

## Vorzeitige Ausfälle von NAND Flashspeichern vermeiden

Die reale Lebensdauer von Flashspeichern in der Praxis hängt von einer Vielzahl von Parametern ab die in den Datenblättern der Flashspeicherhersteller häufig völlig unberücksichtigt bleiben. Das kann dazu führen dass in Anwendungen eingesetzte Flashspeicher im praktischen Betrieb früher als geplant ausfallen. Dieses Risiko kann jedoch mit einem Lebensdauertest des „altec SSD Life Test Tool“ minimiert werden.

### Inhalt

Einleitung .....	2
Informationsspeicherung in Flashzellen .....	3
Schreib- und Löschvorgänge im Detail .....	4
Risiko Flashspeicher Lebensdauer .....	7
Lebensdauer Test mit dem „altec SSD Life Test Tool“ .....	11
Risiken und Kosten mindern durch vergleichende Lebensdauertests .....	12
Praxisbeispiel .....	12
Fazit .....	14
Kontakt .....	15

#### Versionshistorie

18. März 2013, Version 1.0

## Einleitung

Moderne Flashspeichersysteme sind heutzutage allgegenwärtig in der modernen IT-Technik und Industrieelektronik. Man findet sie in Hochleistungsservern, hochverfügbaren Storageclustern, genauso wie in industriellen Kleinstrechnern (embedded systems) und im Bereich von moderner Consumerelektronik. Die Funktionalität all dieser Systeme und der durch sie bereitgestellten Dienste hängt oftmals einzig und allein davon ab ob der eingesetzte NAND Flashspeicher zuverlässig funktioniert. Versagt der Flashspeicher, versagt auch die jeweilige Anwendung. Nicht selten mit weit reichender Auswirkung auf den bereitgestellten Dienst bzw. einhergehend mit einer stark eingeschränkten Funktionalität.

Auch wenn Flashspeicher so genannte „Solid State“ Speicher sind und ohne bewegliche mechanische Komponenten arbeiten, unterliegen Flash-Datenträger in der Praxis einer Abnutzung durch Schreib- und Löschvorgänge. In den Datenblättern der Hersteller kommt die durch Schreib- und Löschzyklen (P/E cycles, program/erase cycles) begrenzte Lebensdauer von Flashspeichern häufig durch die Angabe TBW (Terabytes written) oder auch PTW (Petabytes written) zum Ausdruck. Einige Hersteller geben auch die täglich zu schreibende Datenmenge (GB written per day) für einen spezifizierten Zeitraum an.

Diese Angaben können jedoch höchstens ein grober Anhaltspunkt bei der Vorauswahl eines geeigneten Flashspeichers sein. Der optimale Flashspeicher in Bezug auf Preis und Leistung für die jeweilige Anwendung kann damit nicht gefunden werden. Auf die alles entscheidende und wichtigste Frage: „Wie lange hält der Flashspeicher bzw. die SSD im praktischen Betrieb?“ können die Datenblattangaben keine verbindliche Antwort geben. Denn auf die angegebenen Werte hat nicht nur das konkrete Schreib- und Löscheszenario in der Praxis einen signifikanten Einfluss, sondern auch innerhalb welcher Temperaturbereiche der jeweilige Flashspeicher betrieben wird. Weitere Abhängigkeiten ergeben sich aus der verwendeten Strukturgröße der Flashchips, der implementierten Wear Leveling Strategie (leider „verbraucht“ das an sich gute Wear Leveling völlig unbemerkt auch eine nicht unerhebliche Anzahl an P/E cycles), dem internen Aufbau des Flashspeichermediums, wie z.B. Controllertyp, verwendete Caches, die aktuell verwendete Firmwareversion usw.

Wenn ein in Frage kommender Flashspeicher nur nach Datenblattangaben ausgewählt wird und anschließend nicht auch auf seine Lebensdauer getestet wird, besteht ein Risiko dass der Flashspeicher vorzeitig versagt. Wie hoch dieses Risiko ist lässt sich im Allgemeinen nicht genau vorhersagen oder berechnen, denn die möglichen Einflüsse sind zu variabel und sehr zahlreich.

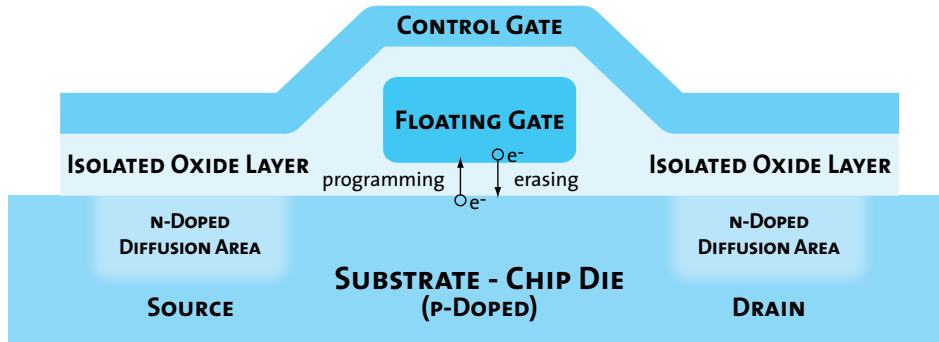
Für Entwicklungsingenieure und Einkäufer die „auf Nummer sicher gehen wollen“ bietet das „altec SSD Life Test Tool“ eine praxisnahe und zuverlässige Testmethode die einen Flashspeicher in Bezug auf seine tatsächliche Lebensdauer im praktischen Einsatz mit dem konkreten Schreib- und Löschesprofil der jeweiligen Anwendung evaluiert.

***Minimieren Sie das Risiko eines vorzeitigen Ausfalls von eingesetzten Flashspeichern durch einen echten Lebensdauer-test!***

## Informationsspeicherung in Flashzellen

Flashzellen speichern ihre Information dadurch dass Elektronen mit Hilfe einer hohen Spannung (10 - 18 Volt) am Control Gate durch eine isolierende Oxidschicht in das sogenannte Floating Gate tunneln. Die Ladungsmenge die in das Floating Gate einer Flashzelle gebracht und wieder entfernt wird lässt die isolierende Oxidschicht mit zunehmender Anzahl an Ladungswechseln immer stärker degenerieren. Irgendwann ist die Oxidschicht soweit verschlissen dass die Ladungsmenge die die Bitinformation trägt von selbst abfließt.

*Eine Flashzelle nutzt sich bei jedem Löschen und Beschreiben ab und hat dadurch nur eine sehr begrenzte Lebensdauer.*



**ABBILDUNG 1:**  
SCHEMATISCHER AUFBAU EINER FLASHZELLE

Die minimale vom Hersteller garantierte Zeit innerhalb der eine in der Flashzelle gespeicherte Information fehlerfrei ist und keine Datenverluste durch Abfließen der im Floating Gate gespeicherten Ladung auftreten, nennt man Retention. In Abhängigkeit der spezifizierten Dauer der Retention wird Endurance als der Wert bezeichnet, innerhalb dessen keine funktional bemerkbare Degeneration an der isolierenden Oxidschicht die Speichereigenschaften der Flashzelle negativ beeinflusst. Endurance bezeichnet die maximale Anzahl der P/E cycles der einzelnen Flashzelle innerhalb der Hersteller die Retention garantiert.

Problematisch in Bezug auf die Retention und die Endurance ist, dass sich heute durch die kleineren Chipstrukturen die in die Flashzelle eingebrachte Ladungsmenge und die isolierende Oxidschicht stark verkleinert. Zusätzlich werden durch kleinere Floating Gates und Isolierschichten auch nicht lineare Effekte an den Enden der spezifizierten Temperaturbereiche verstärkt, die die gespeicherte Information beeinträchtigen können.

Durch die zunehmende Verkleinerung der Strukturgrößen der Flashspeicherchips sind heute 2-Bit MLC und 3-Bit MLC (TLC) NAND Flashspeicher am Markt verfügbar, die teils nur noch 1.000 P/E cycles (MLC) bzw. bei TLC nur noch wenige hundert P/E cycles pro Flashzelle erlauben. Das sind teils erschreckend niedrige Endurance Werte! Die bis vor wenigen Jahren noch durchgängig im professionellen Bereich eingesetzten SLC NAND Flashspeicher erlauben 100.000 P/E cycles – speziell selektierte SLC Chips erreichten auch > 1.000.000 P/E cycles. Typische 2-Bit MLC Flashspeicher waren vor wenigen Jahren immerhin noch für 10.000 P/E cycles spezifiziert.

*Die Retention und Endurance für NVRAM ist in JESD22-A117A, JESD47 (JEDEC) definiert. In heute üblichen Datenblättern ist die Endurance häufig bei einer Retention von nur 1 Jahr angegeben. Es besteht eine direkte Abhängigkeit von Endurance und Retention, zum Beispiel 100.000 Endurance Zyklen für 1 Jahr Retention bzw. 10.000 Endurance Zyklen für 10 Jahre Retention.*

Kleinere Halbleiterstrukturen ermöglichen zwar heute eine höhere Chipausbeute und führen neben dem Preisdruck in der Halbleiterindustrie dazu dass die Flashspeicherpreise ständig fallen. Aber kleinere Strukturgrößen der Chips verkürzen auch deutlich die Lebensdauer (Endurance) der Flashzellen.

Durch den allgemeinen Kostendruck dringt inzwischen zunehmend kostengünstiges MLC Flash mit kleinen Strukturgrößen in professionelle Einsatzbereiche vor. Diese speziellen auch als Enterprise MLC (eMLC) bezeichneten Flashspeicherzellen wurden für niedrige Fehlerraten bzw. höhere Endurancewerte (10.000 P/E cycles) entwickelt und versprechen daher besonders robust zu sein. Mit seinen spezifizierten 10.000 P/E cycles erreicht eMLC heute aber auch nur die gleichen Endurance Werte wie das vor Jahren übliche, „normale“ MLC NAND Flash das damals in deutlich größeren Strukturen gefertigt wurde. Die besseren Endurancewerte heutiger eMLC im Vergleich zu heute üblichem MLC mit kleiner Strukturgröße kommen nicht ausschließlich durch weiter entwickelte Fertigungsmethoden auf Chipebene zu Stande, sondern teils nur durch einen deutlich höheren Aufwand bei der Bitfehlererkennung bzw. -korrektur als noch vor wenigen Jahren üblich. Anders als die Bezeichnung eMLC es vermuten lässt, ist die Anzahl der P/E cycles gegenüber „normalem“ MLC, das noch vor Jahren in größeren Strukturgrößen gefertigt wurden, heute deutlich schlechter. Dieser Effekt hängt in erster Linie damit zusammen dass man bei damaligen Flash Chips, die noch in großen Strukturgrößen gefertigt wurden, für eine wesentlich größere Retention garantierte. Retentions von 10 Jahren waren damals üblich, während heute die Anzahl der P/E cycles nur für 1 Jahr Retention angegeben ist.

	SLC	eMLC	MLC	TLC	MLC (old)
typical process technology	> 40 nm	≈ 48 ... 32 nm	34 ... 24 nm	≈ 28 ... 20 (19) nm	> 50 nm
P/E cycles (Retention min. 1 year)	1.000.000 ... 100.000	≈ 10.000	≈ 1000	« 1.000 (typ. ≈ 300)	(*)
P/E cycles (Retention min. 3 years)	333.000 ... 33.000	≈ 3.300	≈ 333	« 333 (typ. ≈ 100)	(*)
P/E cycles (Retention min. 5 years)	200.000 ... 20.000	≈ 2.000	≈ 200	« 200 (typ. ≈ 60)	(*)
P/E cycles (Retention min. 10 years)	100.000 ... 10.000	≈ 1.000	≈ 100	« 100 (typ. ≈ 30)	10.000

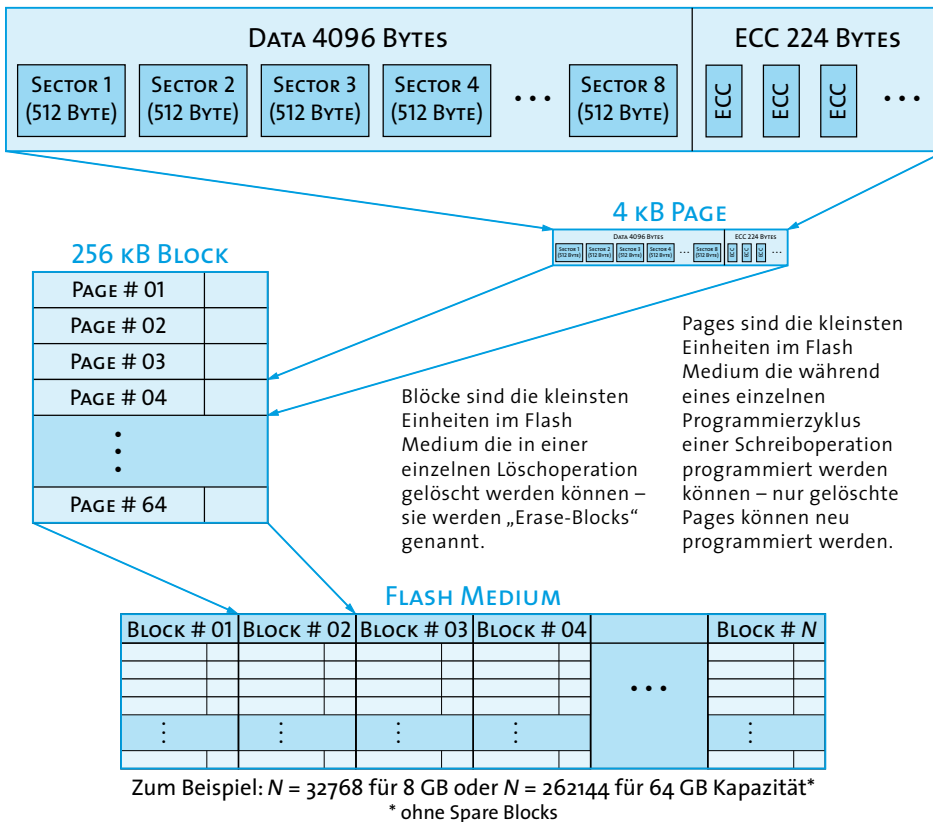
(\*) not specified

**TABELLE 1:**  
**TYPISCHE P/E CYCLES VERSCHIEDENER NAND FLASH ARTEN IN ABHÄNGIGKEIT UNTERSCHIEDLICHER RETENTION WERTE**

## Schreib- und Löschvorgänge im Detail

Einzelne NAND Flashzellen auf einem Flashchip lassen sich nicht gezielt löschen bzw. beschreiben. Innerhalb der Flashchips sind die einzelnen Flashzellen zu 2 bis 16 kByte großen Pages zusammengefasst. Eine Page stellt die kleinste beschreibbare Einheit eines Flashchips dar. Auf den Flashchips sind die einzelnen Pages zusätzlich zu sogenannten Erase-Blocks zusammengefasst. Die Erase-Blocks stellen die kleinste zu löschende Dateneinheit eines Flashspeichers dar. Abhängig vom Aufbau des Flashchips kann die Erase-Block Größe in einem Bereich von 16 kByte bis zu 2 MByte variieren.

In Zukunft ist jedoch damit zu rechnen dass die Größen für die Pages und die Erase-Blocks im Zuge der Strukturverkleinerung auf den Flashchips noch weiter steigen werden.



**ABBILDUNG 2-A:**  
**SCHEMATISCHER AUFBAU EINES TYPISCHEN FLASH MEDIUM**

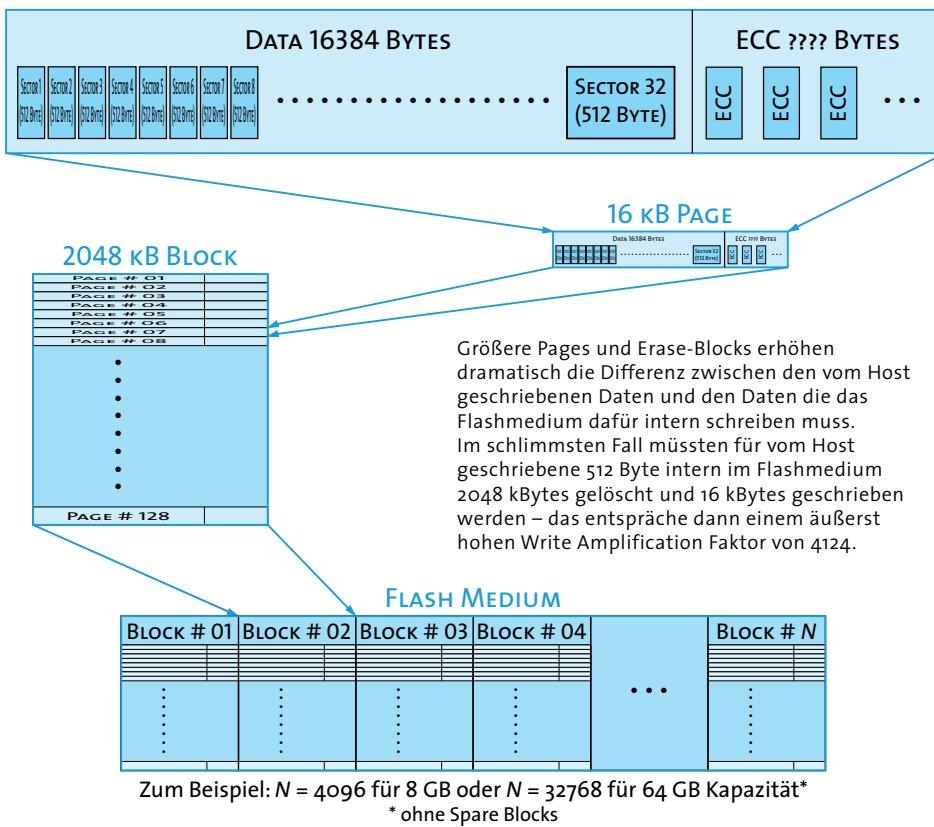
In der Praxis kann diese Aufteilung in Pages und Erase-Blöcke bedeuten dass bei sehr kleinen geschriebenen Datenmengen deutlich mehr Flashzellen beschrieben werden als eigentlich von der bittragenden Datenmenge her notwendig ist. Bei in 4 kByte Blöcken geschriebenen Daten könnten bis zu 4 mal so viele Flashzellen (bei 16 kByte großen Pages) beschrieben werden als von der reinen Datenmenge her nötig gewesen wären – bei 512 Byte großen geschriebenen Datenblöcken müssten bereits 32 mal so viele Flashzellen beschrieben werden!

*512 Byte entsprechen einem Sektor (sector), der kleinsten Dateneinheit in einem typischen Dateisystem, heutige Dateisysteme benutzen inzwischen auch 4 kByte große Sektoren.*

Das gilt jedoch nur wenn das Flashmedium noch über unbeschriebene Pages verfügt. Müssen Flashzellen bzw. Pages vor dem Beschreiben erst noch gelöscht werden, kann die auf den Flashchip geschriebene Datenmenge weiter drastisch ansteigen. Für relativ kleine zu speichernde Datenmengen im Verhältnis zur Page Größe und Erase-Block Größe, erzeugt jeder Schreib- und Löschvorgang einen unter Umständen sehr großen Overhead an P/E cycles der die Abnutzung der einzelnen Flashzellen auf dem Flashchip dramatisch erhöhen kann. Dieser Overhead wird als Write Amplification Factor (WAF) bezeichnet. Der WAF Wert wird wie folgt berechnet:

$$\text{Write Amplification Factor (WAF)} = \frac{\text{Geschriebene Daten auf dem Flashmedium}}{\text{Geschriebene Daten durch die Anwendung}}$$

Ein WAF von 1 wäre ideal und würde bedeuten dass bei 1 MByte zu speichernden Daten im Flashmedium auch nur 1 MByte intern im Flashmedium geschrieben werden würde. Da bereits beschriebene Flashzellen vor dem erneuten Schreiben erst gelöscht werden müssen, ist der WAF stets größer als 1.



**ABBILDUNG 2-B:**  
**SCHEMATISCHER AUFBAU EINES HÖHER INTEGRIERTEN FLASH MEDIUM**

Der Controller des Flashmediums versucht, teilweise unterstützt durch intelligente Cachingmechanismen, die einzelnen Schreibzugriffe auf die Pages der einzelnen Flashchips in einem Flashmedium zusammenzufassen und auch die benötigten Löschkzyklen zu minimieren. Wie diese Optimierung genau passiert ist im Allgemeinen nicht bekannt weil sie ein Betriebsgeheimnis des Herstellers ist. Aus den Datenblattwerten für Endurance (TBW bzw. PBW) und Kenntnis der genauen Bestückungsart (SLC, MLC, eMLC, TLC, Strukturgröße und Organisation der Chips in Pages und Erase-Blocks) lässt sich die genaue Lebensdauer eines Flashmediums kaum berechnen.

Hier hilft nur eine praktische Überprüfung mit dem „altec SSD Life Test Tool“ ob das zu evaluierende Flashmedium bzw. die SSD innerhalb der geplanten Lebensdauer zuverlässig arbeitet. Gerade bei komplexen Schreib- und Löschszenarien ist das „altec SSD Life Test Tool“ das ideale Evaluierungswerkzeug weil es eine freie Definition des Belastungsprofils erlaubt. Wenn das Belastungsprofil einer Anwendung nicht bekannt ist, können mit dem „USB Life Test Tool Traffic FlashDrive“ die realen Datenzugriffe einer Anwendung protokolliert werden. Anschließend testet das „altec SSD Life Test Tool“ mit dem erzeugten Belastungsprofil das zu evaluierende Flashmedium.

**Nur echte Lebensdauer-tests minimieren das Risiko vorzeitiger Ausfälle von Flashspeichern im späteren Einsatz.**

## Risiko Flashspeicher Lebensdauer

Flashspeicher in den unterschiedlichsten Bauformen, ob als Flash Speicherkarte, SSD oder USB Speichermodul sind in der modernen IT-Technik nicht mehr weg zu denken. Die Vorteile der Flashspeicher sind groß, Unempfindlichkeit gegen Schock und Vibration, geringerer Energiebedarf und oftmals eine deutlich höhere Leistungsdichte in Bezug auf Geschwindigkeit und IOPs (Input/Output operations Per Second). Aber Flashspeicher haben im Verhältnis zu herkömmlichen Disk basierenden Speicherlösungen auch wesentlich höhere Kosten pro Gigabyte. Den größten Nachteil von Flashspeichern, die begrenzte Lebensdauer bzw. die begrenzte Anzahl an P/E cycles von Flashzellen kennt man als Entwickler und Einkäufer schon lange und fühlt sich durch die gemachten Angaben in Datenblättern auf der sicheren Seite. Dabei lauert hier das größte „Minenfeld“ im gesamten Evaluierungsprozess bzw. für das fertige Produkt. Denn ein falsch ausgewählter Flashspeicher, der vor der projektierten Lebensdauer versagt, kann ungeahnte Folgekosten nach sich ziehen – vom Renommeeverlust des entwickelnden Unternehmens einmal ganz abgesehen.

IT-Technik ist in den meisten Fällen ein Investitionsgut das für mehrere Jahre Lebensdauer hin ausgelegt ist. Die ISO 9001 oder auch die BOM (Bill of Materials) bieten hier genügend Sicherheit um die geplante Lebensdauer der enthaltenen Komponenten zu gewährleisten. In dem Wissen um die entsprechenden Kennzahlen der Flashspeicherhersteller, kennt der Einkäufer oder Entwickler die theoretische Lebensdauer des eingesetzten Flashspeichers und kann dadurch Wartungszyklen entsprechend planen bzw. die TCO (Total costs of ownership) ermitteln. Da es sich jedoch bei Flashspeichern um Komponenten handelt deren reale Lebensdauer abhängig vom konkreten Schreib- und Löscheszenario in der Praxis ist, ist die Auswahl des richtigen Flashspeichers für eine Applikation anhand von theoretischen Werten nicht immer optimal.

Die dabei auftretenden Gefahrenpotentiale sind vielfältig. Ein vorzeitiger Ausfall eines Flashspeichers ist damit gekoppelt dass innerhalb der Anwendung ein funktionaler Fehler auftritt. Nicht selten stehen dann bei einer Embedded oder industriellen Anwendung komplette Anlagenteile still. Mobilfunk-, Server- oder Netzwerkdienste fallen aus oder stehen nur noch eingeschränkt zur Verfügung bis der vorzeitig defekte Flashspeicher ersetzt werden kann. Zu den außerplanmäßigen Kosten für die Ersatzteilbeschaffung und die Reparatur kommen unter Umständen noch Regresskosten hinzu. Im Einzelfall halten sich dabei die anfallenden Kosten noch in Grenzen, in Serie summieren sich die Kosten aber sehr schnell astronomisch auf.

Setzt man als Einkäufer und Entwickler auf höherwertige und hochpreisigere Flashspeicher kann man das Gefahrenpotential durch vorzeitige Ausfälle zwar reduzieren, aber nur selten minimieren. Außerdem ist fraglich ob der höhere Kostenaufwand in einem vernünftigen Verhältnis zum erhofften Nutzen steht und nicht nur das Endprodukt überproportional teurer werden lässt. Im schlimmsten Fall führen die höheren Kosten dazu dass sich das fertige Produkt in dem geplanten Marktsegment nicht verkaufen lässt weil Mitbewerber es günstiger anbieten.

***Trotz der hohen Überlegenheit bei den technischen Eckdaten kann die begrenzte Lebensdauer von Flashspeichern ein Risiko für die Zuverlässigkeit der mit Flashspeichern bestückten Anwendung darstellen.***

***Nicht optimal auf die Anwendung evaluierte Flashspeicher wirken sich nachteilig auf das spätere Produkt aus.***

Vor wenigen Jahren war es noch mit verhältnismäßig einfachen Berechnungen möglich die zu erwartende Lebensdauer eines Flashspeichers zu ermitteln. Gleichungen der Flashhersteller wie im folgenden Beispiel boten in der Praxis gute Anhaltspunkte zur Berechnung der theoretischen Lebensdauer:

$$\text{Lebensdauer} = \frac{\text{Endurance Rating} * \text{Kapazität in GB} * (0,0325) * 1024}{\text{Write IOPS} * \text{Dateigröße in kB} * \text{Write Amplification Factor} * \text{Duty Cycle}}$$

**Endurance Rating** – Anzahl der spezifizierten P/E cycles der Flashzelle in Tausend, siehe Tabelle 1

**Kapazität in GB** – Kapazität in Gigabyte auf Basis des dualen Zahlensystems ( $2^n$  statt  $10^n$ )

**0,0325** – Konstante bedingt durch die Umrechnung von der Endurance Rate in tausende Zyklen, durch kB zu GB Umrechnung und die Sekunden zu Jahr Umrechnung

**1024** – Konstante für kB zu MB Umrechnung

**Write IOPS** – Anzahl der Schreib Input/Output pro Sekunde (ermittelt durch Messung in der Anwendung oder theoretischer Wert)

**Dateigröße in kB** – die Dateigröße bei der die Write IOPS gemessen worden sind oder theoretischer Wert

**Write Amplification Factor (WAF)** – das Verhältnis der geschriebenen Datenmenge auf dem Flashmedium im Verhältnis zur Datenmenge die die Anwendung (host) schreibt.

**Duty cycle** – das prozentuale Verhältnis von Schreibzyklen zur Summe von Lesezyklen und Leerlauf.

Beispiel: Eine Anwendung verarbeitet durch Sensoren gemessene Daten und speichert 15 mal pro Sekunde (write IOPS) eine 2 kB große Datei. Pro Tag schreibt die Anwendung eine Datenmenge von 2.592.000 kByte, also rund 2,47 MByte auf den Flashspeicher. Die Dateiinhalte werden weiter verarbeitet sodass der „Duty Cycle“ 25% beträgt. Verwendet werden soll ein MLC Flashspeicher (Endurance rating = 10) von 4 GB Kapazität.

$$\text{Lebensdauer} = \frac{10 * 4 * (0,0325) * 1024}{15 * 2 * 32 * 25\%} = 5,546 \text{ Jahre}$$

Die Herstellerangaben zur Lebensdauer eines in großen Strukturen gefertigten Flashspeichers bieten auch noch einen gewissen Sicherheitsspielraum nach oben. Wollte man noch zusätzliche Sicherheitsreserven einkalkulieren oder erschien das Ergebnis der Berechnung etwas knapp, verdoppelte man die Kapazität des Flashspeichers. Das führte im Allgemeinen zu einer Verdoppelung der Lebensdauer, erhöhte aber auch die Projektkosten durch den teureren Flashspeicher.

Im Beispiel oben, dessen Flashspeicher Lebensdauer bei einer geplanten 5-jährigen Nutzungszeit etwas knapp bemessen wäre, würde eine doppelt so große Kapazität von 8 GB des MLC Flashspeichers zu einer berechneten Lebensdauer von deutlich über 10 Jahren führen.



Alternativ hätte man auch einen kleineren Flashspeicher mit 1 GB Kapazität in SLC NAND Bestückung – das Endurance Rating ist hier dann gleich 100 statt vorher nur 10 – wählen können (in der Annahme dass die anderen Werte identisch sind).

$$\text{Lebensdauer} = \frac{100 * 1 * (0,0325) * 1024}{15 * 2 * 32 * 25\%} = 13,866 \text{ Jahre}$$

Schreib- und Löschszenario sind in der Praxis heute aber leider deutlich komplexer. Bleiben wir beim ursprünglichen Beispiel, der Verarbeitung und Speicherung von Sensordaten durch eine Anwendung, dann könnte ein Belastungsprofil auch eher so aussehen:

	Größe der von der Anwendung geschriebenen Dateien in kByte										
	0,5	1	2	4	8	16	32	64	...	512	1024
w r i t e IOPS	45	23	15	18	5	32	6	22	...	0,25	1

**TABELLE 2:  
KOMPLEXERES BELASTUNGSPROFIL 1**

Bei derartigen Belastungsprofilen lässt sich mit etwas Mehraufwand noch verhältnismäßig gut berechnen ob ein in Frage kommender Flashspeicher für die Anwendung geeignet ist oder nicht – sofern alle notwendigen Herstellerdaten bekannt sind. Oft genug ist das aber leider nicht der Fall oder die Angaben sind nur unvollständig verfügbar. Herstellerangaben wie TBW (PBW bzw. GB written per day) sind hier wenig hilfreich um zu berechnen ob ein Flashspeicher für die Anwendung wirklich geeignet ist.

*Die Datenblattangaben der Flashspeicherhersteller enthalten heute nur Lebensdauerangaben die für standardisierte Schreib- und Löschrprofile gültig sind.*

Ausgehend von den 1024 kByte großen Schreibzugriffen in der Tabelle mit 1 write IOPS beträgt die geschriebene Datenmenge pro Tag knapp 85 GByte durch den Host (bzw. die Anwendung). Die Erase-Block Größe nehmen wir als bekannt an, sie beträgt 1024 kByte. Bei dieser Annahme ist am Anfang, wenn das Flashmedium noch unbeschrieben ist, der WAF gleich 1. Müssen vor dem Schreiben auf dem Flashmedium jedoch Blöcke gelöscht werden beträgt der WAF 2 - das ist nach relativ kurzer Nutzungsdauer immer der Fall. Intern im Flashmedium werden dann nicht nur 85 GByte geschrieben, sondern 170 GByte.

Die nachfolgende Tabelle zeigt die in 24 Stunden geschriebenen Nutzdatenmengen der Anwendung (Host) und die Datenmengen die das Flashmedium intern schreiben muss um diese Nutzdaten speichern zu können. Die Page Größe des in Frage kommenden Flashmediums hat der Hersteller mit 8 kByte angegeben, die Erase-Block Größe beträgt 1024 kB.

	Größe der von der Anwendung geschriebenen Dateien in kByte										
	0,5	1	2	4	8	16	32	64	...	512	1024
write IOPS	45	23	15	18	5	32	6	22	...	0,25	1
WAF	2048	1024	512	256	128	64	32	16	...	4	2
Geschriebene Datenmenge des Host in 24 Stunden in Gigabyte (gerundet)											
	1,8	1,9	2,5	5,9	3,3	42,2	15,8	116	...	10,5	84,4
Geschriebene Datenmenge auf dem Flashmedium „worst case“ in Gigabyte (gerundet)											
	3686	1945	1280	1510	422	2700	505	1856	...	42	169

**TABELLE 3:**  
**KOMPLEXERES BELASTUNGSPROFIL 2**

Addiert man die täglich geschriebene Nutzdatenmenge durch den Host, erhält man einen Wert von rund 285 GByte. Die aufaddierte tägliche Datenmenge die das Flashmedium intern wegen des WAF schreiben müsste, beträgt etwa 13.937 GB (13,6 TByte) – das rund 49-fache!

Demzufolge würden die Flashzellen eines Flashmediums mit einer angegebenen Endurance (LDE, Long Term Data Endurance) von einigen hundert TBW durch die P/E cycles innerhalb weniger Tage komplett verschleifen. Ein hochwertiges Flashmedium mit z.B. 500 TBW müsste mit dem obigen Belastungsprofil wegen der Flashmedium intern geschriebenen Datenmenge nach etwa 37 Tagen so weit abgenutzt sein, dass es bald danach komplett ausfällt. Berechnet man die zu erwartende Lebensdauer mit den vom Host geschriebenen Nutzdaten von rund 285 GB bei 500 TBW, erhält man eine Lebensdauer von rund 1800 Tagen, also von 5 Jahren. Diese errechnete theoretische Lebensdauer ist schon deutlich näher an dem was man von einem modernen Flashmedium erwartet. Aber leider ist das Ergebnis heute nicht immer auf die Praxis übertragbar.

Die große Differenz zwischen den beiden Werten ist dadurch begründet dass der Host nicht 1:1 auf das Flashmedium schreibt, sondern der Controller des Flashmediums die einzelnen Schreibzugriffe optimiert sodass der WAF möglichst niedrig ist und so wenig wie möglich an unnötigen P/E cycles verbraucht werden. Im Wesentlichen wird durch vorgeschaltete Caches, in die Controller Firmware implementierte Caching und Wear Leveling Algorithmen und auch teils durch Datenkompression erreicht dass der reale WAF im praktischen Betrieb niedrig ist. Welche dieser Mechanismen und vor allem wie genau, ein Hersteller sie in seine Controller Firmware implementiert hat und wie genau sie sich in der Praxis bei unterschiedlichen Belastungsprofilen auswirken, ist aber leider das Betriebsgeheimnis der Hersteller.

Ausgehend vom obigen Beispiel, in dem die Nutzdaten des Belastungsprofils anhand der Angabe von 500 TBW nahe legen dass das Flashmedium 5 Jahre hält, gibt es ein sehr großes Risiko dass das Flashmedium deutlich früher am Ende seiner Lebensdauer ist. Wie früh genau bzw. ob die geplante Lebensdauer in der Praxis erreicht wird, lässt sich sicher nur durch einen Lebensdauer Test mit praxisnahem Belastungsprofil zuverlässig überprüfen.

*Einige Hersteller beziehen sich bei der Angabe der LDE auf die von BAPCo als typisch definierten Profile: Professional ≈ 90 GBW/Woche, Student ≈ 37 GBW/Woche und Personal ≈ 37 GBW/Woche. Ob diese Profile für die eigene Anwendung passen ist aber fraglich, denn diese Profile bilden in erster Linie typische Windows User ab.*

## Lebensdauer Test mit dem „altec SSD Life Test Tool“

Das „altec SSD Life Test Tool“ wurde speziell entwickelt um für eine Anwendung die in Frage kommenden Flashmedien in einem praktischen Testlauf hinsichtlich der tatsächlichen Lebensdauer zu überprüfen. Bzw. zu prüfen ob das betreffende Flashmedium innerhalb der geplanten Lebensdauer der Anwendung sicher und zuverlässig funktioniert. Das dient nicht nur der Betriebssicherheit der jeweiligen Anwendung, sondern erlaubt auch eine Vergleichbarkeit von Flashmedien mit unterschiedlichem Preis-Leistungs-Verhältnis, um für eine Anwendung den optimalen Datenträger zu finden.

Aber auch bei bereits bestehenden Anwendungen ist das „altec SSD Life Test Tool“ eine zuverlässige Hilfe um beispielsweise bei einem Update der Controller Firmware des Flashmediums sicher zu eruieren, ob das Update nicht auch negative Auswirkungen auf die Lebensdauer des Flashspeichers hat. Nicht selten werden bei Flashmedien in der Zeit der Projektentwicklung und Evaluierung einer Anwendung vom Hersteller verschiedene Firmware Updates veröffentlicht die aufgetretene Fehler beseitigen sollen. Wenn die Korrekturen in der Firmware dazu führen dass sich (unwissentlich) die Lebensdauer des Flashmediums in einer bereits vermarkteten Anwendung verkürzt, birgt das ein zusätzliches Risiko für die Zuverlässigkeit und geplante Lebensdauer der Anwendung. Mit dem „altec SSD Life Test Tool“ können diese Risiken in Bezug auf Haftung, Gewährleistung oder Regress minimiert werden.

Da sich Flashmedien durch P/E cycles eher langsam im Laufe der Zeit abnutzen beschleunigt das „altec SSD Life Test Tool“ die auftretenden Abnutzungsprozesse wie in einer Art Zeitraffer. Dazu wird im „altec SSD Life Test Tool“ ein tabellarisches Belastungsprofil angelegt, welches die einzelnen Write IOPS bei den jeweilig zu schreibenden Blockgrößen enthält. Zusätzlich wird die geplante bzw. projektierte Lebensdauer angegeben. Ist das zu testende Flashmedium mit dem Testrechner verbunden wird das „altec SSD Life Test Tool“ gestartet und schreibt anschließend die im Belastungsprofil angelegten Write IOPS und Blockgrößen Kombinationen mit Testmustern auf das Flashmedium. Dieser Vorgang wiederholt sich so oft bis das „altec SSD Life Test Tool“ ermittelt hat dass die geplante Lebensdauer erreicht wurde oder dass das Flashmedium vor der geplanten Lebensdauer ausgefallen ist.

Wenn die dafür verwendeten Belastungsprofile bekannt sind, können sie so ähnlich wie in der Tabelle „Tabelle 2 komplexeres Belastungsprofil 1“ dargestellt, eingegeben und für den Test verwendet werden. Für Prozessrechner, Embedded Systeme bzw. alle Anwendungen mit dynamischem Datenaufkommen hat altec das „USB Life Test Tool Traffic FlashDrive“ entwickelt, welches anstatt des für die Anwendung vorgesehenen Flashmediums für einen begrenzten Zeitraum als Datenträger im praktischen bzw. Laborbetrieb eingesetzt wird. Der im „USB Life Test Tool Traffic FlashDrive“ integrierte Mikrocontroller protokolliert die von der Anwendung erzeugten Write IOPS bei den jeweiligen Blockgrößen mit. Nach dem Abschluss des statistisch relevanten Protokollierungszeitraums werden die erfolgten Zugriffe ausgelesen und ein tabellarisches Belastungsprofil für das „altec SSD Life Test Tool“ erzeugt.

***Firmware Updates von Flashspeichern sind oft Segen und Fluch zugleich – vor einem Firmware Update von Flashspeichern bei bereits in Betrieb genommener Anwendungen, minimiert ein erneuter Lebensdauer test des upgedateten Flashspeichers das Risiko vorzeitiger Ausfälle.***

***Das „altec Life Test Tool“ ermöglicht die Lebensdauer eines Flashspeichers mit einem beliebigen Belastungsprofil zu testen.***

## Risiken und Kosten mindern durch vergleichende Lebensdauertests

Die Testergebnisse des „altec SSD Life Test Tool“ erlauben es auch erstmals unterschiedliche für eine Anwendung in Frage kommende Flashmedien direkt in Bezug auf das reale Preis-Leistungs-Verhältnis zu vergleichen. Der Flashspeichermarkt bietet heute eine nahezu unüberschaubare Anzahl von verschiedenen Flashspeicherherstellern mit sehr unterschiedlichen Produktlinien an.

Nicht selten bleiben entwickelnde Unternehmen einem Hersteller treu mit dessen Flashspeichern sie in der Vergangenheit gute Erfahrungen gemacht haben. Diese Treue ist betriebswirtschaftlich nicht immer optimal in Bezug auf das reale Preis-Leistungs-Verhältnis. Die Treue wird nicht selten damit begründet dass man sehr genau weiß wie hoch die Lebensdauer der bisher bezogenen Flashspeicher in den eigenen Anwendungen ist. Verständlich dass gerade die Lebensdauer besonders hervor gehoben wird, denn ein vorzeitiger Ausfall eines Flashspeichers kann ungeahnt hohe Folgekosten erzeugen und das Renommee des eigenen Unternehmens negativ beeinflussen. Ein Wechsel des Flashherstellers unterbleibt daher oft, auch wenn ein alternativer Anbieter anhand der Datenblätter ein besseres Preis-Leistungs-Verhältnis hat als der bisherige Flashspeicher Lieferant. Denn es handelt sich zuerst einmal nur um Prospektangaben anhand derer das Preis-Leistungs-Verhältnis besser erscheint. Bisher konnte man diese Angaben besonders in Bezug auf die tatsächliche Lebensdauer eines alternativen Flashspeichers nur unzureichend überprüfen.

Das „altec SSD Life Test Tool“ erlaubt hier erstmals mit einem überschaubaren Aufwand zuverlässige Vergleiche um von betriebswirtschaftlichen Vorteilen zu profitieren, ohne dass das Risiko für die geplante Lebensdauer der Anwendung unkalkulierbar wird.

***Alternative Flashmedien wegen eines besseren Preis-Leistungs-Verhältnis zu verwenden erhöht das Risiko eines vorzeitigen Ausfalls weil Erfahrungswerte für deren reale Lebensdauer fehlen. Die Testergebnisse des „altec Life Test Tool“ minimieren dieses Risiko und helfen Kosten zu sparen.***

## Praxisbeispiel

Für den direkten Vergleich wurden neben dem bisher langjährig eingesetzten Flashmedium zwei alternative Produkte nach Datenblattangaben ausgewählt und für eine Evaluierung nebst dem Lebensdauertest mit dem „altec SSD Life Test Tool“ einige Exemplare bestellt.

Die Anwendung ist eine geplante Weiterentwicklung eines bereits bestehenden Produktes, sodass hinreichend praktische Erfahrungswerte vom Vorgängermodell bekannt sind. Das neue Modell soll nach Pflichtenheft vom Auftraggeber für mindestens 7 Jahre Betriebszeit spezifiziert sein. Mit dem Auftraggeber wurde ein Wartungsvertrag mit 2-jährigem Intervall und 36 Stunden Reaktionszeit abgeschlossen. Wobei der erste Wartungseinsatz kostenlos ist, da eine 3-jährige Garantiezeit vereinbart wurde. Die Anwendung wird vom Auftraggeber im gesamten europäischen Raum vertrieben und installiert.

Der Auftraggeber hat unter Berücksichtigung seiner Absatzplanung 2.500 Einheiten als Erstausrüstung geordert und rechnet pro nachfolgendem Quartal mit weiteren 1.500 Einheiten. Die Marktsättigung schätzt der Auftraggeber europaweit mit 20.000 Einheiten ein und kalkuliert die aktive Vertriebsphase mit 3 Jahren. Der Entwickler und Produzent der Anwendung will überprüfen ob der bisher eingesetzte Flashspeicher A innerhalb der projektierten Lebensdauer zuverlässig funktioniert. Außerdem ist er daran interessiert seine Marge zu vergrößern und lässt daher zusätzlich 2 alternative Flashspeicher testen.

### **Flashspeicher A mit Preisindex 100**

Das bisher langjährig eingesetzte Produkt ist ein embedded USB 2.0 Modul mit 32 GB Kapazität, MLC NAND Flash Bestückung in 40 nm Strukturgröße, TBW Wert unbekannt, ebenso die genaue Anzahl der P/E cycles im praktischen Betrieb – im Datenblatt sind die P/E cycles mit mindestens 10.000 angegeben. Die Garantiezeit beträgt 3 Jahre.

Der Hersteller bzw. Distributor des USB Moduls bietet an die Lebensdauer des Flashmoduls zu berechnen. Das Ergebnis dieser Berechnung ergab dass bei jedem zweiten Wartungszyklus der Flashspeicher, wie auch beim Vorgängermodell der Anwendung, ersetzt werden muss. Auf eine mögliche Kapazitätsverdopplung, die die Lebensdauer verdoppelt hätte, wurde verzichtet, da sich die Kosten für das USB Modul deutlich erhöht hätten und in Zukunft zu erwarten ist, dass die Flashspeicherpreise weiter sinken.

### **Alternativer Flashspeicher B mit Preisindex 85**

Ein embedded USB 2.0 Modul mit 32 GB Kapazität, eMLC NAND Flash Bestückung in 24 nm Strukturgröße, die Lebensdauer ist hier mit 120 TBW angegeben, die Anzahl der P/E cycles ist nicht bekannt (angenommenes Intervall  $>2.500 \dots < 5.000$  P/E cycles). Die Garantiezeit beträgt 2 Jahre.

### **Alternativer Flashspeicher C mit Preisindex 180**

Ein embedded USB 2.0 Modul mit 16 GB Kapazität, SLC NAND Flash Bestückung in 50 nm Strukturgröße, die Lebensdauer ist mit 540 GBW pro Tag für 5 Jahre angegeben, die Anzahl der P/E cycles ist mit  $> 100.000$  angegeben. Die Garantiezeit beträgt 5 Jahre.

### **„altec SSD Life Test Tool“ Testergebnisse mit anwendungsspezifischem Belastungsprofil der Anwendung für 5 Jahre projektierte Lebensdauer**

**Flashspeicher A:** nach 4,3 Jahren Lebensdauer brach der Test ab weil das Flashmedium keine schreibenden Dateizugriffe mehr zuließ.

**Flashspeicher B:** nach 2,4 Jahren Lebensdauer brach der Test ab weil das Flashmedium keine schreibenden Dateizugriffe mehr zuließ.

**Flashspeicher C:** bestand den Test. In einem weiteren Test wurde später eine Lebensdauer von 12,3 Jahren ermittelt.

Anhand der Testergebnisse mit dem „altec SSD Life Test Tool“ entschied sich das entwickelnde Unternehmen für Flashspeicher C. Ausschlaggebend dafür war trotz des deutlich höheren Preises, die sehr lange Lebensdauer unter Praxisbedingungen des Flashspeicher C. Auf den ursprünglichen Austausch des Flashspeichers während der geplanten Wartungen konnte verzichtet werden. Zwar stiegen die Bauteilekosten in der Produktion durch das teurere und höherwertigere Flashmodul, aber im Gegenzug sanken die geplanten Wartungskosten deutlich ohne dass die Zuverlässigkeit und die projektierte Gesamtlebensdauer der Anwendung negativ beeinträchtigt wurde. Im Gegenteil, Flashspeicher C erwies sich als das geeignetere Flashmodul und senkte die TCO für die Anwendung. Die eingesparten Wartungskosten gab das entwickelnde Unternehmen teils an den Auftraggeber weiter und konnte sich dadurch noch zusätzlich einen Wettbewerbsvorteil sichern.

## Fazit

Der Einsatz moderner Flashspeichersysteme die heute in kleinen Chipstrukturen gefertigt werden, ist mit Hinblick auf unvorhersehbare Ausfälle nicht ohne Risiken. Datenblattangaben der Flashspeicherhersteller können einen guten Anhaltspunkt bieten um potentiell einzusetzende Flashspeicher für eine geplante Anwendung auszuwählen. Diese Datenangaben liefern aber keine erschöpfende Antwort darauf wie hoch die tatsächliche Lebensdauer des Flashspeichers unter Praxisbedingungen ist. Konfektionierte und heute am Markt erhältliche Flashspeicher müssen daher vor ihrem Einsatz bzw. vor Produktionsbeginn der Anwendung, auf ihre Lebensdauer hin getestet werden wenn man das Risiko eines vorzeitigen Ausfalls minimieren will.

Das „altec SSD Life Test Tool“ ist das ideale System um die reale Lebensdauer von Flashspeichern unter Praxisbedingungen zu ermitteln und in Frage kommende Flashspeicher miteinander zu vergleichen. Die mit dem „altec SSD Life Test Tool“ erhaltenen Ergebnisse tragen erheblich zur Zuverlässigkeit einer Anwendungen bei und erlauben eine sichere Evaluierung in Bezug auf die reale Lebensdauer. Zusätzlich können aus den Testergebnissen des „altec SSD Life Test Tool“ die Gesamtkosten (TCO) einer geplanten Anwendung bei verschiedenen zu evaluierenden Flashspeichern besser ermittelt werden. Unter Einbeziehung der Testergebnisse ist ein echter Vergleich des Preis-Leistungs-Verhältnis möglich, ohne dass es durch versteckte Risiken, die sich häufig erst in der späteren Lebensdauer der Anwendung offenbaren, zu vorzeitigen Ausfällen des Flashspeichers kommt.

Zusätzlich zur Eingabe eines realen Belastungsprofils, lassen sich Belastungsprofile dynamisch mit dem „USB Life Test Tool Traffic FlashDrive“ direkt in der Anwendung im praktischen (Labor-) Betrieb loggen. Nach Abschluss des Logging-Zeitraums wird vom „altec SSD Life Test Tool“ das Belastungsprofil aus dem „USB Life Test Tool Traffic FlashDrive“ ausgelesen und für den späteren Lebensdauerstest genutzt. Erstmals besteht dadurch die Möglichkeit mit einem überschaubarem Aufwand echte Profile aus der Betriebspraxis zu sammeln – das war bisher nur sehr aufwendig möglich und wenigen darauf spezialisierten Unternehmen möglich.

Das „altec SSD Life Test Tool“ in Verbindung mit dem „USB Life Test Tool Traffic FlashDrive“ minimiert bereits in der Evaluierungsphase einer Anwendung spätere Ausfallrisiken durch nicht optimal ausgewählte Flashspeicher. Die Risiken für unvorhersehbare Ausfälle, teure Garantieabwicklungen oder Regresszahlungen, außerplanmäßige Wartungseinsätze und zusätzliche Beschaffungskosten werden minimiert. Gleichzeitig sinken die Gesamtkosten (TCO) und die Betriebssicherheit der Anwendung steigt.

Wenn Sie mit dem „altec SSD Life Test Tool“ und dem „USB Life Test Tool Traffic FlashDrive“ in Zukunft auf Nummer sicher gehen wollen um künftig vorzeitige Flashspeicherausfälle zu vermeiden, nehmen Sie bitte Kontakt mit dem altec Vertrieb auf.

## Kontakt


altec ComputerSysteme GmbH

Bayernstraße 10 · 30855 Langenhagen · Deutschland

Telefon: +49(0)511 98381-0 · Fax: +49(0)511 98381-49

eMail: [info@altec-cs.com](mailto:info@altec-cs.com)

Web: [www.altec-cs.com](http://www.altec-cs.com)

ISO 9001:2008 zertifiziert 

Seit über 25 Jahren entwickelt und produziert altec ComputerSysteme individuelle Solid State Lösungen für Militär, Avionik/Aerospace, Nautik, Offshore, Automotive, (Schwer-) Industrie usw. Zertifizierte QS Prozesse nach ISO 9001 garantieren für höchste Qualität, Zuverlässigkeit und Langlebigkeit der Produkte. Ob Lösungen für schnelles Speichern, redundante Systeme, Systeme mit speziellem Schutz vor unberechtigtem Zugriff, Manipulation der gespeicherten Daten oder andere Anforderungen – altecs qualifiziertes Ingenieurteam löst nahezu jedes Ihrer Speicherprobleme.