

swissbit®

Application Note

AN4101de

SSD Mastering

© Swissbit AG 2025

  Creative-Commons-Lizenz¹

¹ Dieses Werk steht unter der Creative-Commons-Lizenz „Namensnennung 4.0 International“. Um eine Kopie dieser Lizenz zu sehen, besuchen Sie <http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

Inhaltsverzeichnis

- 1 Einleitung** **2**
- 2 Hintergrund** **2**
 - 2.1 Organisation von Flash-Speicher **2**
 - 2.2 Flash-Controller und Firmware **2**
 - 2.3 Overprovisioning **2**
 - 2.4 Datenverwaltung und Speicherbereinigung (Garbage Collection) **3**
 - 2.5 Schreibverstärkungsfaktor **3**
 - 2.6 Trim **4**
- 3 SSD-Optimierung** **4**

1 Einleitung

Dieses Dokument bietet einen Leitfaden für das korrekte Duplizieren des Inhalts einer SSDs. Das *Mastering* einer SSD (also das Duplizieren des Inhalts einer Master-SSD) ist nicht so einfach wie das Mastering einer rotierenden Festplatte. Dieses Dokument stellt einige technische Hintergründe vor, um die Probleme zu verstehen, die sich aus diesem Prozess ergeben können (siehe Kapitel 2), sowie einen möglichen empfohlenen Prozess für das Mastering von SSDs (siehe Kapitel 3).

2 Hintergrund

2.1 Organisation von Flash-Speicher

Betrachtet man in Abbildung 1, wie ein Flash-Speicher adressiert wird, so ist die kleinste logische/administrative Einheit ein Sektor. Ein Host adressiert ein Flash-Speichermedium über Sektoradressen. Für den Flash-Speicher selbst ist jedoch die kleinste Einheit eine *Page*. Typische Page-Größen von Flashspeichern liegen bei 16 KiB oder 48 KiB. Die nächste Hierarchieebene sind Blöcke, die viele Pages enthalten. Ein Block ist die kleinste Speichereinheit, die gelöscht werden kann. Eine typische Block-Größe liegt heute im Bereich von 30 bis 65 MiB.

Während Flash-Speicher auf Page-Ebene geschrieben bzw. programmiert werden kann,

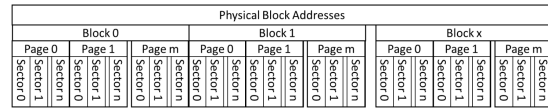


Abbildung 1: Organisation eines NAND-Flash-Speichers

muss er auf Blockebene gelöscht werden. Das Löschen setzt im Allgemeinen alle Bits im Block auf 1. Ausgehend von einem frisch gelöschten Block muss dieser schrittweise seitenweise programmiert und mit Daten gefüllt werden. Sobald jedoch ein Bit auf null gesetzt wurde, kann es nur durch das Löschen des gesamten Blocks wieder auf eins gesetzt werden. Eine Page kann nur ein einziges Mal programmiert werden, nachdem sie zuvor gelöscht wurde.

2.2 Flash-Controller und Firmware

Die komplexe Struktur von Flash-Zellen und deren Organisation erfordert eine zuverlässige und leistungsfähige Steuerungsfunktionalität. Flash-Controller aller Art bestehen aus einer Schnittstelle zum Flash-Speicher, einem Prozessor und einer Host-Schnittstelle wie in Abbildung 2 gezeigt.

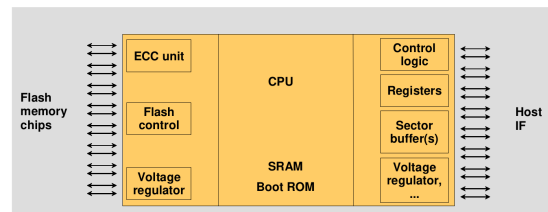


Abbildung 2: Generisches Blockschaltbild einer Solid-State-Speicherlösung

Die Controller basieren auf einer CPU zusammen mit speziellen Hardwareblöcken, darunter eine Einheit für Fehlerkorrekturcodes (ECC), Puffer, Steuerlogik für die Flash- und Host-Schnittstelle.

2.3 Overprovisioning

Overprovisioning in einem Flash-Speichermedium ist die Differenz zwischen der

physischen Größe des internen Flash-Speichers und der logischen Größe des Speichers, der dem Host zur Verfügung gestellt wird. Alle Flash-Speichermedien besitzen ein gewisses Maß an Overprovisioning -- der interne Flash-Speicher ist grundsätzlich größer als der dem Host zur Verfügung stehende Speicher. Der Speicherbereich, der dem Host nicht zur Verfügung steht, wird für interne Vorgänge wie die Speicherbereinigung (Garbage Collection) und die Speicherung aller internen Verwaltungsstrukturen verwendet. Typischerweise haben SSDs ein Overprovisioning zwischen 7 und 15 %.

2.4 Datenverwaltung und Speicherbereinigung (Garbage Collection)

Um neue Daten in den Flash-Speicher zu schreiben, muss die Firmware des Flash-Speichercontrollers einen gelöschten Flash-Speicherblock zuweisen, in den die Daten geschrieben werden können. Während die Daten vom Host eintreffen, werden sie sequentiell in diesen gelöschten Speicherblock geschrieben. Parallel dazu werden die Verwaltungsstrukturen aktualisiert, um den physischen Speicherort der geschriebenen Daten nachzuverfolgen. Zur Vereinfachung werden in diesem Dokument diese Verwaltungszugriffe nicht berücksichtigt -- es werden nur die Benutzerdaten betrachtet.

Wenn der Host weiterhin Daten auf das Medium schreibt, ist irgendwann der gesamte dem Benutzer zur Verfügung stehende Speicher belegt, und die interne Firmware kann nur noch mit dem überprovisionierten freien Bereich arbeiten. Dieser Zustand wird als Sättigung bezeichnet.

Wenn der Host in diesem Zustand neue Daten schreibt, müssten vorhandene Daten überschrieben werden, da das Medium vollständig beschrieben ist. In dieser Situation weist die Firmware des Flash-Speichercontrollers einen gelöschten Block aus dem Overprovisioning-Bereich zu und schreibt die Daten dorthin. Die zuvor zugewiesene Page für die gerade ge-

schriebene Adresse kann nun verworfen werden. Da Flash-Speicher jedoch nur blockweise gelöscht werden kann, ist dies nicht sofort möglich. Die Controller-Firmware markiert die Daten daher als veraltet und setzt ihre Arbeit fort. Eine Page mit alten, veralteten Daten, die verworfen werden kann, wird typischerweise als *dirty page* bezeichnet.

Wenn der Host weiterhin neue Daten schreibt, erreicht die SSD einen Zustand, in dem auch der Overprovisioning-Bereich nahezu vollständig belegt ist und die Controller-Firmware einen neuen Flash-Block zuweisen muss. Dies geschieht, indem ein Block mit möglichst vielen „dirty pages“ ausgewählt wird, die nicht veralteten Pages in einen neuen Block kopiert und der ursprüngliche Block gelöscht wird. Nun kann der ursprüngliche Block für das Schreiben neuer Daten verwendet werden. Dieser Vorgang wird als *Garbage Collection* bezeichnet. Es ist zu beachten, dass die Effizienz der Garbage Collection von der Anzahl der „dirty pages“ im Block abhängt -- und diese wiederum hängt von der Größe des Overprovisioning-Bereichs und davon ab, wie der Host die Daten überschreibt. Im besten Fall kann ein Block gefunden werden, der vollständig aus „dirty pages“ besteht, sodass nichts kopiert werden muss.

2.5 Schreibverstärkungsfaktor

Der Schreibverstärkungsfaktor (Write Amplification Factor) ist das Verhältnis zwischen der vom Host geschriebenen Datenmenge und der intern im Flash geschriebenen Datenmenge. Wenn eine Schreiboperation sofort ausgeführt werden kann, weil ein gelöschter Flash-Block verfügbar ist, liegt dieser Faktor nahe bei eins. Wird jedoch durch die Schreiboperation eine Garbage-Collection ausgelöst, bei der mehrere Megabyte an Daten intern verschoben werden müssen, bevor die Host-Daten geschrieben werden können, kann der Schreibverstärkungsfaktor für diese Operation sehr hoch sein.

2.6 Trim

Das Löschen einer Datei in einem Dateisystem erfolgte traditionell dadurch, dass lediglich der Eintrag dieser Datei in der Dateisystem-Tabelle gelöscht wurde. Da rotierende Festplatten die Daten vor dem Überschreiben nicht löschen müssen, ist diese Vorgehensweise für sie angemessen. Für Flash-Laufwerke stellt dies jedoch ein Problem dar.

Da der Flash-Speichercontroller das Dateisystem nicht kennt (der Controller arbeitet nur mit Adressen, die Daten enthalten, interpretiert diese Daten jedoch nicht), wird der Bereich, in dem die gelöschte Datei gespeichert war, aus Sicht des Controllers weiterhin als gültige Daten betrachtet. In diesem Fall werden die Flash-Daten der gelöschten Datei nicht als „dirty“ markiert. Sie werden als gültige Daten behandelt und bei der Garbage Collection kopiert, was die Effizienz des Garbage-Collection-Algorithmus erheblich verringert, den Schreibverstärkungsfaktor erhöht und letztlich die Leistung und erwartete Lebensdauer des Laufwerks mindert.

Um dieses Problem zu lösen, verfügen moderne Betriebssysteme und Speicherschnittstellen über Befehle zum Verwerfen alter Daten. Je nach Schnittstelle heißen diese Befehle TRIM oder DISCARD und werden von nahezu allen modernen Betriebssystemen unterstützt.

Es gibt verschiedene Trim-Strategien in unterschiedlichen Betriebssystemen. Einige Betriebssysteme trimmen die durch das Löschen einer Datei freigegebenen Bereiche sofort, andere führen dies als eine tägliche oder wöchentliche Aufgabe aus, indem sie alle freien Bereiche der SSD trimmt.

Ein korrekt konfiguriertes Betriebssystem, das die freien Bereiche eines Flash-Speichermediums ordnungsgemäß trimmt, ist ein entscheidender Faktor zur Verbesserung der Effizienz der Garbage Collection und damit zur Steigerung der Leistung und Lebensdauer einer SSD.

3 SSD-Optimierung

Eine gängige Vorgehensweise in der Produktion, um mehrere Speichermedien mit einem vordefinierten Datensatz (Software und/oder Daten) zu erstellen, besteht darin, ein Master-Medium mit den gewünschten Daten zu verwenden und dieses Medium auf alle anderen Medien bzw. Systeme zu duplizieren.

Es gibt zwei Arten von Werkzeugen bzw. Setups, um eine solche Kopie durchzuführen: intelligente Tools und einfache Duplikatoren.

Ein intelligenter Duplikator kann in der Regel ein Quellmedium auf ein kleineres Zielmedium oder sogar auf ein Medium mit einem anderen Dateisystem kopieren. Diese Tools verstehen das Dateisystem der Quell- und Zielmedien, lesen nur die tatsächlich zu kopierenden Daten und schreiben diese auf das Ziel. Solche Tools verursachen keine Probleme, da sie nur relevante Sektoren kopieren.

Demgegenüber gibt es einfache Duplikatoren, die typischerweise nur dann ein Medium duplizieren können, wenn das Zielmedium genau die gleiche oder eine größere Kapazität als die Quelle besitzt. Im Gegensatz zu den intelligenten Duplikatoren verstehen diese Tools weder das Dateisystem des Ziel- noch des Quellmediums. Sie lesen jeden einzelnen Sektor der Quelle aus und schreiben ihn an genau dieselbe Stelle auf das Ziel, unabhängig davon, was sich in den Dateien befindet oder ob an dieser Adresse gültige Daten vorliegen.

Nach einer solchen Duplikation sehen die logischen Daten auf beiden Medien zwar identisch aus, der interne Zustand der SSDs kann jedoch erheblich variieren. Unabhängig von der Menge an getrimmtem oder ungenutztem Speicherplatz im Quellmedium befindet sich das Zielmedium nach der Duplikation immer im Sättigungszustand, da jede einzelne Adresse des Benutzerbereichs vom Duplikator beschrieben wurde. Abbildung 3 zeigt, wie sich die unterschiedlichen Verfahren auf das Zielmedium auswirken.

Wie bereits erläutert, führt dies zu einer sehr ineffizienten Garbage Collection, einem hohen Schreibverstärkungsfaktor, sehr schlechter Leistung und einer deutlich reduzierten erwarteten

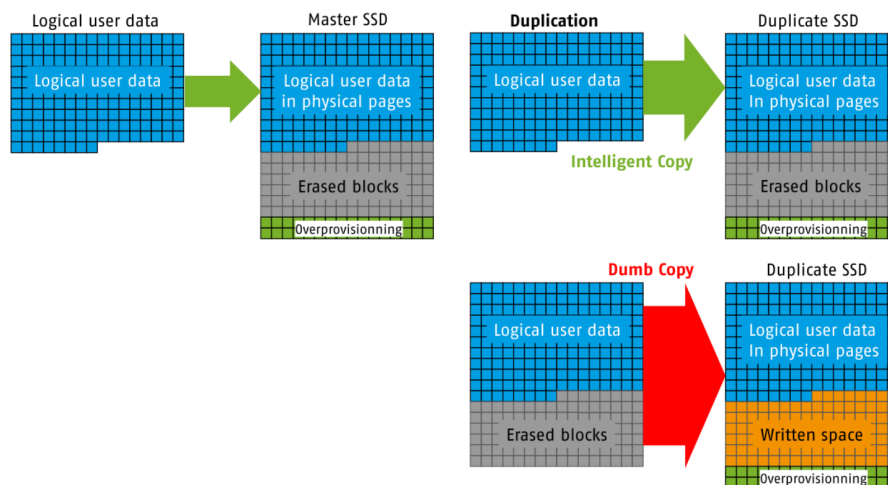


Abbildung 3: Intelligente vs. einfache Duplikation

ten Lebensdauer des Zielmediums.

Selbst wenn Trim vom Zielsystem nach der Duplikation unterstützt wird, wird die Effizienz der Garbage Collection stark beeinträchtigt sein, wenn sich das Medium in diesem Zustand befindet. Die Standard-Trim-Strategie vieler aktueller Betriebssysteme besteht darin, den durch das Löschen einer Datei freigegebenen Speicherplatz zu trimmen, was das Medium jedoch nicht in einen sauberen Zustand zurückversetzt, es sei denn, die Anwendung schreibt und löscht außergewöhnlich große Dateien.

Nach der Duplikation ist ein zusätzlicher Schritt erforderlich, um den ungenutzten Bereich der SSD freizugeben. Der Vorgang hängt vom Betriebssystem des Rechners ab, auf dem dieser Schritt ausgeführt wird.

Unter Windows kann dies erreicht werden durch Ausführen von: **defrag**
Laufwerksbuchstabe: /L in einer Konsole mit Administratorrechten.

Unter Linux: **fstrim /dev/PARTITIONSNAME** auf einer eingehängten Partition erzielt dasselbe Ergebnis.

Um diesen Schritt auszuführen, muss die SSD an einen nativen SATA-/PCIe-/eMMC-/SD-Anschluss des Host-Systems angeschlossen sein. Die Verwendung eines USB-Adapters funktioniert nicht. Bitte beachten Sie, dass die Maschine (und deren Betriebssystem), auf der dieser Schritt ausgeführt wird, nicht das glei-

che System sein muss wie das Zielsystem für die SSD.

Kontaktieren Sie uns

Hauptsitz	Swissbit AG Industriestraße 4 9552 Bronschhofen Schweiz	Tel. +41 71 913 03 03 sales@swissbit.com
Deutschland (Berlin)	Swissbit Germany AG Bitterfelder Straße 22 12681 Berlin Deutschland	Tel. +49 30 936 954 0 sales@swissbit.com
Deutschland (München)	Swissbit Germany AG Leuchtenbergring 3 81677 München Deutschland	Tel. +49 30 936 954 400 sales@swissbit.com
Nord- und Südamerika	Swissbit NA Inc. 238 Littleton Road, Suite 202B Westford, MA 01886 USA	Tel. +1 978-490-3252 salesna@swissbit.com
Japan	Swissbit Japan Co., Ltd. CONCIERIA Tower West 2F 6-20-7 Nishishinjuku Shinjuku City, Tokyo 160-0023 Japan	Tel. +81 3 6258 0521 sales-japan@swissbit.com
Taiwan	Swissbit Taiwan 12 F.-9, No. 268, Liancheng Rd. Zhonghe District New Taipei City 235603 Taiwan, R.O.C.	Tel. +886 912 059 197 salesasia@swissbit.com
China	Swissbit China	Tel. +886 958 922 333 salesasia@swissbit.com

Disclaimer:

The information in this document is subject to change without notice. Swissbit AG ("SWISSBIT") assumes no responsibility for any errors or omissions that may appear in this document, and disclaims responsibility for any consequences resulting from the use of the information set forth herein. SWISSBIT makes no commitments to update or to keep current information contained in this document. The products listed in this document are not suitable for use in applications such as, but not limited to, aircraft control systems, aerospace equipment, submarine cables, nuclear reactor control systems and life support systems. Moreover, SWISSBIT does not recommend or approve the use of any of its products in life support devices or systems or in any application where failure could result in injury or death. If a customer wishes to use SWISSBIT products in applications not intended by SWISSBIT, said customer must contact an authorized SWISSBIT representative to determine SWISSBIT willingness to support a given application. The information set forth in this document does not convey any license under the copyrights, patent rights, trademarks or other intellectual property rights claimed and owned by SWISSBIT.

ALL PRODUCTS SOLD BY SWISSBIT ARE COVERED BY THE PROVISIONS APPEARING IN SWISSBIT'S TERMS AND CONDITIONS OF SALE ONLY, INCLUDING THE LIMITATIONS OF LIABILITY, WARRANTY AND INFRINGEMENT PROVISIONS. SWISSBIT MAKES NO WARRANTIES OF ANY KIND, EXPRESS, STATUTORY, IMPLIED OR OTHERWISE, REGARDING INFORMATION SET FORTH HEREIN OR REGARDING THE FREEDOM OF THE DESCRIBED PRODUCTS FROM INTELLECTUAL PROPERTY INFRINGEMENT, AND EXPRESSLY DISCLAIMS ANY SUCH WARRANTIES INCLUDING WITHOUT LIMITATION ANY EXPRESS, STATUTORY OR IMPLIED WARRANTIES OF MERCHANTABILITY OR FITNESS FOR A PARTICULAR PURPOSE.

© 2025 SWISSBIT AG