

**Halbleiterspeicher**

**Arten nicht flüchtiger Speicher**

Bei **nicht flüchtigen** Speichern (Festwertspeichern) geht der Inhalt des Speichers auch nach dem Ausschalten des Systems nicht verloren.

Diese Speicher benötigen keine Versorgungsspannung zum Datenerhalt.

**Arten nicht flüchtiger Speicher:**

- **ROM (Read Only Memory)**
  - Kann **nur gelesen** und nicht verändert werden
  - Wird **nur vom Hersteller beschrieben**
  - Wird (wurde) zur **Speicherung unveränderbarer Programme oder Daten**, für Zeichengeneratoren u.s.w. eingesetzt
- **PROM (Programmable ROM)**
  - Kann einmalig dauerhaft vom Anwender programmiert werden (d.h. ist nach dem Programmieren nicht mehr veränderbar)

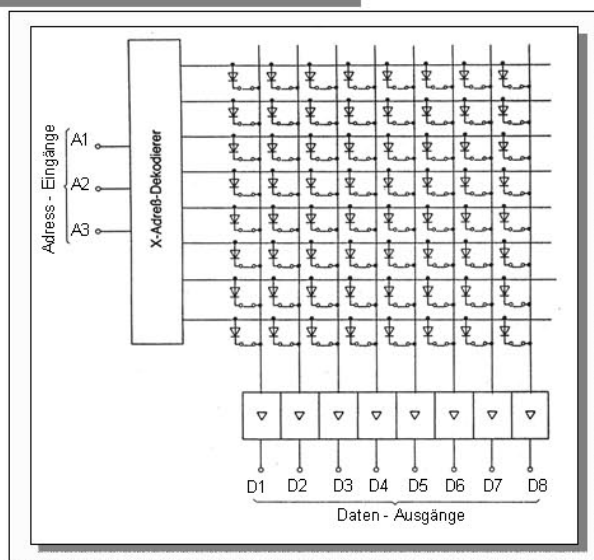
Prof. Dr.-Ing. W. Schmalwasser Hochschule Mittweida - Fachbereich: IT & ET

Arten nicht flüchtiger Speicher

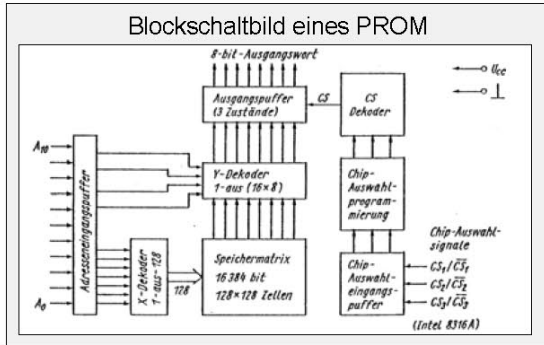
- **EPROM (Erasable PROM)**
  - Der Speicherinhalt wird vom Anwender einprogrammiert und kann durch UV-Strahlung wieder gelöscht werden.
- **EEPROM (Electrically Erasable PROM)**
  - Der Speicherinhalt ist wie beim EPROM löscherbar, allerdings elektrisch.
  - Die Daten werden byteweise geschrieben und gelöscht
  - Mit der Software Data Protection (SDP) können EEPROMs vor unbeabsichtigtem Löschen geschützt werden
  - EEPROMs gibt es auch als serielle Speicher (I<sup>2</sup>C-Bus)
- **Flash EPROM**
  - Kann sehr oft und sehr schnell sektorweise elektrisch gelöscht und wieder programmiert (beschrieben) werden
  - Durch Security-Bits können einzelne Sektoren oder der gesamte Speicher vor unbeabsichtigtem Löschen geschützt werden
  - Die Zahl der Schreibzyklen ist auf 100.000 bis 1.000.000 begrenzt



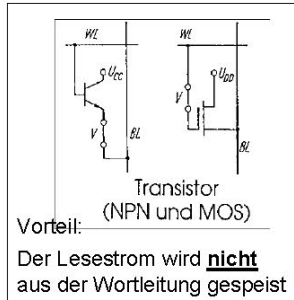
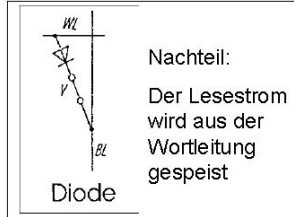
Aufbau eines 8 x 8 Dioden PROM



Aufbau eines PROM (Matrixspeicher)



PROM Speicherzellen



Die EPROM Speicherzelle

• EPROM (Erasable Programmable ROM)

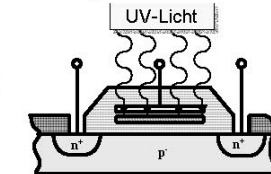
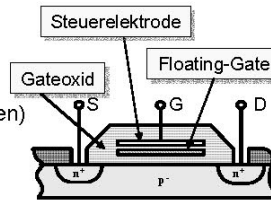
- Kann oft gelöscht und wieder programmiert (beschrieben) werden
- Dies ermöglicht ein FAMOS-Transistor (Floating Gate Avalanche MOS)

- Programmieren:

Mit hohen Gate-Source Spannungsimpulsen (12-21V) wird eine negative Ladung (Hot Electrons) auf das Floating Gate übertragen. Dadurch steigt die Schwellspannung und der Transistor sperrt noch bei normaler Gate-Source Spannung (5V)

- Löschen:

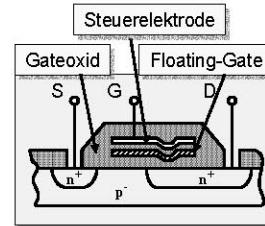
Durch 5 bis 20 Sekunden einwirkendes UV-Licht steigt die kinetische Energie der Elektronen und die Ladung fließt wieder vom Floating Gate ab. Die Schwellspannung sinkt, der Transistor leitet wieder bei normaler Gate-Source Spannung.



Die EEPROM Speicherzelle

• **EEPROM (Electrically Erasable Programmable ROM)**

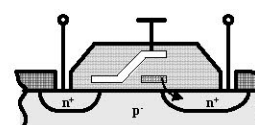
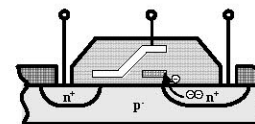
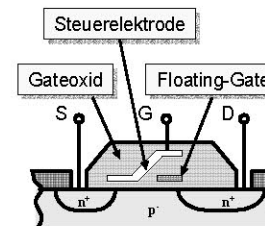
- Kann oft elektrisch gelöscht und wieder programmiert (beschrieben) werden
- Dies ermöglicht ein **ETOX-Transistor (EPROM Tunnel Oxid)**
- Durch anders geformte Gate-Elektroden und verbreiterten Drain-Bereich entsteht eine Überlappung zwischen Floating-Gate und Drain mit sehr geringem Abstand (ca. 20nm)
- Ladungen können somit durch Tunneleffekt elektrisch aufgebracht und wieder abgezogen werden
- Die Daten werden byteweise geschrieben und gelöscht
- EEPROMs gibt es auch als serielle Speicher (I<sup>2</sup>C-Bus)
- Mit der Software Data Protection (SDP) können EEPROMs vor unbeabsichtigtem Löschen geschützt werden
- Die Zahl der Schreibzyklen ist auf 100.000 bis 1.000.000 begrenzt



Die Flash-EPROM Speicherzelle

• **Flash-EPROM (auch Flash-ROM)**

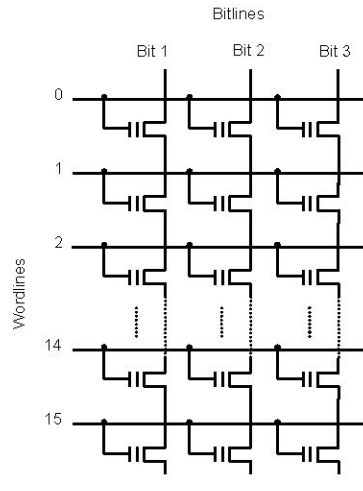
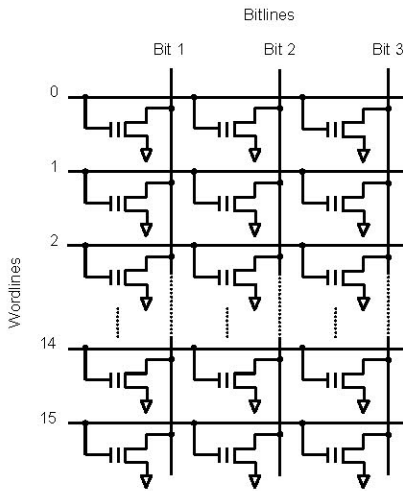
- Kann sehr oft und sehr schnell elektrisch gelöscht und wieder programmiert (beschrieben) werden
- Wird sehr häufig in elektronischen Geräten eingesetzt
- Löst Disketten- und z.T. Festplattenpeicher ab
- **Programmieren:**  
Die Programmierung erfolgt sektorweise (64 ... 128 Byte)  
Die Schaltkreise können in der Anwenderschaltung programmiert werden (ICP)
- **Löschen:**  
Flash-ROMs werden auch sektorweise gelöscht  
Durch Security-Bits können einzelne Sektoren oder der gesamte Speicher vor unbeabsichtigtem Löschen geschützt werden



NOR- und NAND-Flash-Speicher

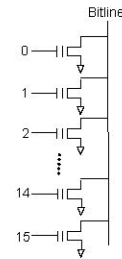
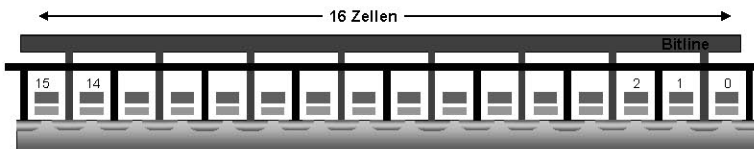
NOR: Transistoren parallel

NAND: Transistoren in Reihe

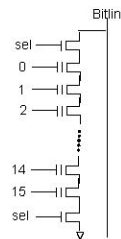
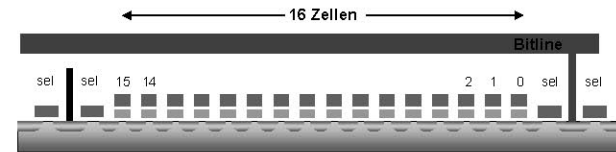


NOR- und NAND-Flash-Speicher

NOR-Flash



NAND-Flash



Auf Grund der wegfallenden Source-Kontakte bei NAND-Speichertransistoren sind diese kompakter, als bei NOR-Speichern



Vergleich NOR- u. NAND-Flash-Speicher

- **NOR-Flash ROM**
  - Programmierung in der Regel durch "heiße Elektronen"
  - schnell (wenige  $\mu$ s), aber hoher Programmierstrom erforderlich
  - vergleichsweise schneller, wahlfreier Lesevorgang
  - größere Fläche pro Bit
  - Haupteinsatzgebiet: Programmspeicher in eingebetteten Systemen
- **NAND-Flash ROM**
  - Programmierung durch Tunneleffekt
  - langsam (einige 100  $\mu$ s), aber geringer Stromverbrauch
  - langsamer Lesevorgang (schwaches Lesesignal, Serienschaltung)
  - serieller Zugriff, komplizierte Steuerung
  - sehr kompakter Aufbau
  - Haupteinsatzgebiet: Massenspeicher (Flash Disc, FlashCards, ...)

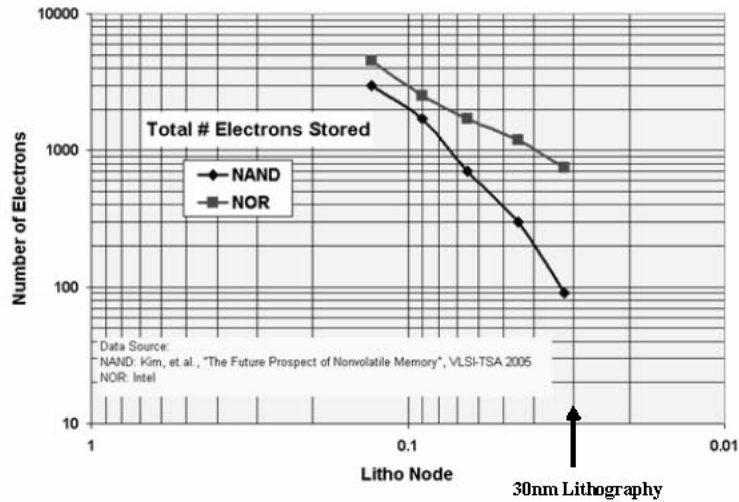


Vergleich NOR- u. NAND-Flash-Speicher

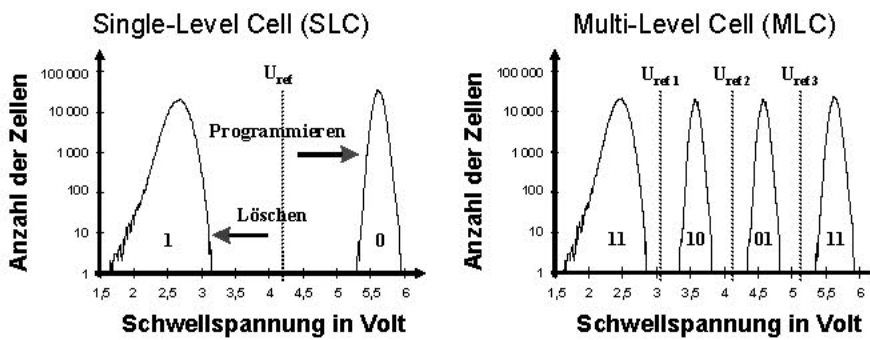
	NOR-Flash	NAND-Flash
Speicherdichte	niedrig	hoch
Lesen	high speed random access	block access
Geschwindigkeit	hoch	niedrig
Fehlerrate	niedrig	Größer, als angegeben
Lebensdauer	Mehr als $10^5$ Schreib-/Lesezyklen ohne erforderl. Fehlerkorrektur	Mit erforderl. Fehlerkorrektur $> 10^5$ Schreib-/Lesezyklen
Anwendung	Als Programmspeicher in Embedded Systems	Massenspeicher



Anzahl der Floating Gate Elektronen



SLC und MLC



1 Bit pro Zelle (2 Schwellspannungen)	≥ 2 Bit pro Zelle (4 Schwellspannungen)
Eine Referenzspannung	2 <sup>n</sup> -1 Referenzspannungen für n Bit/Zelle (3 Referenzspannungen für 2 Bit/Zelle)
Sicher durch weit auseinander liegende Schwellspannungen	Hoher Aufwand (Präzision) wegen mehreren, dicht liegenden Schwellsp.

SLC und MLC

Single Level Cell (SLC)	Multi-Level Cell (MLC)
Niedrige bis mittlere Kapazitäten	Hohe Kapazitäten (doppelte Dichte bei gleicher Chipfläche)
Teuer	Preiswert
Für industrielle Anwendungen	Für Konsumgüter- (Low cost-) Anwendungen (Media-/MP3- player, memory cards, USB flash drives)



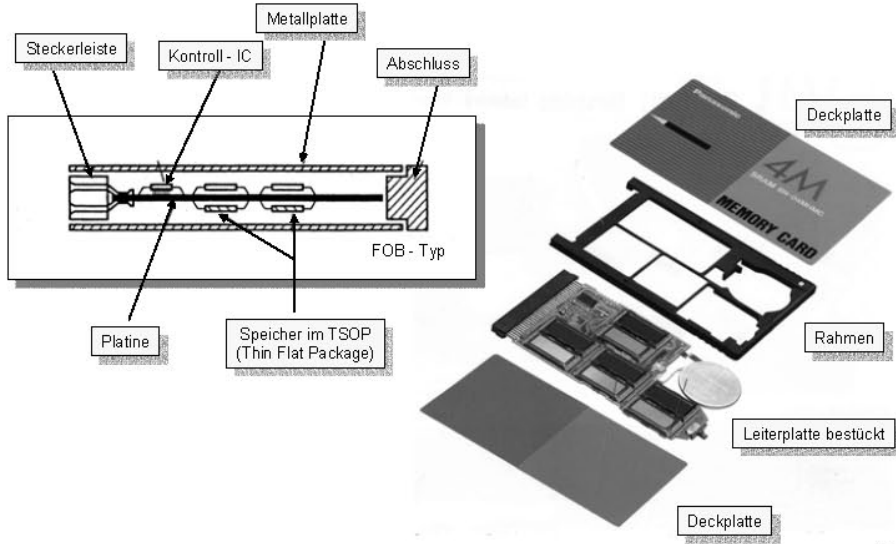
Merkmale von Flash-Speichern

- Flash-Speicher kommen vorwiegend in mobilen Geräten (PDAs, USB-Sticks, Pocket-PCs, Digitalkameras, MP3-Player ...) zum Einsatz.
- Im Gegensatz zu magnetischen Speichern können Bytes einzeln adressiert und gelesen werden.
- Das Schreiben und Löschen erfolgt jedoch nur blockweise.
- Die Zugriffszeit beträgt etwa 100ns.
- Die Lebensdauer von Flash-Speichern ist begrenzt. Obwohl sie Daten über Jahre hinweg behalten können, ist die Zahl der Schreib- und Löschkzyklen auf etwa 1.000.000 begrenzt.
- Vorteilhaft ist die hohe Widerstandsfähigkeit (bei Stößen, Vibration etc.) sowie der niedrige Energieverbrauch.



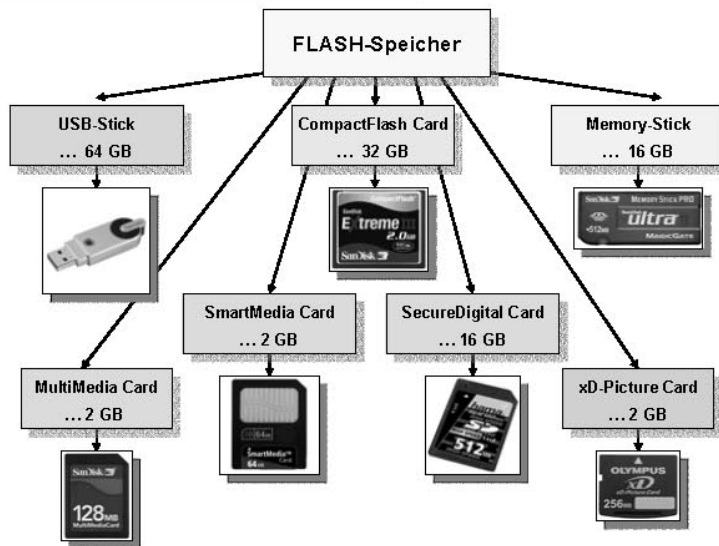


Mechanischer Aufbau einer Speicherkarte



Übersicht zu Flash-Speichern

Quelle: www.hama.de; www.alternate.de

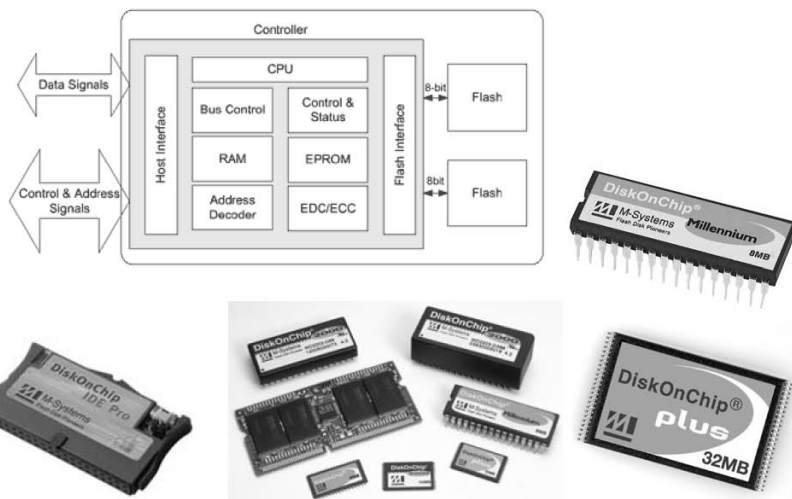


typ. Kenngrößen ausgew. Speicherkarten

Speicherkarte	Kapazität	Lesegeschw.	Schreibgeschw.	Überspiel- / Kopierschutz	Preis / GB
<b>USB-Stick</b>	... 64 GB	20 MB/s	10 MB/s	ja/nein	7 €/GB
<b>Compact Flash Card</b>	... 32 GB	20 MB/s	18 MB/s	nein/nein	11 €/GB
<b>Multi Media Card</b>	... 2 GB	10 MB/s	8 MB/s	nein/ja	6 €/GB
<b>Secure Digital Card</b>	... 16 GB	30 MB/s	30 MB/s	ja/ja	7 €/GB
<b>Memory Stick</b>	... 16 GB	10 MB/s	9 MB/s	nein/nein	16 €/GB
<b>xD-Picture Card</b>	... 2 GB	5 MB/s	3 MB/s	nein/nein	17 €/GB



Silicon-Disks (DiskOnChip)



Merkmale von Solid State Disks (SSD)

- Architektur:
  - Single Level Cell (SLC) 1 Bit pro Zelle; mittlere Kapazitäten; schnell; aber teuer
  - Multi Level Cell (MLC) 2 Bit pro Zelle; hohe Kapazitäten; preiswerter; aber langsamer
- Interfaces: IDE; SATA; Express Card
- Kapazitäten: 16 ... 256 GByte
- Zugriffszeit: < 0,2 ms
- IOPS (Input/Output Operations per Second): 5 ... 20.000
- Übertragungsraten:
  - Lesen: bis 250 MByte/s
  - Schreiben: 100 MByte/s
- Schockresistenz: 1 500 G



Merkmale von Solid State Disks (SSD)

- Wichtig für gute Performance ist der Interface-Controller, da sehr große Spanne der IOPS (von 5 bis 18.000)
- Flash-Zellen lassen sich nur blockweise (bis zu 128 KByte) überschreiben
- Da Flash-Zellen einer Alterung unterliegen, sind die Schreib- und Lesevorgänge über möglichst alle Speicherzellen zu verteilen (Wear Levelling)
- Ggf. wird über einen zusätzlichen DRAM gepuffert
- X25-SSD (SSD im 2,5 Zoll-Format)
- Einsatz in vielen Notebooks
- Preise: 80 ... 800 €
- Geringer Stromverbrauch
- Absolut geräuschlos
- z.Z. noch große Qualitätsunterschiede

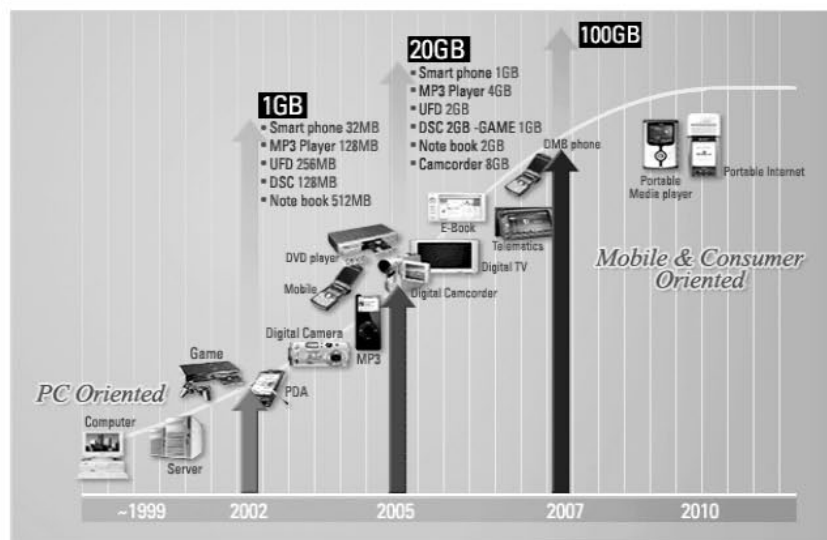


Vergleich von SSD und magn. HD

Merkmal	SSD	magn. HD
Kapazität	32 ... 256 GB	100 ... 2.000 GB
Preis / GB	10 ... 15 €/GB	0,2 €/GB
Max. Leserate	250 MByte/s	60 MByte/s
Max. Schreibrate	200 MByte/s	60 MByte/s
Zugriffszeit	0,2 ms	5 ms
Stromverbrauch	1,2 W	2,5 W



Die Entwicklung von Flash-Applikationen



Merkmale von Halbleiterspeichern

Merkmale \ Speicher	ROM		
Art der Adressierung	Adress orientiert		
Datenerhalt	Nicht flüchtig		
Organisation	Byte, Word		
Zugriffszeit	100 ... 350 ns		
Kapazität	mittel ... hoch		
Kosten pro MB	mittel		

