

Kapitel 4

Speicher

Speicher

(Script Seite 7-8 und Bild 16 Seite 22)

Systemspeicher = Programmspeicher + Datenspeicher

- Im **Programmspeicher** eines Systems werden die **Programmbefehle** und **konstante Daten** gespeichert.
 - Ein Programmspeicher kann als Festwertspeicher (Read Only Memory – ROM) oder als Schreib/Lesespeicher (Random Access Memory - RAM) ausgeführt sein.
 - Ist der Programmspeicher ein **ROM** (typisch für einen Mikrocontroller),
 - kann das System nur die im ROM vorhandenen Programme ausführen,
 - verliert der Programmspeicher beim Ausschalten der Stromversorgung seinen Inhalt nicht,
 - kann das Programm nicht irrtümlicherweise geändert werden.
 - Ist der Programmspeicher ein **RAM** (typisch für einen PC),
 - muss es einen Mechanismus für das Laden von Programmen geben,
 - können verschiedene Programme geladen und ausgeführt werden,
 - verliert der Programmspeicher beim Ausschalten der Stromversorgung seinen Inhalt,
 - kann das Programm sowohl beabsichtigt als auch irrtümlicherweise geändert werden.

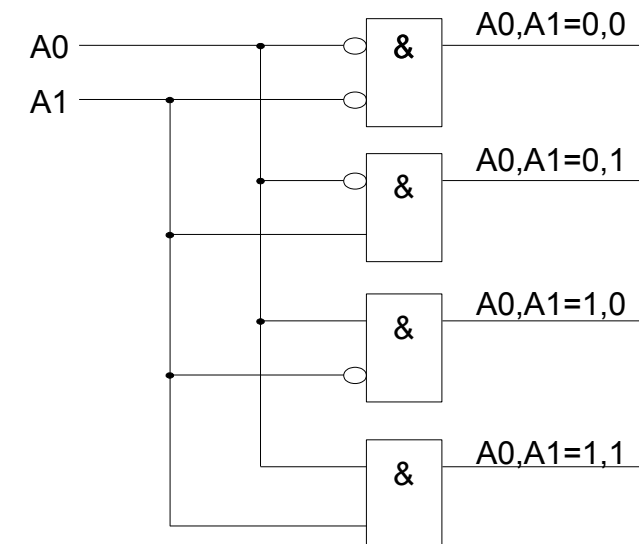
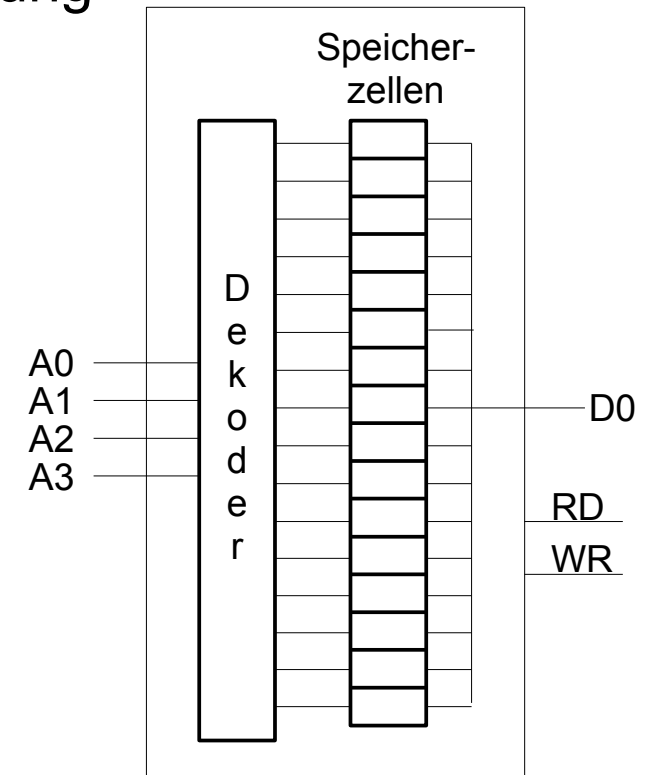
Systemspeicher (Forts.)

- Im **Datenspeicher** werden die **variablen** Daten gespeichert, die durch die Programmbefehle manipuliert werden.
 - Der Datenspeicher ist immer ein RAM. Die Daten müssen änderbar sein.
 - Beim Einschalten des Systems sind die Inhalte des Datenspeichers nicht definiert, (es sei denn, der Hersteller des Prozessors forciert die Speicherinhalte auf einen Anfangswert, wie z. B. '0'.)
- Programm- und Datenspeicher können separate Speicher sein oder sie können in einem einzigen Speicher integriert sein.
 - Da ein Harvard-System separate Zugriffspfade zu Programm- und Datenspeicher aufweist, gibt es auch zwei separate Speicher.
 - Bei einem von Neumann System sind aus Kostengründen typischerweise Programm- und Datenspeicher in einem gemeinsamen Adressraum der selben Speichereinheit angesiedelt.
- Die Speicher können im Prozessorchip integriert oder als externe Bausteine angeschlossen sein.

Konzept der Speicheradressierung

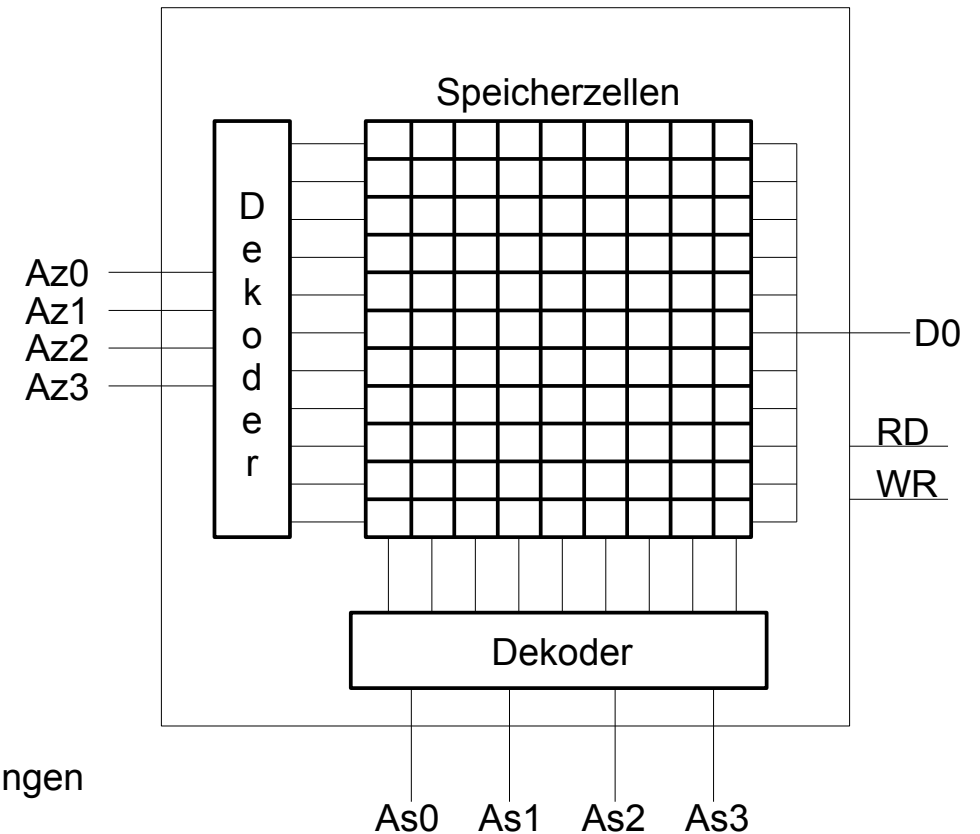
Lineare Struktur (theoretisch)

- Jedes Datenbit residiert in seiner eigenen Speicherzelle.
- Jedes Datenbit in einem Speicherbaustein ist einzeln ansprechbar.
 - Jede Speicherzelle braucht ihre eigenen Auswahlleitung.
- Ein Speicherbaustein hat typischerweise folgende Anschlüsse :
 - a Adressleitungen $A_0 \dots A_{a-1}$
 - d Datenleitungen $D_0 \dots D_{d-1}$
 - Steuerleitungen Lesen (RD) und Schreiben (WR)
- Ein Dekoder aktiviert für die angelegte Adresse die Auswahlleitung der zugehörigen Speicherstelle.
- Dekoder
 - Eine Binärzahl aus n Bits kann 2^n verschiedene Werte darstellen.
 - Ein Dekoder mit n Eingangsleitungen hat 2^n Ausgangsleitungen.
 - Es ist immer genau eine Ausgangsleitung aktiv.
 - Die aktivierte Ausgangsleitung entspricht dem an den Eingangsleitungen angelegten binären Wert.
- Für n Adressleitungen sind 2^n Dekoderelemente mit einem Fan-In von n erforderlich → großer Hardwareaufwand



Arraystruktur

- Die Speicherzellen werden in einem zweidimensionalen Array angeordnet.
- Die Adressleitungen werden aufgeteilt in Zeilen- (Azy) und Spaltenadressleitungen (Asx).
- Der Zeilen- und der Spaltendekoder aktivieren je eine Zeilen- und eine Spaltenauswahlleitung.
- Im Kreuzungspunkt der beiden Auswahlleitungen liegt die selektierte Speicherzelle.
- Vergleich mit linearer Struktur
 - z Zeilenadressleitungen und s Spaltenadressleitungen.
 - 2^z Zeilen- und 2^s Spaltenauswahlleitungen.
 - $2^z * 2^s$ Speicherzellen = 2^{z+s} Speicherzellen
 - $z + s$ Adressleitungen → die selbe Anzahl von Adressleitungen
 - $2^z + 2^s$ Dekoderelemente → kleinerer Hardwareaufwand



Speicheraufbau

- Die kleinste Einheit für einen Speicherzugriff ist bei den meisten Prozessoren ein Byte (oder mehrere Bytes).
- Die meisten (vor allem die großen) Speicherbausteine haben nur eine Datenleitung.
- Um gleichzeitig ein ganzes Byte (8 Bits) ansprechen zu können benutzt man 8 Speicherbausteine :
 - An alle Bausteine wird die selbe Adresse angelegt.
 - Dadurch wird die gleiche Zelle in jedem der 8 Bausteine selektiert.
 - Die Datenbits der einzelnen Bausteine bilden zusammen das Datenbyte.
- Es gibt auch Speicherbausteine mit mehreren Datenleitungen
 - Eine Auswahlleitung selektiert gleichzeitig mehrere Speicherzellen
 - Besonders dann sinnvoll, wenn die gewünschte Speicherkapazität auf einen Baustein passt.
- Kapazitätsvergleich – z.B.: Baustein mit 9 Anschlussleitungen wahlweise für Adresse und Daten

Datenleitungen	Adressleitungen	Kapazität
1	8	$1 * 2^8 = 1 * 256 = 256$
2	7	$2 * 2^7 = 2 * 128 = 256$
3	6	$3 * 2^6 = 3 * 64 = 192$
4	5	$4 * 2^5 = 4 * 32 = 128$

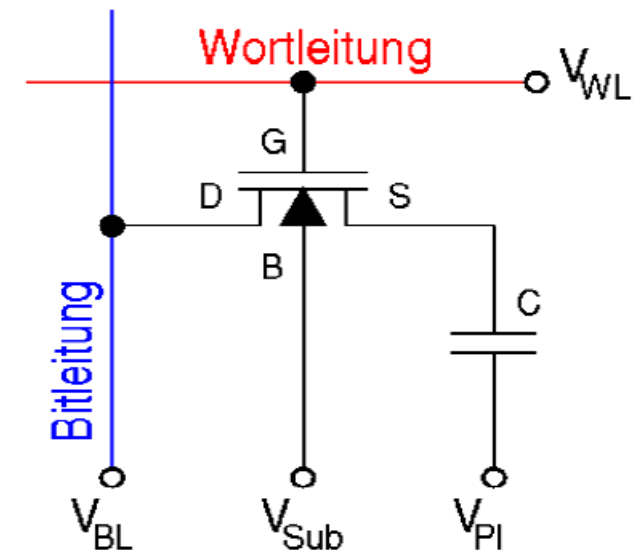
- Beste Ausnutzung der Anschlussleitungen mit einer Datenleitung.
 - Ein Speicher aus 8 Bausteinen mit je einer Datenleitung erreicht die maximal mögliche Größe.

Speichertyp : Random Access Memory (RAM)

- Funktion : Daten lesen **und** schreiben
- Flüchtiger Speicher (verliert den Inhalt ohne Versorgungsspannung)

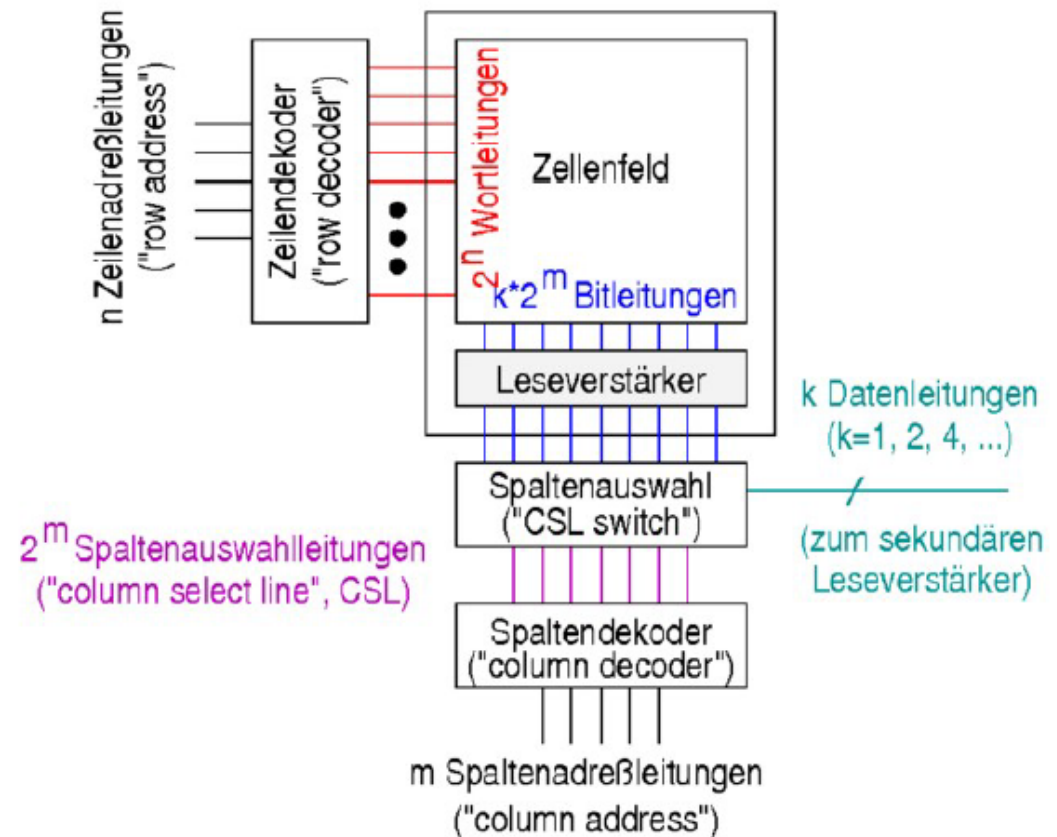
Dynamic RAM (DRAM)

- Kondensator geladen/nicht geladen → Binärwert = 0/1
- Zugriff Speicherzelle Lesen
 - Wortleitung wird selektiert : Transistor wird aktiviert
 - Spannung des Kondensators (= Bitwert) steht auf der Bitleitung zur Verfügung
- Zugriff Speicherzelle Schreiben
 - Wortleitung wird selektiert : Transistor wird aktiviert
 - Spannung auf der Bitleitung wird in den Kondensator geladen
- Charakteristik
 - Langsamer Speicher – Zugriffszeit im Bereich von 10 ns
 - Kleine Speicherzellen – hohe Speicherkapazitäten
 - Günstige Kosten
 - Refresh erforderlich (alle 32/64 ms), um Datenverlust wegen Leckströmen zu vermeiden
 - Typische Verwendung : Hauptspeicher



DRAM Operation : Lesen und Schreiben

- Wortleitung selektiert eine ganze Zeile des Arrays
- Die Bitwerte aller Zellen der Zeile stehen auf den Bitleitungen zur Verfügung.
- Die Werte aller Zellen der Zeile werden im Leseverstärker gespeichert.
- Lesen
 - Die Spaltenauswahl steuert das durch die Spaltenauswahlleitung selektierte Bit aus dem Leseverstärker auf die Datenleitung.
- Schreiben
 - Die Spaltenauswahl steuert das Bit von der Datenleitung in das durch die Spaltenauswahlleitung selektierte Bit im Leseverstärker.
- Nach dem Lesen bzw. Schreiben des Bits werden die Bitwerte aus dem Leseverstärker in die Zellen der immer noch selektierten Zeile zurückgeschrieben.

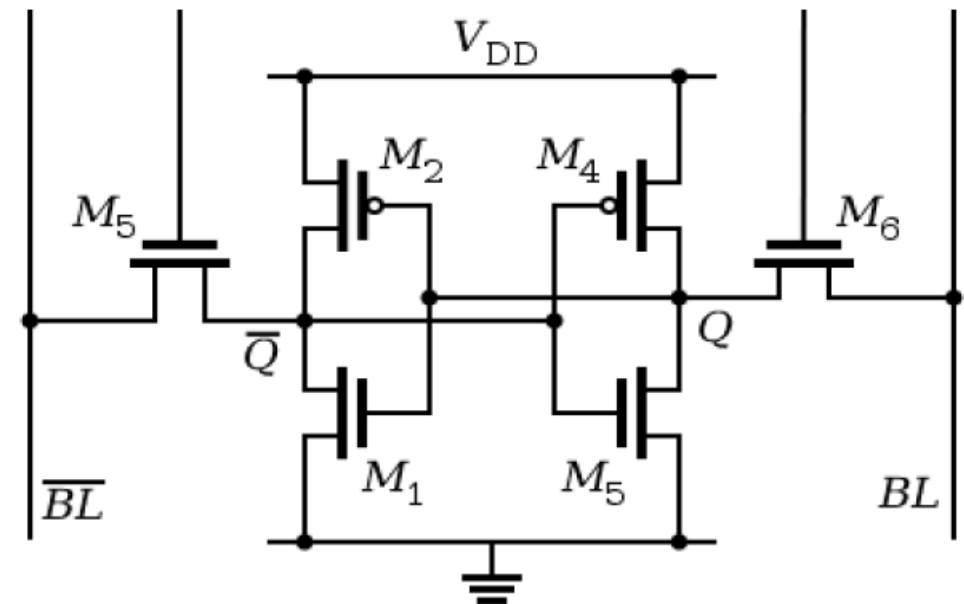


Burst Mode Lesen

- Aufeinander folgende Bits können direkt aus dem Leseverstärker ausgelesen werden, ohne noch einmal die Bits aus dem Array auszulesen. Nur beim Lesen des ersten Bits ist ein Zugriff auf das Array erforderlich.

Static RAM (SRAM)

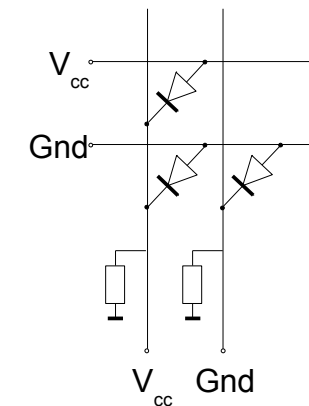
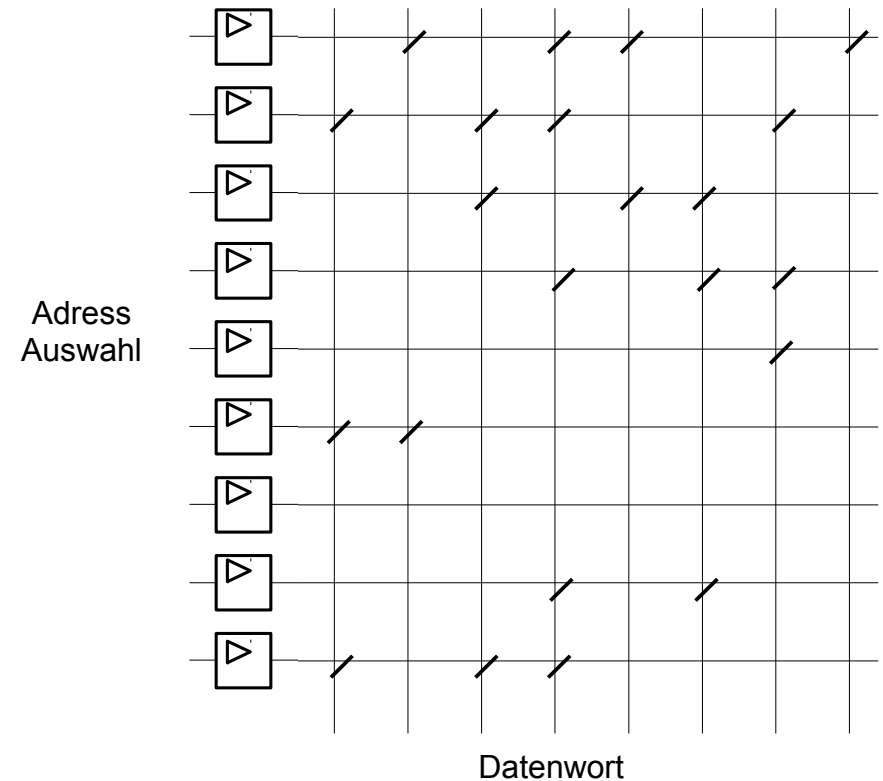
- Speicherzelle ist ein Flipflop
- Koppeltransistoren zum Lesen und Schreiben
- Zugriff
 - Wortleitung aktiviert alle Koppeltransistoren einer Zeile
 - Bitleitung der gewünschten Spalte wird gelesen oder geschrieben
- Charakteristik
 - Schneller Speicher
 - Zugriffszeit < 1 ns
 - Großer Flächenverbrauch
 - 6 Transistoren pro Speicherzelle
 - kleine Speicherkapazitäten
 - Höhere Kosten
 - Typische Verwendung :
 - Cache,
 - Register



Speichertyp : Read Only Memory (ROM)

- Daten nur lesen
- Nicht-flüchtiger Speicher
 - behält den Inhalt auch ohne Versorgungsspannung
- Typische Verwendung :
 - Programmspeicher,
 - nichtflüchtige Einstellungswerte
- Begrenzte Anzahl von Schreibzyklen

- Typen :
 - **ROM** : Read Only Memory
 - Teilweise durch Dioden verbundene Kreuzungspunkte
 - Speicherwerte liegen bei Herstellung fest
 - **PROM** : Programmable ROM
 - Dioden an allen Kreuzungspunkten
 - gewünschte Dioden werden durch hohen Strom durchgebrannt
 - die Verbindung wird dadurch unterbrochen
 - kann also **einmal** 'programmiert' werden



- Typen (Forts.) :

- **EPROM** :Eraseable PROM

- MOSFET Transistor mit zusätzlichem Floating Gate
- Durch eine etwas erhöhte Spannung wird unter Ausnutzung des Tunneleffekts das Floating Gate elektrisch geladen
- Geladenes Floating Gate erzeugt Gate Vorspannung
- Bei Anlegen der Lesespannung am Gate :
 - schaltet der Transistor durch, wenn das Floating Gate geladen ist
 - schaltet der Transistor nicht durch, wenn das Floating Gate nicht geladen ist
- Floating Gate kann mit UV-Licht gelöscht werden

- **EEPROM** : Electrically EPROM

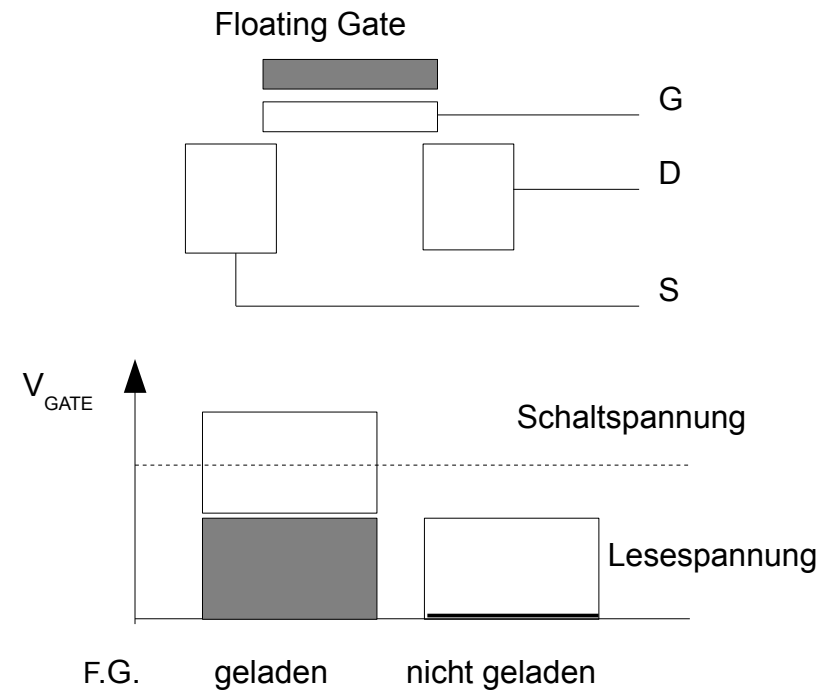
- wie EPROM, jedoch Löschung auf elektrischem Weg
- Setzen/löschen pro Speicherstelle (typische Anwendung : Einstellungswerte speichern)

- **Flash**

- wie EEPROM, jedoch blockweise Löschung
- typische Anwendung : Programmspeicher

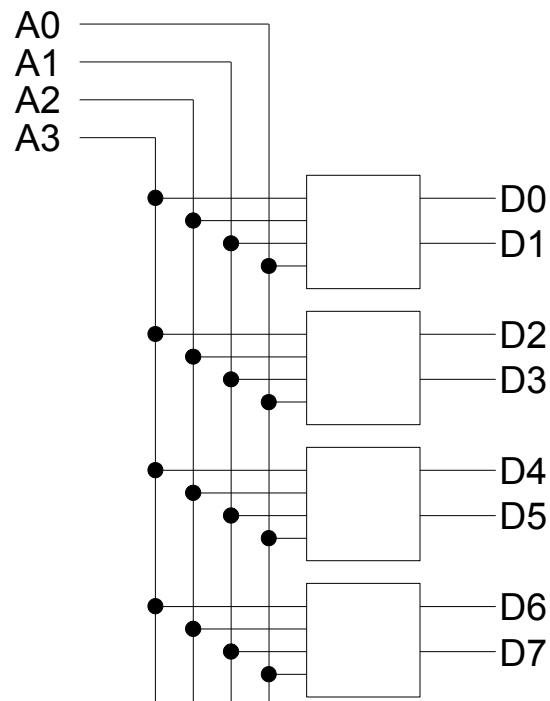
- **Solid State Disks (SSD)**

- Moderner Ersatz für Festplatten

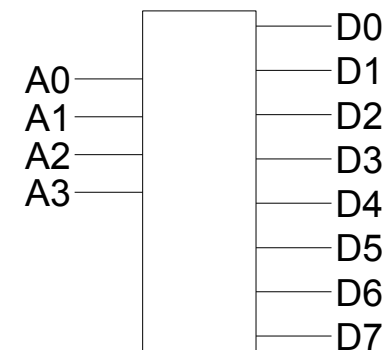


Speicheraufbau

- Speicher in einfachen Systemen übertragen bei jedem Zugriff Dateneinheiten von 8 Bits.
 - Bei mächtigeren Systemen werden auch 16, 32 oder 64 Bit große Dateneinheiten verwendet.
- Werden Bausteine mit weniger als 8 (16, 32, 64) Datenleitungen verwendet, bilden mehrere solcher Bausteine den Systemspeicher.
 - An allen Bausteinen wird die selbe Adresse (A0 ... A3) angelegt.
 - Die Signale an den Datenleitungen der Bausteine bilden zusammen die Dateneinheit (D0 ... D7).



BlackBox-Schaltbild



- Das BlackBox-Schaltbild des Speichers sieht aus wie ein Baustein entsprechender Größe

Speichergrößen

- Für jede Speichergröße ist eine bestimmte Anzahl von Adressleitungen erforderlich :

Speichergröße	Anzahl Bytes	Anzahl Adressleitungen	Adressleitungen	Speicherbereich
256	$256 = 2^8 = 0x100$	8	A0 ...A7	0x0000 ... 0x00FF
512	$512 = 2^9 = 0x200$	9	A0 ...A8	0x0000 ... 0x01FF
1k	$1024 = 2^{10} = 0x400$	10	A0 ...A9	0x0000 ... 0x03FF
2k	$2048 = 2^{11} = 0x800$	11	A0 ...A10	0x0000 ... 0x07FF
4k	$4096 = 2^{12} = 0x1000$	12	A0 ...A11	0x0000 ... 0x0FFF
8k	$8192 = 2^{13} = 0x2000$	13	A0 ...A12	0x0000 ... 0x1FFF
16k	$16384 = 2^{14} = 0x4000$	14	A0 ...A13	0x0000 ... 0x3FFF
32k	$32768 = 2^{15} = 0x8000$	15	A0 ...A14	0x0000 ... 0x7FFF
64k	$65536 = 2^{16} = 0x10000$	16	A0 ...A15	0x0000 ... 0xFFFF