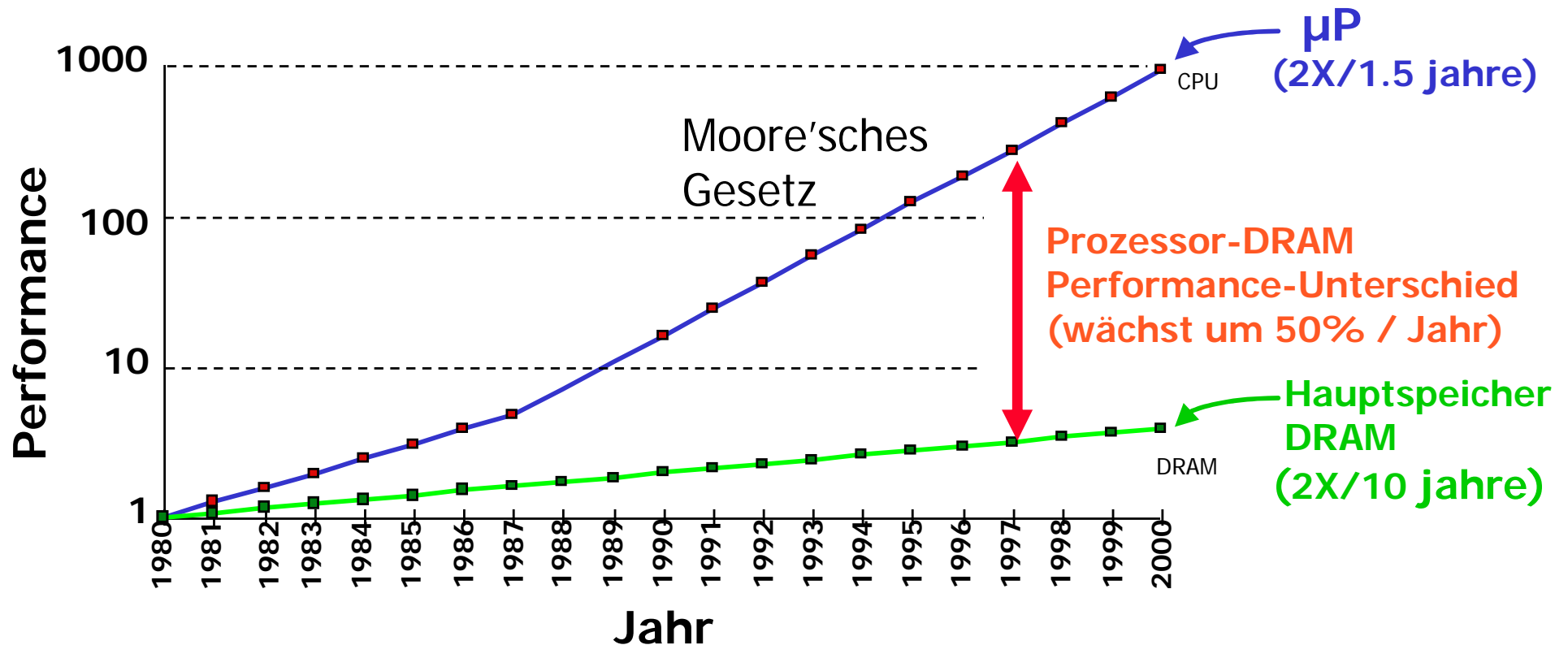


Kapitel 6 Speicherwerk

- Halbleiterspeicher
- Aufbau und Organisation
- Techniken zur Zugriffsbeschleunigung



Prozessor-Speicher-Performance-Unterschied



Immer größer werdende Lücke zwischen Verarbeitungsgeschwindigkeit von Prozessoren und Zugriffsgeschwindigkeit der DRAM-Speicherchips des Hauptspeichers



Speicher-Technologie-Trends

	Kapazität	Geschwindigkeit
Logic:	2x in 3 Jahren	2x in 3 Jahren
DRAM:	4x in 3 Jahren	2x in 10 Jahren
Disk:	4x in 3 Jahren	2x in 10 Jahren

Hauptspeicher (DRAM)		
Jahr	Kapazität	Zykluszeit
1980	64 Kb	250 ns
1983	256 Kb	220 ns
1986	1 Mb	190 ns
1989	4 Mb	165 ns
1992	16 Mb	145 ns
1995	64 Mb	120 ns
1998	256 Mb	100 ns
2002	1 Gb	80 ns

1000:1 (Kapazität) and 2:1 (Zykluszeit) trends are indicated between 1980 and 1995.



Speicherwerk

- **Heute:**

 - Aufbau und Organisation des Hauptspeichers

- **Später:**

 - Speicherhierarchie zum Abbau der Kluft zwischen Verarbeitungsgeschwindigkeit von Prozessoren und Zugriffsgeschwindigkeit des Hauptspeichers



Speicherwerk

2 Arten von Speicher in einem Rechner:
Hauptspeicher (Arbeitsspeicher) und Peripheriespeicher

Hier soll der Hauptspeicher näher betrachtet werden

Hauptspeicher:

Gedächtnis (*memory*) des Rechners

Es werden dort Programme und Daten gespeichert,
die **“jeder Zeit sofort”** zur Verfügung stehen müssen



Speicherwerk

Man unterscheidet zwischen:

- permanenter Ablage von Daten → Langzeitgedächtnis
Festwertspeicher (ROM), nicht flüchtig
z. B. Betriebssystemkern, Systemtabellen
- vorübergehender Ablage von Daten → Kurzzeitgedächtnis
Schreib/Lesespeicher (RAM), flüchtig
z. B. Anwenderprogramme



Speicherwerk

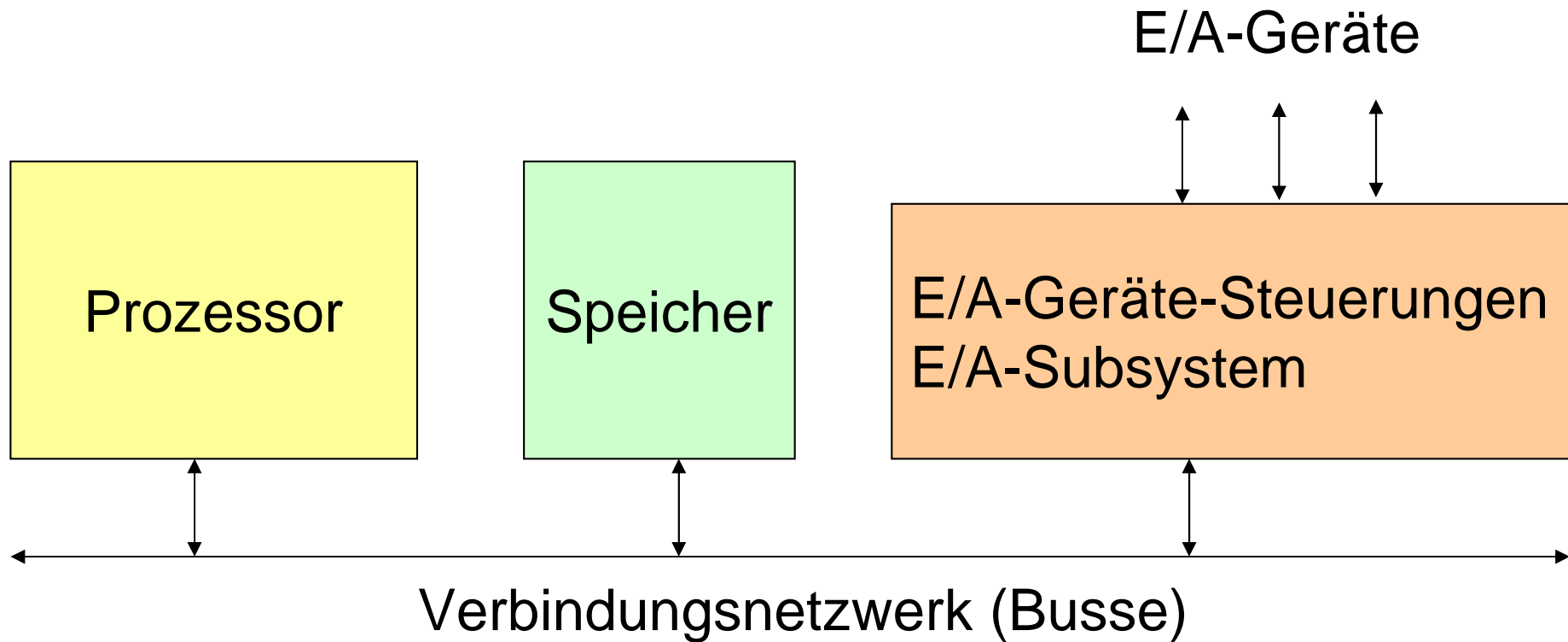
Als Hauptspeicher wird verwendet:

heute: ausschließlich Halbleiterspeicher
schnell, klein, zuverlässig,
preisgünstig (< 1 € / Mbyte)

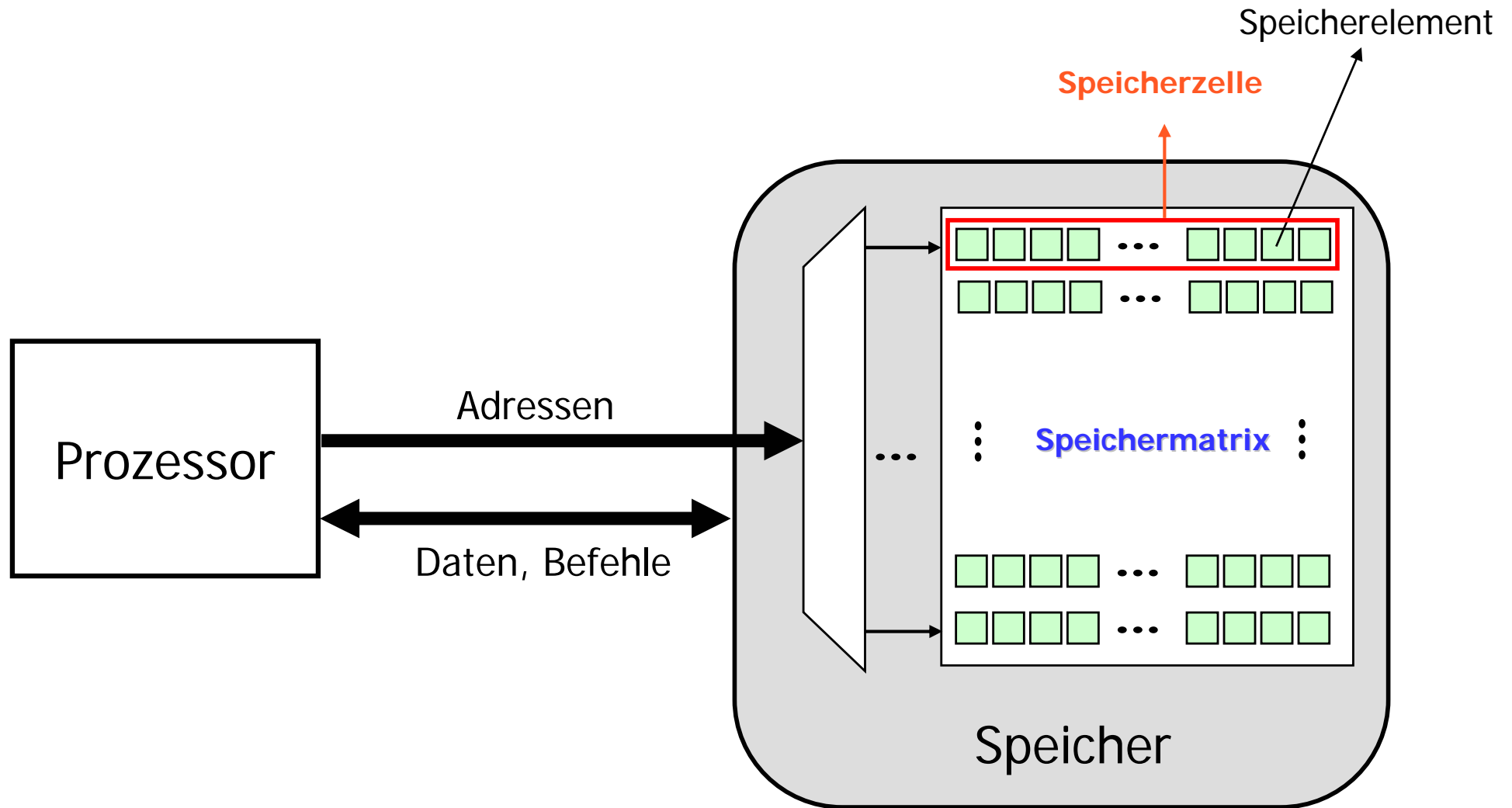
früher: Ringkernspeicher (Magnetspeicher),
Röhren, Relais
langsam, groß, teuer
z. B. ¼ Mbyte Speichererweiterung einer
IBM/360-75 kostete 1967 1 Million DM



Speicherwerk



Allgemeine Struktur: Matrixanordnung



6. 1 Begriffe

- **Speicherelement:** 1 Bit Speicher
- **Speicherzelle (-platz, -stelle):**
feste Anzahl von Speicherelementen, die durch eine einzige Adresse ausgewählt werden, z. B. 8, 16, 32 Bit
- **Speicherwort:**
maximale Anzahl von Speicherelementen, die in einem Buszyklus zwischen μ P und Speicher übertragen werden können → Speicherwortbreite = Datenbusbreite
- **wahlfreier Zugriff:**
jede Speicherzelle kann direkt angesprochen werden (ohne vorher andere Zellen ansprechen zu müssen)
Die Selektion erfolgt über einen Adressdekoder.
Die Adresse wird in einen 1-aus-n Code umgeformt



6. 1 Begriffe

□ Organisation:

Die Organisation eines Speicherbausteins bzw. eines Speichers wird durch die Anzahl **n** seiner Speicherzellen und die Anzahl **m** der Speicherelemente pro Zelle definiert. Angabe in der Form: **n x m Bit**

Beispiel:

4k x 8 Bit Speicher enthält 4096 Speicherzellen je 8 Bit
Aufbau aus acht 4k x 1 Bit Bausteinen oder zwei 4k x 4
Bausteinen oder ...

Ein 16-MBit-DRAM mit Organisation 4Mx4, 2Mx8 oder
1Mx16



6. 1 Begriffe

□ **Kapazität:**

Informationsmenge (in Bit), die im Speicher untergebracht werden kann: **$n \times m$ Bit**

□ **Größen zur Charakterisierung der Arbeitsgeschwindigkeit eines Speicherbausteins:**

➤ **Zugriffszeit (*access time*)**

maximale Zeitdauer, die vom Anlegen einer Adresse an den Speicher bis zur Ausgabe der gewünschten Daten vergeht

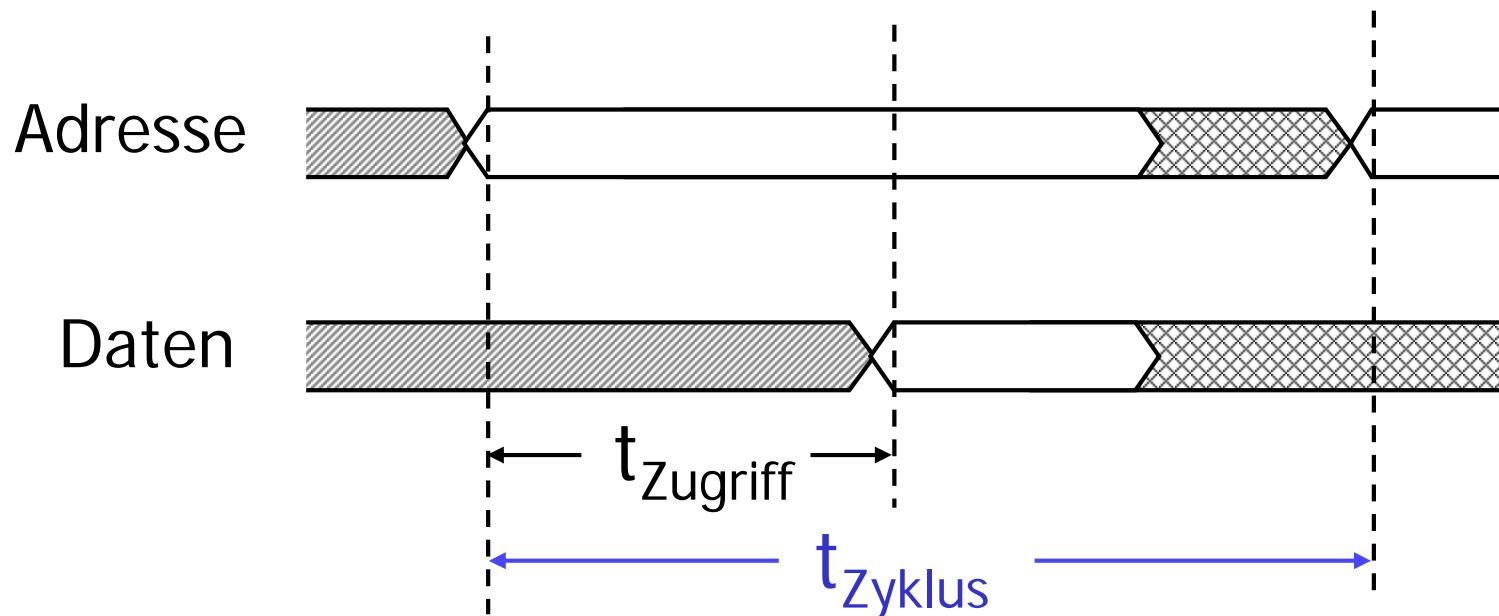
➤ **Zykluszeit (*cycle time*):**

minimale Zeitdauer, die zwischen zwei hintereinander folgenden Aufschaltungen von Adressen an den Speicher vergehen muss.



Zugriffszeit / Zykluszeit

- **Zugriffszeit (*access time*)**
maximale Zeitdauer, die vom Anlegen einer Adresse an den Speicher bis zur Ausgabe der gewünschten Daten vergeht
- **Zykluszeit (*cycle time*):**
minimale Zeitdauer, die zwischen zwei hintereinander folgenden Umschaltungen von Adressen an den Speicher vergehen muss.



Zugriffszeit / Zykluszeit

Die Zykluszeit kann erheblich länger als die Zugriffszeit sein!

Gründe:

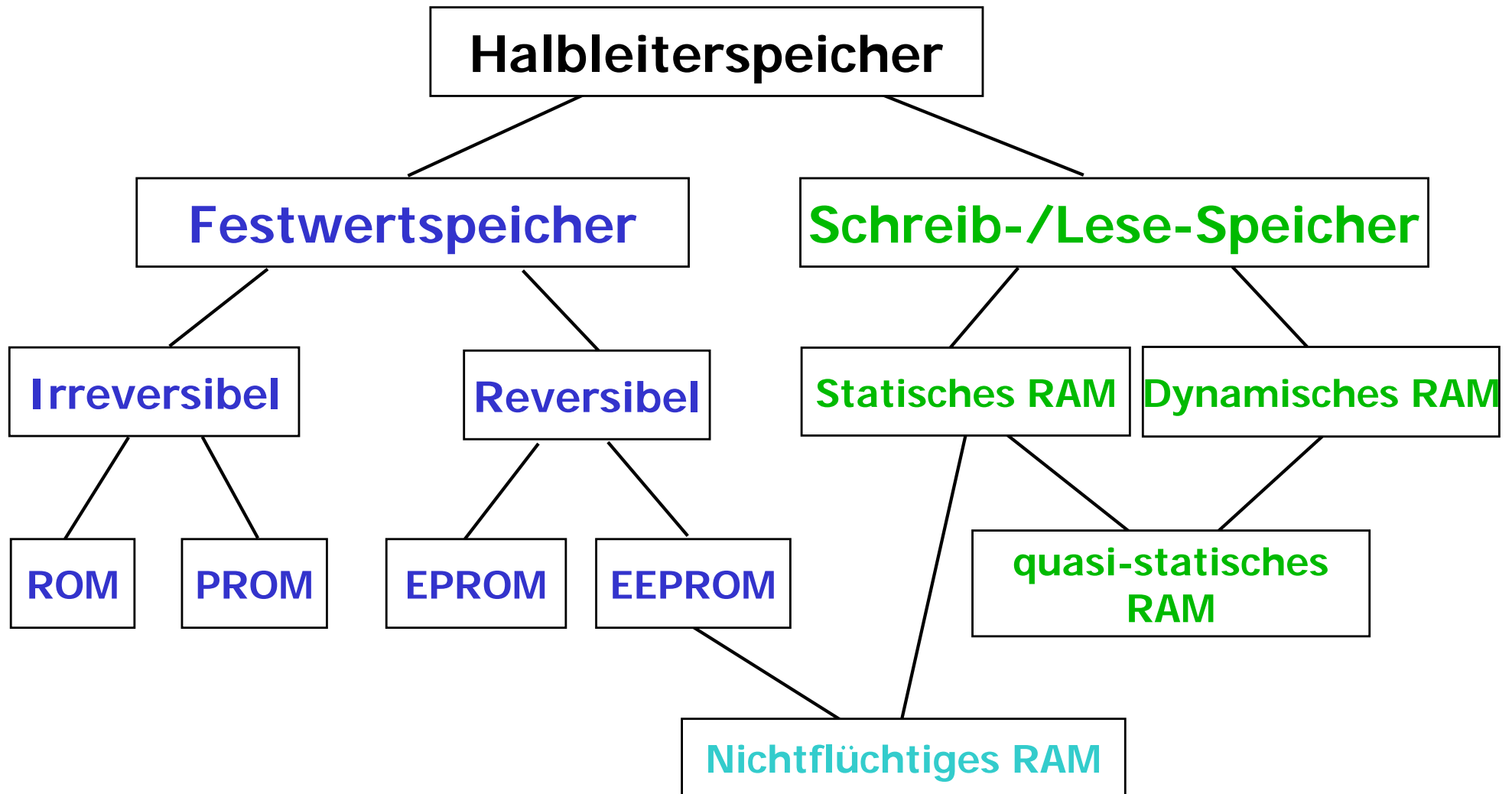
- Speicherzelle muss sich nach einem Zugriff "erholen"
- Bei einigen Speicherarten wird die Information durch das Auslesen zerstört und muss erst wieder eingeschrieben werden (refresh)

Idealfall: Zykluszeit = Zugriffszeit

Realität: meist Zykluszeit > Zugriffszeit



6.2 Klassifizierung von Halbleiterspeichern



Festwertspeicher (ROM, *Read Only Memory*)

Inhalt ist während des Normalbetriebs nur lesbar. Inhalt ist nicht flüchtig (*non volatile*), d. h. er geht bei Abschaltung der Versorgungsspannung nicht verloren

□ **Irreversible Festwertspeicher:**

Das Einschreiben einer Information kann nicht wieder rückgängig gemacht werden

- maskenprogrammierten Festwertspeicher (ROM):
Programmierung bei der Herstellung, nur bei großer Stückzahl
- programmierbare Festwertspeicher (PROM):
einmaliges Programmieren durch den Anwender mit Programmiergerät (Durchbrennen von Verbindungen, fusable links)



Festwertspeicher (ROM, *Read Only Memory*)

□ **Reversible Festwertspeicher:**

Das Einschreiben der Informationen kann wieder rückgängig gemacht werden.

- UV-löschbaren Festwertspeicher (EPROM):
Löschen durch UV-Licht.
- Elektrisch löschbare Festwertspeicher (EEPROM):
können im μ P-System selbst elektrisch gelöscht werden.
Dieser Vorgang ist jedoch sehr langsam und nur begrenzt oft möglich.
- Flash-ROM:
Werden genauso wie EEPROMs elektrisch programmiert. Die Daten werden nicht byteweise sondern blockweise ausgelesen und geschrieben.



Schreib/Lese-Speicher (RAM, *Random Access Memory*)

- Random Access Memory (RAM): Zugriffszeit unabhängig vom Ort (Adresse) im Speicher
- Inhalt ist jeder Zeit lesbar und schreibbar.
- Inhalt ist flüchtig (*volatile*), d. h. er geht bei Abschalten der Versorgungsspannung verloren.
 - **Statische Schreib/Lese-Speicher (SRAM)**
 - **Dynamische Schreib/Lese-Speicher (DRAM)**



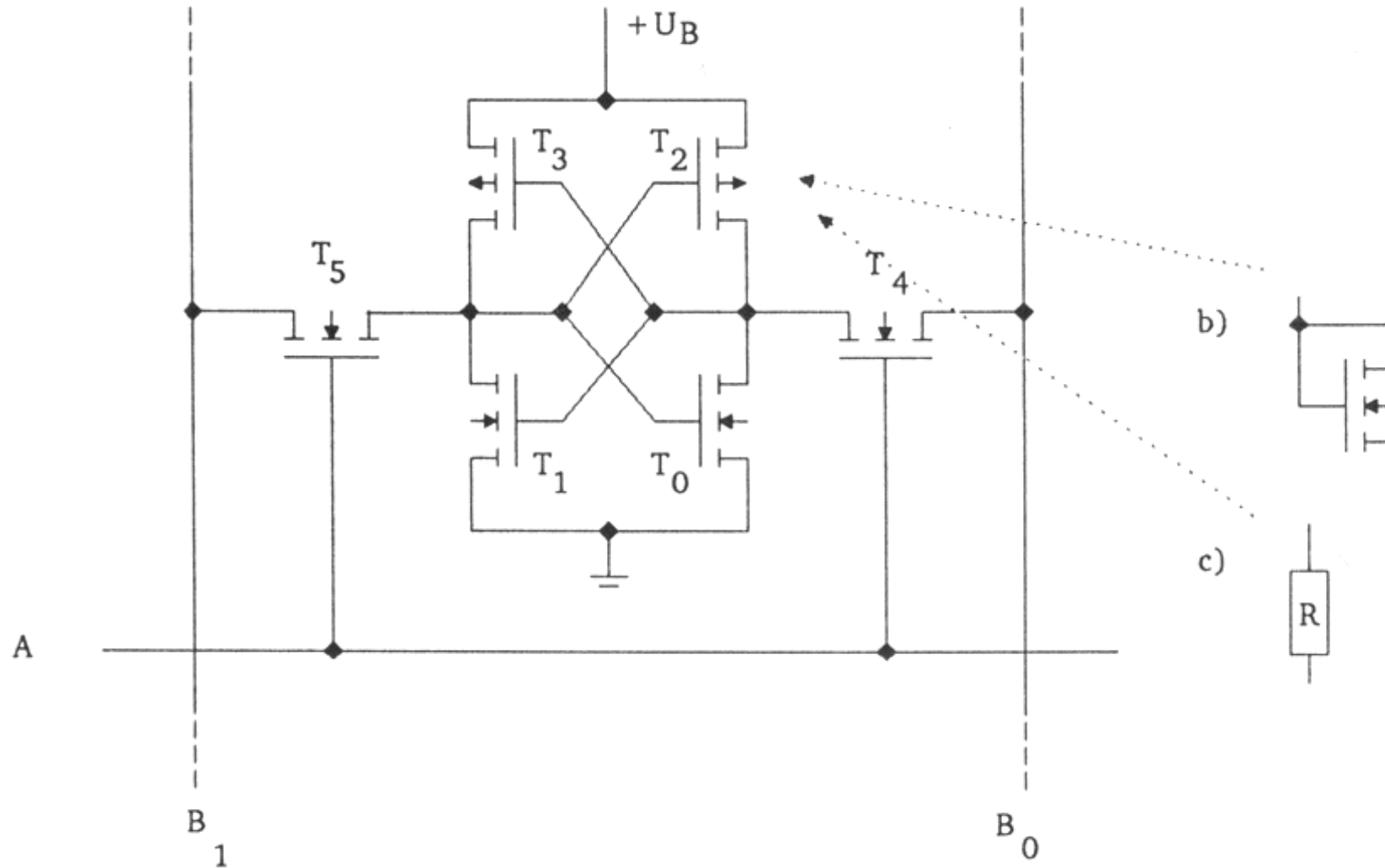
Schreib/Lese-Speicher (RAM, *Random Access Memory*)

□ **Statische Schreib/Lese-Speicher (SRAM)**

- Speichern Daten in Flipflops.
- Inhalt stabil, solange Versorgungsspannung vorhanden ist.
- Versionen:
 - aus Bipolar-Transistoren
(schneller, aber großer Flächenbedarf)
 - aus MOS-Transistoren
(langsamer, aber kleinerer Flächenbedarf)



Statische CMOS-Speicherzellen



Statische CMOS-Speicherzellen

- Eine Statische CMOS-Speicherzelle besteht aus
 - 2 kreuzweise rückgekoppelten Invertern (T_0, T_2 bzw. T_1, T_3).
 - 2 Transistoren T_4 und T_5 zur Ankopplung an die Bitleitungen

→ 6 Transistor Zelle

Vorteil der CMOS-Zelle:

nur zum Umschaltzeitpunkt fließt Strom

NMOS-Zelle:

Inverter aus n-Kanal-Transistor und Widerstand wird benutzt (Varianten b, c)

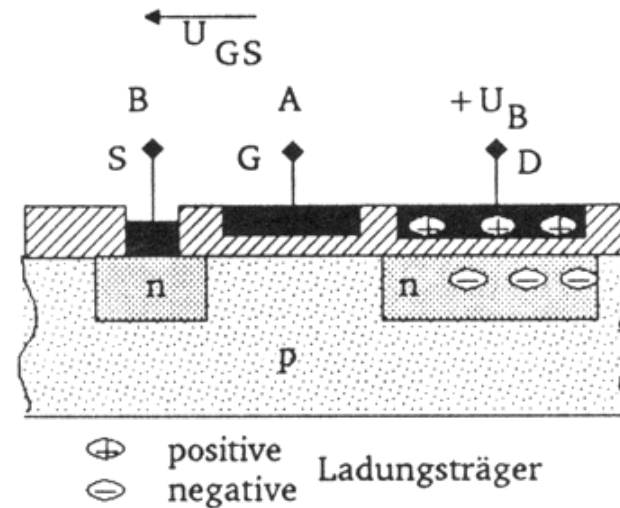
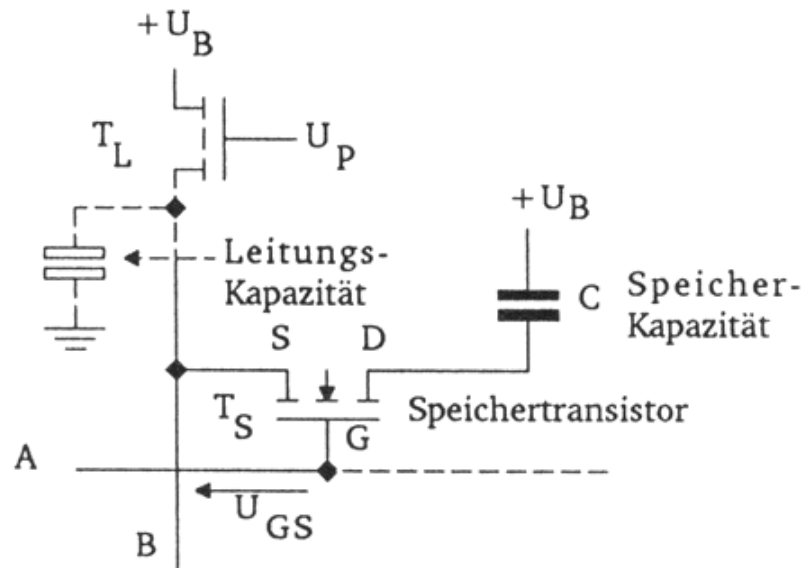


Schreib/Lese-Speicher (RAM, *Random Access Memory*)

- **Dynamische Schreib/Lese-Speicher (DRAM)**
 - Speichern Daten als elektrische Ladung in einem Kondensator
 - Das Lesen bewirkt eine Entladung (*destructive read*)
➔ nach dem Lesen muss wieder eingeschrieben werden
 - Die Ladung geht nach einiger Zeit auch durch Leckströme verloren ➔ periodische Auffrischung erforderlich (*refresh*)
 - Integrationsdichte höher als SRAM (ca. 4 mal)



Dynamische MOS-Speicherzellen



1 Transistorzelle, kleinster Aufwand von allen betrachteten Zellen (1/4 Platzbedarf einer SRAM-Zelle)

Die Information wird in einem Kondensator gespeichert.

Dieser Kondensator wird durch eine vergrößerte Drain-Zone gebildet, die durch eine dünne Isolierschicht vom Drain-Kontakt getrennt ist

Kapazität ca. 0,1 - 0,5 pF → speichert 100 000 - 150 000 Elektronen

Dynamische MOS-Speicherzellen

Lesen:

Problem: Speicherkapazität hat ungefähr die gleiche Größe wie parasitäre Leitungskapazität der Bitleitung

Das Lesen erfolgt durch Ladungsvergleich zwischen Leitungskapazität und Speicherkapazität

Ablauf:

- Zunächst wird die Leitungskapazität vorgeladen (*precharge*), indem die Bitleitung kurz über T_L mit $+U_B$ verbunden wird
 - Zum Lesen wird dann über A eine positive Spannung an das Gate des Speichertransistors gelegt
- Ist die Speicherkapazität geladen, so findet ein Ausgleich mit den Ladungsträgern der Bitleitung statt
- Leseverstärker am Ende der Bitleitung mißt diesen Strom



Dynamische MOS-Speicherzellen

□ Schreiben:

Durch Anlegen einer positiven Spannung U_{GS} wird der Speichertransistor leitend.

Liegt nun die Bitleitung B auf Masse

→ Elektronen werden auf die Drain-Zone aufgebracht, der Speicherkondensator geladen

Liegt die Bitleitung B auf U_B

→ Elektronen werden von der Drain-Zone abgesaugt, der Speicherkondensator entladen

(Zuordnung log. 0 / log. 1 zu Ladung / keine Ladung ist rein willkürlich)



Schreib/Lese-Speicher (RAM, *Random Access Memory*)

- **Quasi-statische Schreib/Lese-Speicher (iRAM, integrated RAM)**
 - dynamische Speicher, welche die Schaltung für das Wiederauffrischen mit auf dem Chip haben
 - ➔ sie sehen nach außen wie statische Speicher aus, sind jedoch im inneren dynamisch



Nicht-flüchtige RAM's (NVRAM, *non volatile RAM*)

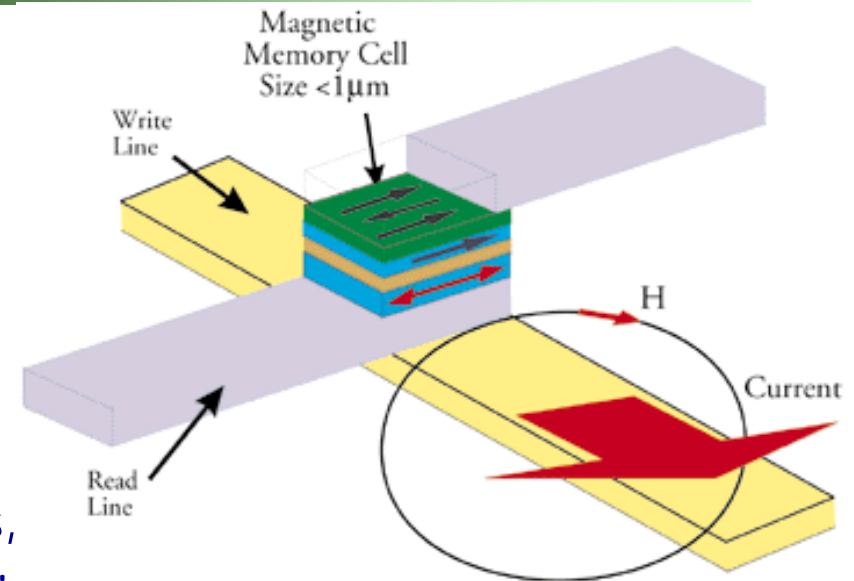
- ❑ Kombination aus Festwertspeicher und Schreib/Lese-Speicher auf einem Baustein.
- ❑ Jede Speicherzelle ist **doppelt** ausgelegt, einmal als **statische RAM-Zelle** und einmal als **EEPROM-Zelle**.
- ❑ Im Normalbetrieb werden die RAM-Zellen benutzt.
- ❑ Ein **spezielle Steuerschaltung** erlaubt jedoch das Kopieren des RAM-Inhalts in das EEPROM.



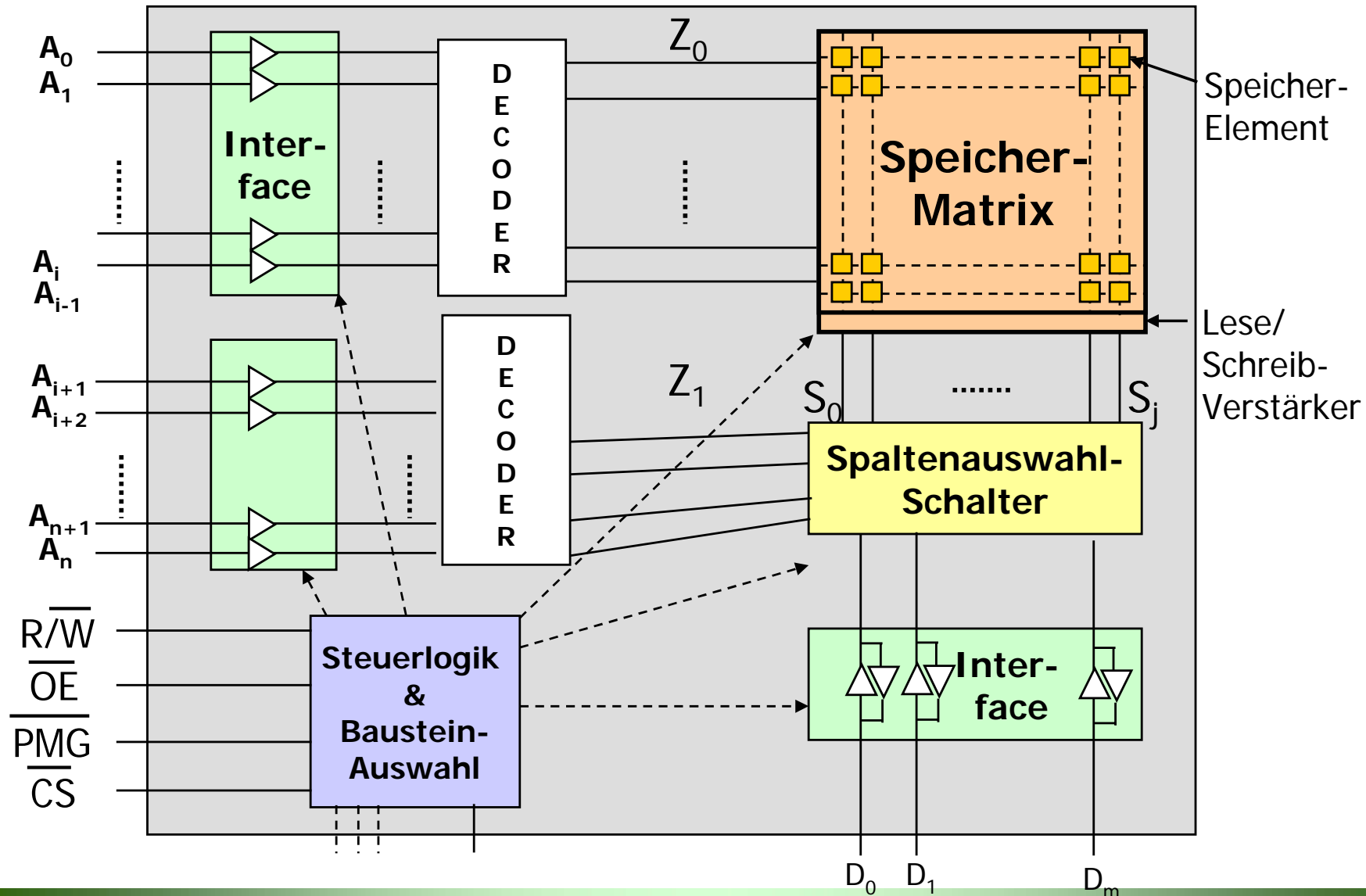
VLSI Symposium in Kyoto, Japan, 10 -14. Juni 2003

IBM und Infineon mit neuer Speichertechnik: **MRAM** (*Magnetoresistive Random Access Memory*) soll die Vorteile der verschiedenen RAM-Technologien vereinen:

- hohe Geschwindigkeit von SRAMs,
 - Dichte und die Kostenvorteile von DRAMs,
 - nichtflüchtige Speicherung von Flash-Speichern
-
- Magnetische statt elektronischer Ladungselemente für die Speicherung
 - Gefertigter Chip mit 128 Kbit in 0.18 μm -Technologie und 1,4 μm^2 Fläche
 - Mit der MRAMs kann z. B. der Bootvorgang bei PCs und Mobilgeräten entfallen.
 - Ab 2005 soll es mit Massenproduktion nach einer gemeinsamen Erklärung von IBM und Infineon soweit sein.



6.3 Organisation von Speicherbausteinen



6.3 Organisation von Speicherbausteinen

Speichermatrix:

Matrixförmige Anordnung der Speicherzellen

Auswahl einer Zelle durch

- Zeilenauswahlleitungen $Z_0 \dots Z_l$
- Spaltenauswahlleitungen $S_0 \dots S_j$

Minimierung der Anzahl Auswahlleitungen durch eine quadratische Matrix, d. h. $l \approx j$



6.3 Organisation von Speicherbausteinen

Steuerlogik & Bausteinauswahl:

- ❑ **CS (chip select) oder CE (chip enable)**: Bausteinauswahl, wird meist durch Adressdekoder aus den höchstwertigsten Adressbits erzeugt
- ❑ **R/W (read/write)**: Auswahl Lesen oder Schreiben, nur bei RAMs, steuert die Richtung der Schreib/Leseverstärker und die Art der Zellenansteuerung
- ❑ **OE (output enable)**: Aktiviert die Ausgangstreiber an der Datenbusschnittstelle (schaltet den Speicherbaustein als Quelle auf den Datenbus, Tristate Treiber)
- ❑ **PGM (program)**: Neuprogrammieren des Bausteins, nur EPROMs, EEPROMs, NVRAMs, über U_p muß dann die Programmierspannung (12..21V) zugeführt werden



6.3 Organisation von Speicherbausteinen

Gewinnung der Zeilen- und Spaltenauswahlleitungen aus den Adressleitungen:

- Niederwertige Adressbits bilden über Interface-Treiber (Treiberleistung, Pegelanpassung, Adresslatch) und einen 1-aus-n Decoder die Zeilenauswahlleitungen
 - ➔ sie wählen eine Zeile der Speichermatrix aus
- Durch die Auswahl einer ganzen Zeile in einer möglichst quadratischen Matrix werden i. A. erheblich mehr Speicherzellen angesprochen als aktuell ausgelesen werden müssen.
 - ➔ Auswahl der anzusprechenden bzw. auszulesenden Spalten durch einen Spaltenauswahl-Schalter. Dieser wird über Treiber und Decoder von den höherwertigen Adressbits gesteuert



Beispiel: Selektieren einer Speicherzelle aufgrund der gegebenen Speicheradresse

