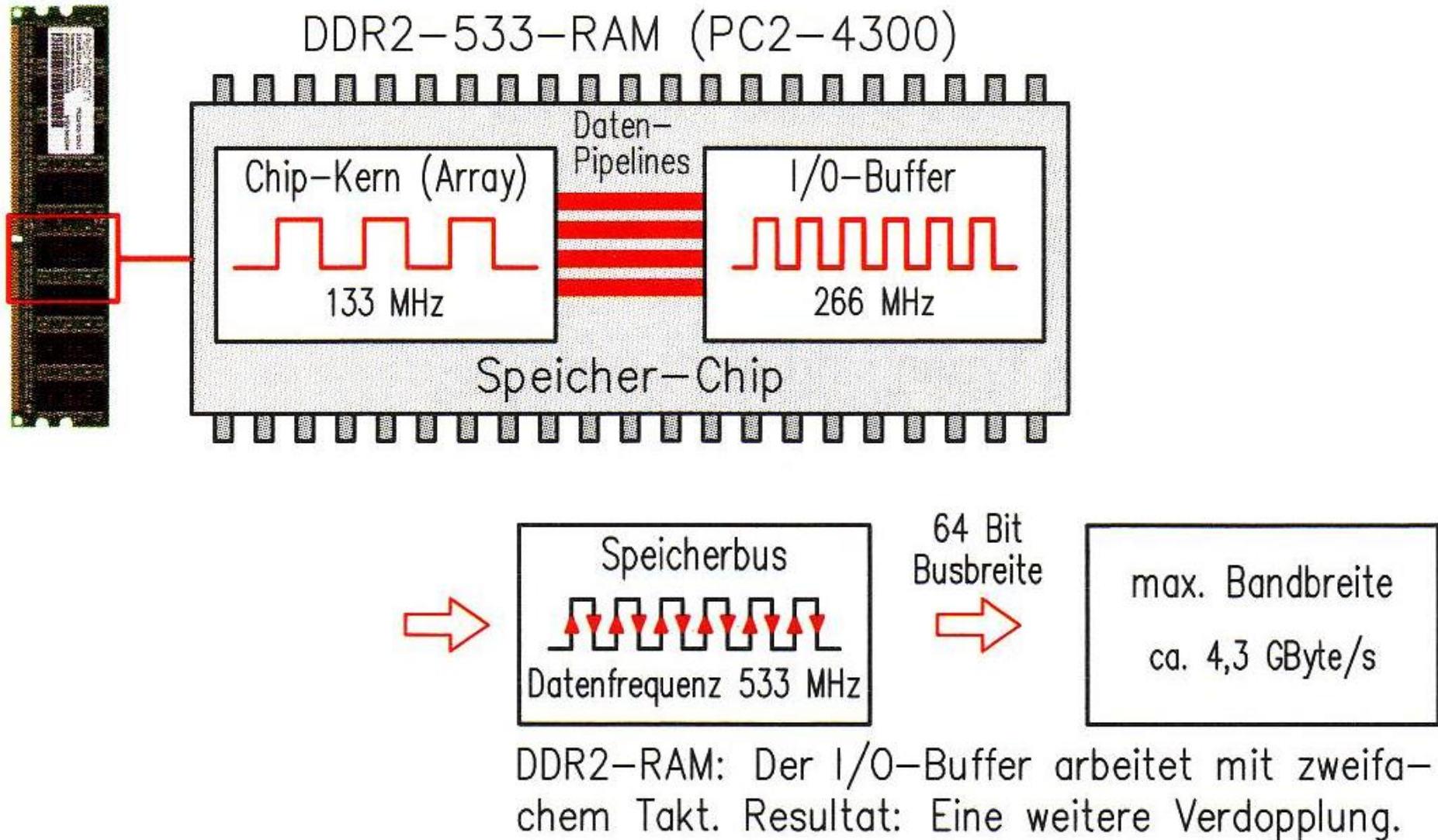
SD-RAM



DDR-RAM

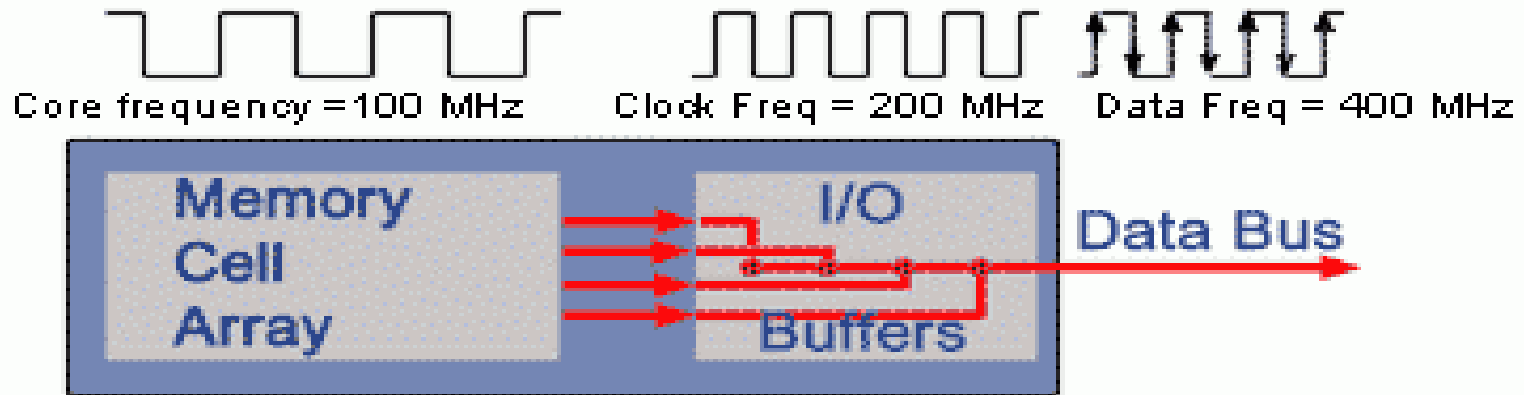


DDR2-RAM

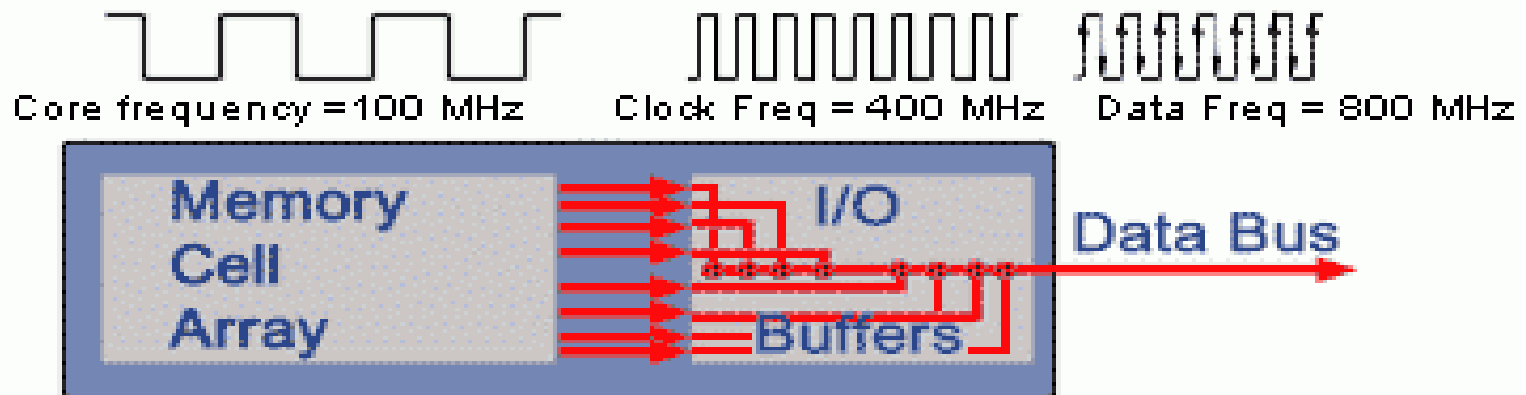


DDR2 \leftrightarrow DDR3

DDR II



DDR III



DDR4

- **Keine** neue Vervielfachung der Taktfrequenz zwischen I/O Buffer und Memory Array
- Gegenüber DDR3
 - kleinere Strukturgröße (30nm)
 - Kleinere Spannung (1,2V statt 1,5V)
 - Höhere Taktraten

Datentransferrate

- der Speicherbustakt ist nicht mehr die allein bestimmende Größe für die maximale Datentransferrate
- daher wird die „**Geschwindigkeitsklasse**“ angegeben

Geschwindigkeitsklasse = TaktSpeicherzelle · Datenpipelins · Übertragungsfaktor

- Beispielrechnung für die max. theoretische Übertragungsrate eines DDR-SDRAMs mit 133MHz

$$\begin{aligned} V_{\ddot{u} \max} &= \frac{\text{Datenbusbreite} \cdot \text{Geschwindigkeitsklasse}}{8} \\ &= \frac{64\text{bit} * 266\text{MHz}}{8} = 2,12\text{GByte} / s \end{aligned}$$

Berechnung der Datentransferrate

DDR-400

- $(200 \text{ MHz} \times 64 \text{ Bit} \times 2) / 8 = 3.200 \text{ MByte/s} = 3,2 \text{ GByte/s}$

DDR2-800

- $(200 \text{ MHz} \times 64 \text{ Bit} \times 2 \times 2) / 8 = 6.400 \text{ MByte/s} = 6,4 \text{ GByte/s}$

DDR3-1600

- $(200 \text{ MHz} \times 64 \text{ Bit} \times 2 \times 4) / 8 = 12.800 \text{ MByte/s} = 12,8 \text{ GByte/s}$

Berechnung der Datentransferrate

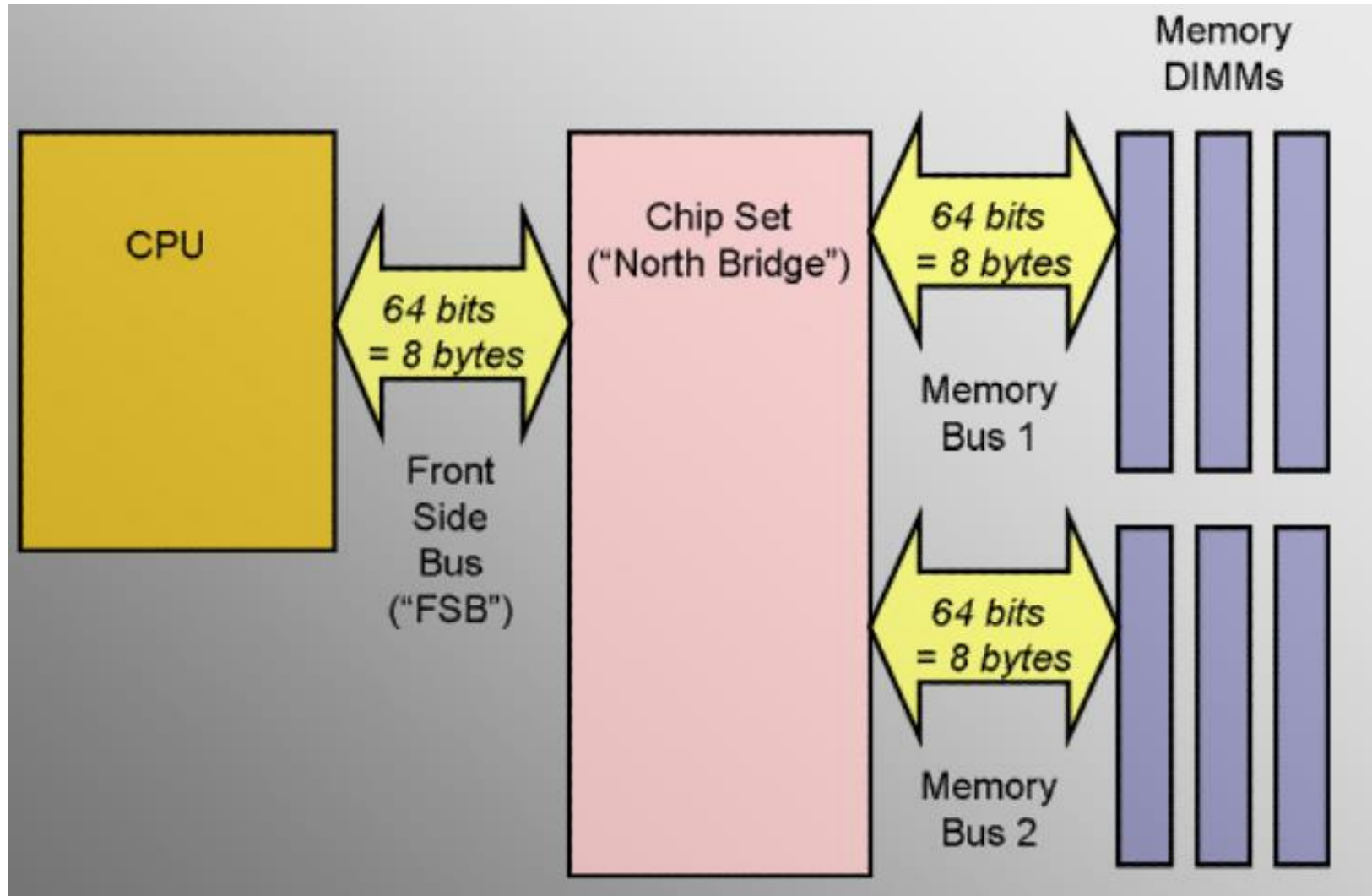
DDR4-2133

- $(266 \text{ MHz} \times 64 \text{ Bit} \times 2 \times 4) / 8 = 17.024 \text{ MByte/s} = 17,0 \text{ GByte/s}$

DDR4-2400

- $(300 \text{ MHz} \times 64 \text{ Bit} \times 2 \times 4) / 8 = 19.200 \text{ MByte/s} = 19,2 \text{ GByte/s}$

Dual Channel RAM



Dual Channel RAM

- Fähigkeit aktueller Mainboards, zwei Arbeitsspeichermodule parallel zu betreiben
- dazu benötigen die Module:
 - die selbe Speicherkapazität
 - die selbe Geschwindigkeitsklasse (z.B. PC 2700 oder PC 3200)
 - die selbe Anzahl von Chips und "module sides"
- nicht die Bandbreite zwischen Prozessor und Speicher sondern die Bandbreite zwischen Speicher und Speichercontroller wird erhöht
- bei Single-Channel-Modus mit 64 Bit (64 Datenleitungen) → Betrieb im Dual-Channel-Modus mit $2 \times 64 \text{ Bit} = 128 \text{ Bit}$ (jeweils 128 Datenleitungen)
- Performancesteigerung bis zu 20%