

# Welche Flash-Speicher eignen sich für den Einsatz in der Industrie?

*Bei Auswahl der optimal geeigneten Speichertechnologie gibt es einige Stolpersteine. Daher ist es gut zu wissen, wo die verschiedenen Flash-Techniken ihre Stärken und Schwächen haben.*

PATRIK HELLMÜLLER \*

**N**AND-basierte Speicher sind aus computerbasierten Applikationen nicht mehr wegzudenken. Doch neben vielen Vorteilen haben sie auch einige Nachteile. Der wohl größte: Sie nutzen im Gebrauch ab, lassen nur eine beschränkte Anzahl Schreib- und Löschkzyklen zu. Das wirft Fragen auf: Sind sie überhaupt für Industrieanwendungen geeignet? Wie sieht es mit ihrer Zuverlässigkeit und Langlebigkeit aus? Wie finden industrielle Nutzer das richtige Produkt für ihre Anwendung? Für das Evaluieren

ist es wichtig, die Funktionsweise von NAND-basierten Speichern zu verstehen. Der kleinste Bestandteil eines Flash-Moduls ist die NAND-Zelle. Sie besteht aus einem Transistorkanal zwischen Source und Drain (Quelle und Senke) und zwei Gates – einem Control Gate und einem Floating Gate. Das Floating Gate ist durch eine Oxidschicht vom Control Gate und dem Transistorkanal isoliert. Beim Schreiben wird eine Programmiervoltage angelegt. Diese sorgt dafür, dass Elektronen durch die Oxidschicht hindurch per Tunnel-Effekt in das Floating Gate gedrückt werden. Hier bleiben sie auch ohne Spannung permanent erhalten. Die Oxidschicht verhindert, dass die Elektronen wieder abfließen.

Heute unterscheidet man SLC-, MLC-, TLC- und 3D-NAND-Speicher. Bei SLC-NAND (Single Level Cell) wird pro NAND-Zelle nur ein

Bit gespeichert. Je nachdem, ob zwischen Source und Drain Strom fließt oder nicht, wird der Zustand 0 oder 1 ausgelesen. Bei MLC-NAND (Multi Level Cell) werden pro NAND-Zelle zwei Bits gespeichert, es können also vier verschiedene Ladungszustände (Spannungswerte) pro NAND ausgelesen werden. Bei TLC-NAND (Triple Level Cell) sind es acht pro NAND-Zelle, mit denen sich drei Bits speichern lassen. Mittlerweile sind bereits Speicherzellen mit 16 Niveaus, passend für vier Bit, erhältlich. Diese heißen QLC-Speicherzellen.

Bei 3D-NAND werden planare NAND-Zellen (wie bei SLC, MLC oder TLC) vertikal übereinandergestapelt, um eine noch höhere Speicherdichte zu erreichen. Heutige 3D-NAND-Speicher bauen auf MLC- oder TLC-NAND auf. Sie werden auch als V-NAND oder



\* Patrik Hellmüller  
... ist MarCom Manager bei Syslogic  
in Waldshut-Tiengen

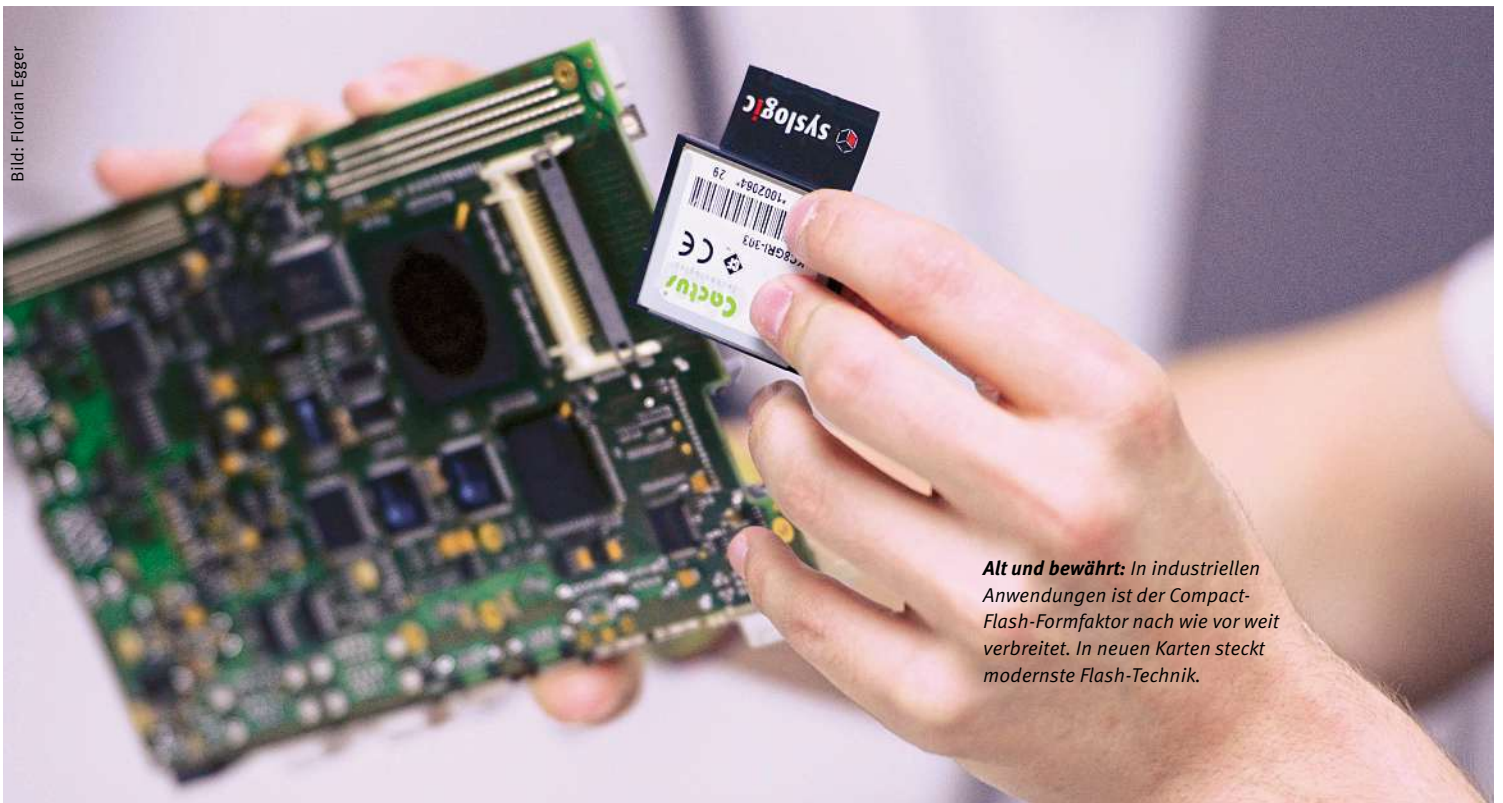


Bild: Florian Egger

**Alt und bewährt:** In industriellen Anwendungen ist der Compact-Flash-Formfaktor nach wie vor weit verbreitet. In neuen Karten steckt modernste Flash-Technik.

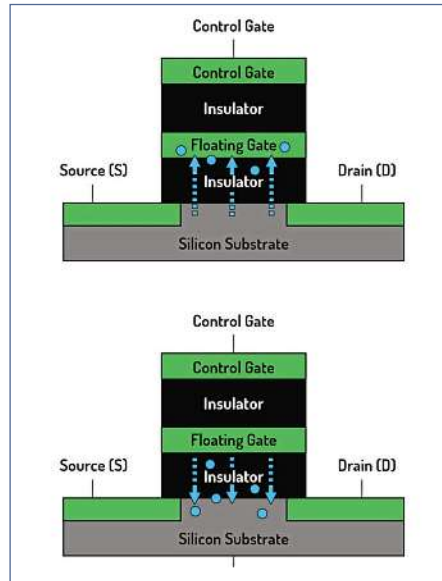
3D-V-NAND (V für Vertical) bezeichnet. Die kürzeren Verbindungen zwischen den Speicherzellen (Stapeltechnik) kommen der Speicherkapazität und den Transferraten zugute, während gleichzeitig der Stromverbrauch sinkt. Im Consumer-Markt werden heute vorwiegend TLC-Speicher eingesetzt. Weil sie drei Bit pro NAND speichern und wegen dem großen Produktionsvolumen bieten sie niedrige Kosten bei hoher Speicherkapazität.

Im Gebrauch nutzen sich Flash-Speicher ab. Verantwortlich dafür sind hauptsächlich zwei Mechanismen: die Verschiebung der Schwellenspannung und die Zerstörung der Oxidschicht. Jedes Mal, wenn die Programmspannung angelegt und der Tunneleffekt generiert wird, beschleunigt ein starkes elektrisches Feld Elektronen in Richtung der Oxidschicht. Einige dieser Elektronen bleiben in der Oxidschicht stecken, anstatt diese zu passieren. Damit verschiebt sich auf Dauer die Schwellwertspannung, bis die Zelle nicht mehr lesbar ist.

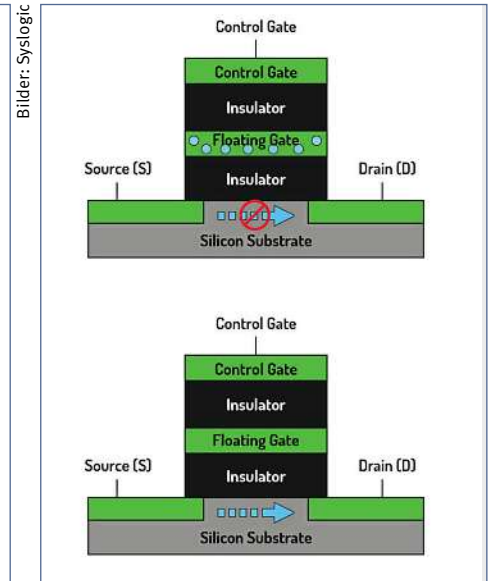
### SLC erreichen 100.000 P/E Cycles, MLC nur 3000

Der zweite Alterungseffekt sind Risse, die sich mit der Zeit in der Oxidschicht bilden. Über diese können Ladungen abfließen und die NAND-Zelle verliert das gespeicherte Bit. Insbesondere gegen Ende des Lebenszyklus einer NAND-Zelle nimmt die Retention (Fähigkeit, Informationen zu bewahren) ab. Sowohl Single-Level-Cell-NAND (SLC) als auch Multi-Level-Cell-NAND (MLC) verfügen ursprünglich über eine Retention von in der Regel zehn Jahren. Am Ende des Lebenszyklus sinkt sie aber auf nur mehr ein Jahr. Dieser Punkt ist bei MLC nach 3000 P/E Cycles erreicht, bei SLC erst nach 100 000 P/E Cycles. Hohe Temperaturen beschleunigen diesen Effekt. Auch darauf reagieren MLC-NAND wesentlich empfindlicher als SLC-NAND. Hinzu kommt: Durch fortschreitende Skalierung (Miniaturisierung) der Prozesstechnologien werden die Flash-Zellen immer kleiner. Ergo enthalten sie immer weniger Ladungsträger. Auch dies wirkt sich negativ auf die Haltbarkeit aus. Entsprechend lassen SLC am meisten Schreibzugriffe pro NAND zu, weil sie nur zwei Ladungszustände unterscheiden müssen. Außerdem sind die gespeicherten Daten bei SLC am haltbarsten (Data Retention). 3D-NAND werden zunehmend im Consumer-Bereich eingesetzt. Für Industrieanwendungen spielen sie zum gegenwärtigen Zeitpunkt noch keine Rolle.

Weniger Spannungsniveaus machen die gespeicherten Informationen also haltbarer. pSLC-Speicher (Pseudo Single Level Cell) sind daher ein sowohl kommerziell als auch



**Bild 1:** Bei anliegender Schreibspannung tunneln Ladungsträger durch die Oxidschicht ins Floating Gate, beim Löschen zurück ins Si-Substrat.



**Bild 2:** Ist das Floating Gate geladen, fließt kein Strom. Je nach Flash-Technik lassen sich mehrere Spannungspotenziale auslesen.

technologisch interessanter Kompromiss. Die pSLC-Technologie nutzt kosteneffiziente MLC-NAND-Zellen für nur je zwei unterschiedliche Ladungszustände. pSLC-NAND-Speicher sind deutlich schneller als normale MLC-NAND-Speicher und erhöht die möglichen Schreib- und Lesezyklen (P/E Cycles, Program/Erase) von 3000 auf 20.000. Gleichzeitig steigt die Endurance der Speichermedien um das Sechsfache, während der Preis pro gespeichertem Bit sich nur verdoppelt. Möglich wird die hohe Anzahl an P/E Cycles durch die einfachere Zuordnung der Ladungszustände. Einerseits, weil nur zwei Zustände zu unterscheiden sind (anstelle von vier bei MLC), andererseits weil der Unterschied zwischen den Spannungsniveaus deutlich größer ist. Um die Spannungsunterschiede zwischen den Ladungszuständen zu vergrößern, muss der Speicherhersteller allerdings die Firmware anpassen. Zudem sind spezielle MLC-NAND nötig, die die pSLC-Technologie unterstützen.

### Pseudo Single Level Cell – MLC fit für die Industrie machen

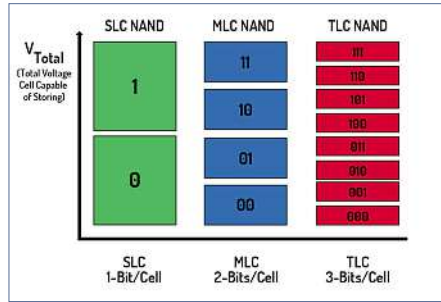
Mittels ausgeklügelter Controller und Firmware gelingt es den Speicherherstellern, die Zuverlässigkeit und Langlebigkeit der Speicher positiv zu beeinflussen. Clevere Funktionen entschärfen die technologiebedingten Nachteile, namentlich beschränkte P/E Cycles und der schleichende Verlust. Dies macht NAND-basierte Speicher für Industrieanwendungen tauglich. Zu den wichtigsten Funktionen zählt der Error Correction

Code: Er korrigiert Bit-Fehler. Anschließend wird der fehlerbehaftete Block kopiert und gelöscht. Die Garbage Collection (Müllsammmlung) hat die Aufgabe, freie Blöcke zu generieren. Dazu ist es notwendig, noch nicht vollständig leere Blöcke auf dem Flash-Speicher zu überprüfen und gegebenenfalls durch Umverteilen der Daten frei zu machen. Danach werden die leeren Blöcke gelöscht und können anschließend wieder beschrieben werden. Dieser Vorgang läuft im Hintergrund ab, um Auswirkungen auf die Speichergeschwindigkeit gering zu halten.

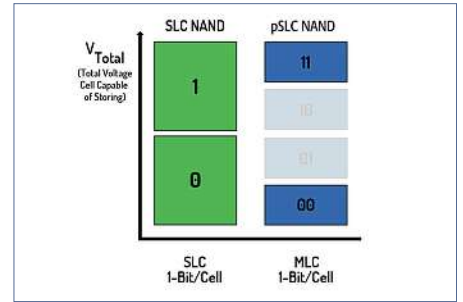
Eine weitere wichtige Funktion ist das Wear Leveling. Es sorgt dafür, dass Flash-Zellen gleichmäßig abgenutzt werden, indem Schreibzugriffe gleichmäßig auf die Flash-Zellen verteilt werden. Weil bereits die Abnutzung einzelner Flash-Zellen zu Datenfehlern führen kann, beeinflusst Wear Leveling die Lebensdauer eines Speichers maßgeblich. Hersteller von industriellen Speichern integrieren in ihren Flash-Controllern eine Kombination aus statischem und dynamischem Wear Leveling. Ersteres sorgt dafür, dass Schreibzugriffe auf die am wenigsten abgenutzten Zellen verteilt werden. Dynamisches Wear Leveling stellt sicher, dass statische Daten, die nicht oder selten geändert werden, von Zeit zu Zeit verschoben werden. Dadurch wird sichergestellt, dass sämtliche Flash-Zellen am Wear Leveling teilnehmen, was die Retention stark verbessert. Von Write Abort spricht man, wenn während eines Schreibvorgangs die Stromzufuhr unterbrochen wird. Wird die Stromzufuhr nicht mit-

tels einer Batterie oder eines Supercap überbrückt, gehen die Daten, die gerade geschrieben werden, verloren. Wichtig ist allerdings, dass die Firmware und die Metadaten des Speichers durch solche Ereignisse nicht beschädigt werden. Daher haben industrielle Flash-Speicher eine Sicherheitsschaltung integriert, die Firmware und Metadaten beim Spannungsausfall schützt.

Es gibt im Speichermarkt einige Anbieter, die sich mit ihren Produkten auf Industrieanwendungen spezialisiert haben. Einer davon ist der taiwanische Hersteller Cactus Technologies, dessen Produkte in Deutschland von Syslogic vertrieben werden. Das Produktportfolio umfasst sowohl SLC- als auch pSLC- und MLC-Speicher. Syslogic unterstützt Anwender beim Evaluieren der für die eigene Applikation am besten geeigneten Technologie. Neben der Robustheit und Langlebigkeit ist für Industriekunden oft die Verfügbarkeit der Produkte ein entscheidendes Kriterium. Hersteller von industriellen Speichern bieten eine Verfügbarkeit ihrer Produkte über mehrere Jahre. Möglich wird



**Bild 3:** Während Single Level Cells (SLC) zwei Ladungszustände speichert, sind es bei Triple Level Cells (TLC) acht.



**Bild 4:** Pseudo-SLC (pSLC) nutzt günstige MLC-Zellen, verwendet jedoch nur zwei Ladungszustände. pSLC ist dadurch schneller und haltbarer.

das durch eine sorgfältige Bauteilbeschaffung. Neben einer langen Verfügbarkeit sollten industrielle Flash-Speicher zudem eine Fixed BOM (Bill of Material) vorweisen. Damit garantiert der Speicherhersteller, dass Produkte innerhalb einer Serie vollkommen identisch sind, dass also die gleiche Firmware und die gleichen Flash-Bausteine verwendet werden. Damit wird verhindert, dass in-

nerhalb einer Serie Kompatibilitätsschwierigkeiten auftreten. Grundsätzlich sind Flash-basierte Speicher heute nicht mehr aus der Industrie wegzudenken. Achtet man bei der Speicherevaluation auf die Kennwerte aus diesem Beitrag, lassen sich Ärger und damit verbundene Folgekosten vermeiden. // ME

Syslogic

**next-mobility.news**  
 Fachwissen für die Mobilität von morgen

**Fachportal für Elektronik-Experten**

Technologien, Produkte, Trends und News für die Entwickler von Elektronikkomponenten und -systemen im Mobilitätssektor. Die besten Fachbeiträge und wichtige Nachrichten können Sie auch als Newsletter erhalten.

[www.next-mobility.news](http://www.next-mobility.news)

ELEKTRONIK PRAXIS | AUTOMOBIL INDUSTRIE sind Marken der  
 VOGEL COMMUNICATIONS GROUP

**NOW!** PCB-POOL  
 mit > 40.000 Kunden Europas größter Prototypenhersteller

**Bestellen noch einfacher...  
 per Drag & Drop**

Altium\*

E TARGET 3001 | KiCad | gbr x2

\*unterstützte Dateiformate

PCB-POOL® ist eine eingetragene Marke  
 30 Jahre Beta