

Die grundlegenden Konzepte von Snapper

WAS?

In diesem Artikel werden die grundlegenden Konzepte des Snapper-Tools beschrieben, das zum Erstellen und Verwalten von Btrfs-Dateisystem-Snapshots verwendet wird.

WARUM?

Dieser Artikel bietet einen grundlegenden Überblick über Snapper, die unterstützten Schnittstellen und die wichtigsten Anwendungsbereiche. Er enthält auch Informationen über die Standardeinstellungen für Snapshots in SUSE Linux Enterprise Server.

AUFWAND

Es dauert bis zu 20 Minuten, um Snapper und seine Standardeinrichtung zu verstehen.

ANFORDERUNGEN

- root- oder sudo-Rechte
- Snapper muss installiert werden. Er ist standardmäßig in SUSE Linux Enterprise Server verfügbar.
- Eine Größe der Root-Partition (/) von mindestens 16 GB. Die Größe der Root-Partition hängt vom Produkt ab. Wir empfehlen dringend 50 GB oder mehr.



Anmerkung

Dieser Artikel ist der erste Teil der Artikelserie über Snapper. In den folgenden Artikeln behandeln wir häufige Anwendungsfälle wie das Rückgängigmachen von Änderungen, das Zurücksetzen des Systems, das manuelle Erstellen und Verwalten von Snapshots, die automatische Bereinigung von Snapshots und vieles mehr. Jeder Artikel baut auf dem Wissen aus den vorherigen Artikeln auf und bietet ein schrittweise verbessertes Verständnis des Snapper-Tools.

Veröffentlicht: 11.12.2025

Inhalt

- 1 Grundlegende Konzepte von Btrfs-Subvolumes und Snapshots 3
- 2 Was ist Snapper? 3
- 3 Snapper-Standardeinrichtung 7
- 4 Weitere Informationen 12
- 5 Rechtliche Hinweise 12
- A GNU Free Documentation License 13

1 Grundlegende Konzepte von Btrfs-Subvolumes und Snapshots

Btrfs-Subvolumes sind separat einhängbare Dateisysteme in einer physischen Partition. Das Btrfs-Dateisystem ist standardmäßig mit Subvolumes eingerichtet. Snapshots in Btrfs sind eine Art von Subvolume, das Daten mit einem anderen Subvolume teilt. Sie werden mit den Copy-on-Write-Funktionen von Btrfs erstellt, wodurch sie schnell und mit minimalem Speicherplatzverbrauch erstellt werden können. Snapshots können verwendet werden, um den Zustand eines Dateisystems zu einem bestimmten Zeitpunkt zu erfassen und bei Bedarf auf einen früheren Zustand zurückzusetzen.

Ein Btrfs-Subvolume verfügt über eine eigene, unabhängige Datei- und Verzeichnishierarchie. Im Gegensatz zu logischen LVM-Volumes, die auf Blockebene arbeiten, basieren Btrfs-Subvolumes auf Dateierweiterungen. Ein Snapshot wird auch als Subvolume betrachtet, das den ursprünglichen Inhalt des ursprünglichen Subvolumes enthält. Subvolumes erscheinen als Verzeichnisse und können wie jedes andere Verzeichnis bearbeitet werden, einschließlich Umbenennen oder Verschieben.

Einer der Hauptzwecke von Subvolumes besteht darin, explizit in Snapshots ein- oder ausgeschlossen zu werden. Wenn wir einen Snapshot verwenden, um das System zurückzusetzen, müssen wir sicherstellen, dass Daten wie die Basisverzeichnisse der Benutzer, Web- und FTP-Serverinhalte oder Protokolldateien während eines Rollbacks nicht verloren gehen oder überschrieben werden. Dies wird erreicht, indem bestimmte Btrfs-Subvolumes aus Snapshots ausgeschlossen werden. Weitere Informationen und die Liste der ausgeschlossenen Subvolumes finden Sie unter [Abschnitt 3.3, „Verzeichnisse, die aus Snapshots ausgenommen sind“](#).

2 Was ist Snapper?

Snapper ist ein Tool, mit dem Sie Dateisystem-Snapshots erstellen und verwalten können. Durch Dateisystem-Snapshots kann eine Kopie des Zustands eines Dateisystems zu einem bestimmten Zeitpunkt beibehalten werden. Snapper kann Snapshots erstellen und vergleichen, Snapshots zurücksetzen und automatische Snapshot-Zeitachsen unterstützen. Snapper ändert nie den Inhalt von Snapshots.

Die Standardeinrichtung von Snapper lässt ein Rollback von Systemänderungen zu. Sie können es jedoch auch zum Erstellen von Sicherungen der Benutzerdaten auf Wechseldatenträgern verwenden. Als Grundlage für diese Funktionalität verwendet Snapper zwei Arten von Dateisystemen:

- Btrfs, ein Copy-on-Write-Betriebssystem für Linux, das nativ Dateisystem-Snapshots von Subvolumes unterstützt.
- LVM-Volumes mit Thin Provisioning formatiert mit XFS und ext4.



Anmerkung

Sie können auch von Btrfs-Snapshots booten.

2.1 Funktionsweise von Snapper

Snapper verfügt über eine Befehlszeilenschnittstelle, mit der Sie Snapshots erstellen, löschen und vergleichen sowie zwischen Snapshots vorgenommene Änderungen rückgängig machen können.

Mit Snapper können die folgenden Aufgaben ausgeführt werden:

- Rückgängigmachen von Systemänderungen, die von zypper vorgenommen wurden.
- Dateien aus früheren Snapshots wiederherstellen.
- System-Rollback durch Booten aus einem Snapshot vornehmen.
- Im laufenden System manuell Snapshots erstellen und verwalten.
- Automatische Snapshot-Bereinigung durchführen.

2.2 Typen von Snapshots

Es gibt zwei Aspekte, nach denen Snapshots klassifiziert werden können: nach dem auslösenden Ereignis des Snapshots und nach dem Zeitpunkt der Snapshot-Erstellung.

SNAPSHOT-TYPEN AUF BASIS DER AUSLÖSENDE EREIGNISSE

Die Snapshots an sich unterscheiden sich streng genommen nicht voneinander, werden allerdings dennoch gemäß den Ereignissen, die sie ausgelöst haben, in drei Snapshot-Typen gegliedert.

Installations-Snapshots

Jedes Mal, wenn ein oder mehrere Pakete installiert werden, werden auf diese Weise Snapshots erstellt:

- Snapshot `0 single` ist in Snapper immer vorhanden. Er bezieht sich immer auf den aktuellen Systemzustand, wie er in der Spalte `Description` angegeben ist. Dieser Snapshot erfasst den Zustand des Systems unmittelbar nach Abschluss des Installationsvorgangs.
- Der Snapshot `1 single` für die Root-Partition (`/`) wird automatisch mit dem Namen `first root filesystem` erstellt. Dieser Snapshot wird nach der ersten Reihe von Systemaktualisierungen oder -konfigurationen erstellt.
- Der Snapshot `2 single` wird automatisch mit dem Namen `after installation` erstellt. Dieser Snapshot wird gegen Ende des Installationsprozesses erstellt und als `important` gekennzeichnet. Er stellt den Zustand des Systems dar, nachdem alle anfänglichen Einstellungen abgeschlossen sind.

Alte Snapshots werden automatisch gelöscht. Standardmäßig werden die letzten zehn wichtigen Snapshots und die letzten zehn „normalen“ Snapshots (auch Verwaltungs-Snapshots) beibehalten. Installations-Snapshots sind standardmäßig aktiviert. Um Installations-Snapshots manuell zu deaktivieren, deinstallieren Sie das Paket `snapper-zypp-plugin`.

Verwaltungs-Snapshots

Immer wenn Sie Änderungen am System vornehmen, wird ein Snapshot-Paar erstellt: ein Snapshot vor der Systemänderung („pre“) und ein weiterer nach der Systemänderung („post“). Alte Snapshots werden automatisch gelöscht. Standardmäßig werden die letzten zehn wichtigen Snapshots und die letzten zehn „normalen“ Snapshots (auch Installations-Snapshots) beibehalten. Administrations-Snapshots sind standardmäßig aktiviert.

Zeitleisten-Snapshots

In Abständen von einer Stunde wird ein einzelner Snapshot erstellt. Mit Ausnahme des Root-Dateisystems sind Zeitleisten-Snapshots standardmäßig aktiviert. Die Standardintervalle für Zeitleisten-Snapshots sind stündlich, täglich, wöchentlich, monatlich und jährlich. Um diese Intervalle zu ändern, müssen Benutzer die `systemd`-Timer von Snapper direkt ändern, da dies nicht in Snapper selbst konfiguriert werden kann. Alte Snapshots werden automatisch gelöscht. Standardmäßig wird der erste Snapshot der letzten zehn Tage, Monate und Jahre beibehalten.



Wichtig: Ausnahme für Installations- und Verwaltungs-Snapshot-Typen

Die Snapshot-Typen für Installation und Verwaltung gelten nicht für transaktionale Systeme.



Anmerkung

Zeitleisten- und Verwaltungs-Snapshots können unabhängig voneinander aktiviert oder deaktiviert werden.

SNAPSHOT-TYPEN AUF BASIS DES ZEITPUNKTS DER ERSTELLUNG

Bei Verwaltungs- und Installations-Snapshots erkennt Snapper drei verschiedene Typen: Pre-, Post- und Single-Snapshots. Diese unterscheiden sich physisch nicht, sie werden jedoch in Snapper unterschiedlich behandelt.

pre

Snapshot eines Dateisystems *vor* einer Änderung. Jeder Nachher-Snapshot (pre) entspricht einem Vorher-Snapshot (post). Dies wird beispielsweise für automatische Snapshots verwendet.

post

Snapshot eines Dateisystems *nach* einer Änderung. Jeder Nachher-Snapshot (post) entspricht einem Vorher-Snapshot (pre). Dies wird beispielsweise für automatische Snapshots verwendet.

single

Eigenständiger Snapshot. Dies wird beispielsweise für automatische stündliche Snapshots verwendet. Dies ist der Standardtyp beim Erstellen von Snapshots.

Dies ist die Liste der Snapshots direkt nach einer Neuinstallation eines Systems mit einer Root-Partition > 16 GB:

#	Type	Pre #	Date	User	Used Space	Cleanup	Description
				Userdata			
0	single			root			current

1	single		Thu Mar 24 12:14:34 2022	root	32.44 MiB		first root
	filesystem						
2	single		Thu Mar 24 12:25:55 2022	root	280.40 MiB	number	after
	installation						
			important=yes				
45	pre		Mon Apr 25 17:58:45 2022	root	27.52 MiB	number	
	zypp(zypper)						
			important=yes				
46	post	45	Mon Apr 25 18:00:07 2022	root	39.04 MiB	number	
			important=yes				

2.3 Erstellen von Snapshots

Beim Erstellen eines Snapshots verweisen sowohl der Snapshot als auch das Original auf dieselben Blöcke im Dateisystem. Zunächst belegt ein Snapshot also keinen zusätzlichen Speicherplatz auf der Festplatte. Werden Daten im Original-Dateisystem bearbeitet, so werden die geänderten Datenblöcke kopiert, und die alten Datenblöcke werden im Snapshot beibehalten. Der Snapshot belegt daher dieselbe Speicherplatzmenge wie die geänderten Daten. Im Lauf der Zeit wächst der Speicherplatzbedarf eines Snapshots somit an. Wenn Sie also Dateien aus einem Btrfs-Dateisystem löschen, auf dem sich Snapshots befinden, wird unter Umständen *kein* Speicherplatz freigegeben.



Anmerkung: Position der Snapshots

Snapshots befinden sich stets auf der Partition oder dem Subvolume, auf dem der Snapshot aufgenommen wurde. Es ist nicht möglich, Snapshots auf einem anderen Dateisystem zu speichern.

Folglich müssen Partitionen mit Snapshots größer sein als Partitionen ohne Snapshots. Die genaue Speichermenge ist dabei stark abhängig von der Anzahl der Snapshots und vom Umfang der Änderungen an den Daten. Als Faustregel sollten Sie für diese Partitionen doppelt so viel Speicherplatz vorsehen wie normalerweise. Um zu verhindern, dass es zu wenig Speicherplatz gibt, werden alte Snapshots automatisch bereinigt.

3 Snapper-Standardeinrichtung

Erfahren Sie mehr über die Standardkonfiguration von Snapper und die Standardeinstellungen.

Snapper wird als Werkzeug zum Rückgängigmachen und Wiederherstellen von Systemänderungen eingerichtet. Standardmäßig ist die Root-Partition (/) von SUSE Linux Enterprise Server mit `Btrfs` formatiert. Das Erstellen von Snapshots wird automatisch aktiviert, wenn die root-Partition (/) groß genug ist (mehr als ca. 16 GB). Snapshots auf anderen Partitionen als / werden standardmäßig deaktiviert.

Wichtig

Es wird nicht empfohlen, Snapshots manuell zu aktivieren, nachdem das System mit Snapshots installiert wurde. Das Aktivieren von Snapper nach der Installation führt zu einer anderen Einrichtung als hier beschrieben.

Tipp: Überprüfen der Größe der Root-Partition

Die Größe der Root-Partition ist produktspezifisch. Um den Speicherplatz zu ermitteln, den die Root-Partition belegt, führen Sie Folgendes aus:

```
> df -h
```

3.1 Snapper-StandardEinstellungen

Standardmäßig wird Snapper in SUSE Linux Enterprise Server bei der Systeminstallation automatisch konfiguriert, wenn die folgenden Voraussetzungen erfüllt sind:

- Größe der Root-Partition: > 16 GB
- Dateisystem der Root-Partition: `Btrfs`

Snapshots werden nur für die Root-Partition erstellt, und bestimmte Verzeichnisse werden mithilfe von Subvolumes ausgeschlossen. Eine Liste der ausgeschlossenen Subvolumes finden Sie unter [Abschnitt 3.3, „Verzeichnisse, die aus Snapshots ausgenommen sind“](#). Ausführliche Informationen über die Arten von Snapshots, den Zeitpunkt und den Anlässen ihrer Erstellung finden Sie unter [Abschnitt 2.2, „Typen von Snapshots“](#).

Snapper bietet automatische Snapshot-Bereinigungsalgorithmen, um zu verhindern, dass der Speicherplatz auf der Root-Partition knapp wird. Diese Algorithmen unterscheiden zwischen Zeitleisten-Snapshots und *nummerierten* Snapshots (Snapshot-Paare aus Verwaltung plus Installation). Das Bereinigungsverhalten kann basierend auf den folgenden Kriterien konfiguriert werden:

- **Begrenzte Anzahl:** Das System kann so eingestellt werden, dass alte Snapshots automatisch gelöscht werden, wenn eine bestimmte Anzahl von Snapshots erreicht ist.
- **Altersgrenze:** Alte Snapshots können gelöscht werden, wenn sie ein bestimmtes Alter überschreiten, wobei eine Anzahl von Snapshots für jeden Zeitraum (stündlich, täglich, monatlich, jährlich) beibehalten wird.
- **Snapshot-Paare aus Pre und post:** Snapshot-Paare aus pre und post, die sich nicht unterscheiden, können automatisch gelöscht werden.

Bei nummerierten Snapshots, die Snapshot-Paare aus Verwaltung und Installation enthalten, wird die Bereinigung durch Parameter wie `NUMBER_CLEANUP`, `NUMBER_LIMIT`, `NUMBER_LIMIT_IMPORTANT` und `NUMBER_MIN_AGE` gesteuert. Die Standardwerte sind 2–10 für `NUMBER_LIMIT` und 4–10 für `NUMBER_LIMIT_IMPORTANT`, was bedeutet, dass nur die jüngsten Snapshots aufbewahrt werden.

Bei Snapshots auf der Zeitachse basiert die Bereinigung auf der Anzahl der Snapshots, die für jeden Typ aufbewahrt werden sollen (stündlich, täglich, wöchentlich, monatlich, jährlich). Zum Beispiel die letzten 24 stündlichen Snapshots, der erste tägliche Snapshot der letzten sieben Tage, der erste Snapshot der letzten zwölf Monate am letzten Tag des Monats usw. Zu den Parametern gehören `TIMELINE_CLEANUP`, `TIMELINE_MIN_AGE` sowie Intervallparameter wie `TIMELINE_LIMIT_DAILY`, `TIMELINE_LIMIT_HOURLY` und so weiter.

Sie können jederzeit auf einen vorhandenen Snapshot zurücksetzen, indem Sie von dem jeweiligen Snapshot booten und ihn anschließend aktivieren.



Anmerkung: Automatisches und manuelles Deaktivieren von Snapper

Wenn Ihre Root-Partition kleiner als 16 GB ist, ist die automatische Erstellung von Snapshots wie oben beschrieben standardmäßig deaktiviert. In diesem Fall können Sie Snapshots manuell erstellen. Behalten Sie den verfügbaren Speicherplatz im Auge.

Um automatische Snapshots zu deaktivieren, auch wenn Ihre Root-Partition ausreichend groß ist, deaktivieren Sie Snapshots manuell während der Installation im Schritt „Partitionseinrichtung“.

3.2 Snapper in der Root-Partition

Wenn Snapper für den Betrieb in der Root-Partition konfiguriert ist, wird jedes Btrfs-Subvolume standardmäßig ausgeschlossen.

Das Standardverhalten von Snapper ist in je einer Konfigurationsdatei pro Partition und Btrfs-Subvolume definiert. Diese Konfigurationsdateien sind unter /etc/snapper/configs/ gespeichert.



Warnung: Aktivieren von Snapper im installierten System

Wenn Sie Snapper während der Installation deaktiviert haben, können Sie dies später wieder aktivieren. Die Aktivierung von Snapper nach der Installation führt jedoch unter anderem zu Unterschieden in Bezug auf das Layout der Subvolumes und die Variablen. Wir empfehlen dringend, vor Beginn der Installation zu entscheiden, ob Sie Snapshots in Ihrem System benötigen.

3.3 Verzeichnisse, die aus Snapshots ausgenommen sind

Der primäre Anwendungsfall für Snapshots besteht darin, das System auf einen früheren Zustand zurückzusetzen. Daher gibt es bestimmte Subvolumes (Verzeichnisse), für die die Erstellung von Snapshots deaktiviert ist.

Die folgende Liste enthält Verzeichnisse, die von Snapshots ausgeschlossen sind. Abhängig von Ihrem Produkt und Ihrer Architektur sind möglicherweise nicht alle auf Ihrem System verfügbar.

/boot/grub2/i386-pc, /boot/grub2/x86_64-efi, /boot/grub2/powerpc-ieee1275, /boot/grub2/s390x-emu

Ein Rollback der Bootloader-Konfiguration wird nicht unterstützt. Die obigen Verzeichnisse sind abhängig von der Architektur. Die ersten beiden Verzeichnisse gelten für AMD64-/Intel 64-Computer und die letzten beiden Verzeichnisse für IBM POWER bzw. für IBM Z.

/home

Wenn sich /home nicht auf einer separaten Partition befindet, wird es ausgeschlossen, damit bei einem Rollback keine von Benutzern erstellte Daten verloren gehen.

/opt, /usr/local

Diese Verzeichnisse werden bei der manuellen Installation von Produkten von Drittanbietern verwendet. Sie werden ausgeschlossen, damit die betreffenden Installationen bei einem Rollback nicht deinstalliert werden.

/srv

Enthält Daten für Web- und FTP-Server. Ausgeschlossen, damit bei einem Rollback kein Datenverlust eintritt.

/tmp

Alle Verzeichnisse, die temporäre Dateien und Caches enthalten, werden aus den Snapshots ausgeschlossen.

/var

Dieses Verzeichnis enthält viele Variablendateien, einschließlich Protokollen, temporärer Caches und Drittanbieterprodukten in /var/opt. Es ist der Standardspeicherort für Images und Datenbanken von virtuellen Maschinen. Daher wird dieses Subvolume so erstellt, dass alle Variablendaten von Snapshots ausgeschlossen werden und Copy-on-Write deaktiviert ist.

/run

Dieses Verzeichnis enthält Anwendungslaufzeitdaten und wird von Snapshots ausgeschlossen, um die Größe des Snapshots zu verringern und zu verhindern, dass potenziell vertrauliche Informationen enthalten sind.



Tipp

Die Liste der Subvolumes ist produktspezifisch. Um zu sehen, welche Subvolumes unter / erstellt werden und welche Verzeichnisse vom Standard-Snapshot-Verhalten ausgeschlossen sind, führen Sie Folgendes aus:

```
> sudo btrfs subvolume list /
```



Anmerkung: Warum ist der Speicherplatz begrenzt?

Beim Erstellen eines Snapshots werden keine physischen Datenkopien erstellt. Ein Snapshot besteht nur aus Zeigern auf die jeweiligen Datenblöcke. Solange der Snapshot mit dem aktuellen System konsistent bleibt, belegt er fast keinen zusätzlichen Speicherplatz (abgesehen von den darin enthaltenen Metadaten). Wenn jedoch eine Datei auf dem System geändert wird, werden die ursprünglichen Daten im Snapshot aufgezeichnet. Im Laufe der Zeit, wenn sich weitere Änderungen ansammeln und der Snapshot vom Live-System abweicht, nimmt die Größe des Snapshots entsprechend zu.

Um zu verhindern, dass Datenträger voll laufen (und das System dadurch nicht mehr funktioniert), empfehlen wir eine minimale Größe des Root-Dateisystems. Die erforderliche Größe hängt von der Systemauslastung ab:

- Die Häufigkeit der Erstellung von Snapshots
- Die Aufbewahrungsdauer von Snapshots
- Die Geschwindigkeit der Änderungen am System

Im Allgemeinen gilt: Je mehr Snapshots Sie haben, desto länger werden sie aufbewahrt, und je häufiger sich das System ändert, desto größer muss die Root-Partition sein.

4 Weitere Informationen


Weitere Informationen zum Btrfs-Dateisystem finden Sie unter <https://documentation.suse.com/sles/15-SP5/html/SLES-all/cha-file-systems.html#sec-file-systems-major-btrfs> und <https://wiki.archlinux.org/title/btrfs>.

Weitere Informationen zu LVM-Volumes finden Sie unter <https://documentation.suse.com/sles/15-SP5/html/SLES-all/part-lvm.html>.

5 Rechtliche Hinweise

Copyright © 2006–2025, SUSE LLC und Mitwirkende. Alle Rechte vorbehalten.

Es wird die Genehmigung erteilt, dieses Dokument unter den Bedingungen der GNU Free Documentation License, Version 1.2 oder (optional) Version 1.3 zu vervielfältigen, zu verbreiten und/oder zu verändern; die unveränderlichen Abschnitte hierbei sind der Urheberrechtshinweis und die Lizenzbedingungen. Eine Kopie dieser Lizenz (Version 1.2) finden Sie in Abschnitt „GNU Free Documentation License“.

Die SUSE Marken finden Sie in <https://www.suse.com/company/legal/> . Alle anderen Marken von Drittanbietern sind Besitz ihrer jeweiligen Eigentümer. Markensymbole (®, ™ usw.) kennzeichnen Marken von SUSE und ihren Tochtergesellschaften. Sternchen (*) kennzeichnen Marken von Drittanbietern.

Alle Informationen in diesem Buch wurden mit größter Sorgfalt zusammengestellt. Auch hierdurch kann jedoch keine hundertprozentige Richtigkeit gewährleistet werden. Weder SUSE LLC noch ihre Tochtergesellschaften noch die Autoren noch die Übersetzer können für mögliche Fehler und deren Folgen haftbar gemacht werden.

A GNU Free Documentation License

Copyright (C) 2000, 2001, 2002 Free Software Foundation, Inc. 51 Franklin St, Fifth Floor, Boston, MA 02110-1301 USA. Everyone is permitted to copy and distribute verbatim copies of this license document, but changing it is not allowed.

0. PREAMBLE

The purpose of this License is to make a manual, textbook, or other functional and useful document “free” in the sense of freedom: to assure everyone the effective freedom to copy and redistribute it, with or without modifying it, either commercially or non-commercially. Secondly, this License preserves for the author and publisher a way to get credit for their work, while not being considered responsible for modifications made by others.

This License is a kind of “copyleft”, which means that derivative works of the document must themselves be free in the same sense. It complements the GNU General Public License, which is a copyleft license designed for free software.

We have designed this License to use it for manuals for free software, because free software needs free documentation: a free program should come with manuals providing the same freedoms that the software does. But this License is not limited to software manuals; it can be used for any textual work, regardless of subject matter or whether it is published as a printed book. We recommend this License principally for works whose purpose is instruction or reference.

1. APPLICABILITY AND DEFINITIONS

This License applies to any manual or other work, in any medium, that contains a notice placed by the copyright holder saying it can be distributed under the terms of this License. Such a notice grants a world-wide, royalty-free license, unlimited in duration, to use that work under the conditions stated herein. The “Document”, below, refers to any such manual or work. Any member of the public is a licensee, and is addressed as “you”. You accept the license if you copy, modify or distribute the work in a way requiring permission under copyright law.

A “Modified Version” of the Document means any work containing the Document or a portion of it, either copied verbatim, or with modifications and/or translated into another language.

A “Secondary Section” is a named appendix or a front-matter section of the Document that deals exclusively with the relationship of the publishers or authors of the Document to the Document's overall subject (or to related matters) and contains nothing that could fall directly within that overall subject. (Thus, if the Document is in part a textbook of mathematics, a Secondary Section may not explain any mathematics.) The relationship could be a matter of historical connection with the subject or with related matters, or of legal, commercial, philosophical, ethical or political position regarding them.

The “Invariant Sections” are certain Secondary Sections whose titles are designated, as being those of Invariant Sections, in the notice that says that the Document is released under this License. If a section does not fit the above definition of Secondary then it is not allowed to be designated as Invariant. The Document may contain zero Invariant Sections. If the Document does not identify any Invariant Sections then there are none.

The “Cover Texts” are certain short passages of text that are listed, as Front-Cover Texts or Back-Cover Texts, in the notice that says that the Document is released under this License. A Front-Cover Text may be at most 5 words, and a Back-Cover Text may be at most 25 words.

A “Transparent” copy of the Document means a machine-readable copy, represented in a format whose specification is available to the general public, that is suitable for revising the document straightforwardly with generic text editors or (for images composed of pixels) generic paint programs or (for drawings) some widely available drawing editor, and that is suitable for input

to text formatters or for automatic translation to a variety of formats suitable for input to text formatters. A copy made in an otherwise Transparent file format whose markup, or absence of markup, has been arranged to thwart or discourage subsequent modification by readers is not Transparent. An image format is not Transparent if used for any substantial amount of text. A copy that is not “Transparent” is called “Opaque”.

Examples of suitable formats for Transparent copies include plain ASCII without markup, Texinfo input format, LaTeX input format, SGML or XML using a publicly available DTD, and standard-conforming simple HTML, PostScript or PDF designed for human modification. Examples of transparent image formats include PNG, XCF and JPG. Opaque formats include proprietary formats that can be read and edited only by proprietary word processors, SGML or XML for which the DTD and/or processing tools are not generally available, and the machine-generated HTML, PostScript or PDF produced by some word processors for output purposes only.

The “Title Page” means, for a printed book, the title page itself, plus such following pages as are needed to hold, legibly, the material this License requires to appear in the title page. For works in formats which do not have any title page as such, “Title Page” means the text near the most prominent appearance of the work's title, preceding the beginning of the body of the text.

A section “Entitled XYZ” means a named subunit of the Document whose title either is precisely XYZ or contains XYZ in parentheses following text that translates XYZ in another language. (Here XYZ stands for a specific section name mentioned below, such as “Acknowledgements”, “Dedications”, “Endorsements”, or “History”.) To “Preserve the Title” of such a section when you modify the Document means that it remains a section “Entitled XYZ” according to this definition.

The Document may include Warranty Disclaimers next to the notice which states that this License applies to the Document. These Warranty Disclaimers are considered to be included by reference in this License, but only as regards disclaiming warranties: any other implication that these Warranty Disclaimers may have is void and has no effect on the meaning of this License.

2. VERBATIM COPYING

You may copy and distribute the Document in any medium, either commercially or non-commercially, provided that this License, the copyright notices, and the license notice saying this License applies to the Document are reproduced in all copies, and that you add no other conditions whatsoever to those of this License. You may not use technical measures to obstruct or control the reading or further copying of the copies you make or distribute. However, you may accept compensation in exchange for copies. If you distribute a large enough number of copies you must also follow the conditions in section 3.

You may also lend copies, under the same conditions stated above, and you may publicly display copies.

3. COPYING IN QUANTITY

If you publish printed copies (or copies in media that commonly have printed covers) of the Document, numbering more than 100, and the Document's license notice requires Cover Texts, you must enclose the copies in covers that carry, clearly and legibly, all these Cover Texts: Front-Cover Texts on the front cover, and Back-Cover Texts on the back cover. Both covers must also clearly and legibly identify you as the publisher of these copies. The front cover must present the full title with all words of the title equally prominent and visible. You may add other material on the covers in addition. Copying with changes limited to the covers, as long as they preserve the title of the Document and satisfy these conditions, can be treated as verbatim copying in other respects.

If the required texts for either cover are too voluminous to fit legibly, you should put the first ones listed (as many as fit reasonably) on the actual cover, and continue the rest onto adjacent pages.

If you publish or distribute Opaque copies of the Document numbering more than 100, you must either include a machine-readable Transparent copy along with each Opaque copy, or state in or with each Opaque copy a computer-network location from which the general network-using public has access to download using public-standard network protocols a complete Transparent copy of the Document, free of added material. If you use the latter option, you must take reasonably prudent steps, when you begin distribution of Opaque copies in quantity, to ensure that this Transparent copy will remain thus accessible at the stated location until at least one year after the last time you distribute an Opaque copy (directly or through your agents or retailers) of that edition to the public.

It is requested, but not required, that you contact the authors of the Document well before redistributing any large number of copies, to give them a chance to provide you with an updated version of the Document.

4. MODIFICATIONS

You may copy and distribute a Modified Version of the Document under the conditions of sections 2 and 3 above, provided that you release the Modified Version under precisely this License, with the Modified Version filling the role of the Document, thus licensing distribution and modification of the Modified Version to whoever possesses a copy of it. In addition, you must do these things in the Modified Version:

- A. Use in the Title Page (and on the covers, if any) a title distinct from that of the Document, and from those of previous versions (which should, if there were any, be listed in the History section of the Document). You may use the same title as a previous version if the original publisher of that version gives permission.
- B. List on the Title Page, as authors, one or more persons or entities responsible for authorship of the modifications in the Modified Version, together with at least five of the principal authors of the Document (all of its principal authors, if it has fewer than five), unless they release you from this requirement.
- C. State on the Title page the name of the publisher of the Modified Version, as the publisher.
- D. Preserve all the copyright notices of the Document.
- E. Add an appropriate copyright notice for your modifications adjacent to the other copyright notices.
- F. Include, immediately after the copyright notices, a license notice giving the public permission to use the Modified Version under the terms of this License, in the form shown in the Addendum below.
- G. Preserve in that license notice the full lists of Invariant Sections and required Cover Texts given in the Document's license notice.
- H. Include an unaltered copy of this License.
- I. Preserve the section Entitled “History”, Preserve its Title, and add to it an item stating at least the title, year, new authors, and publisher of the Modified Version as given on the Title Page. If there is no section Entitled “History” in the Document, create one stating the title, year, authors, and publisher of the Document as given on its Title Page, then add an item describing the Modified Version as stated in the previous sentence.

- J. Preserve the network location, if any, given in the Document for public access to a Transparent copy of the Document, and likewise the network locations given in the Document for previous versions it was based on. These may be placed in the “History” section. You may omit a network location for a work that was published at least four years before the Document itself, or if the original publisher of the version it refers to gives permission.
- K. For any section Entitled “Acknowledgements” or “Dedications”, Preserve the Title of the section, and preserve in the section all the substance and tone of each of the contributor acknowledgements and/or dedications given therein.
- L. Preserve all the Invariant Sections of the Document, unaltered in their text and in their titles. Section numbers or the equivalent are not considered part of the section titles.
- M. Delete any section Entitled “Endorsements”. Such a section may not be included in the Modified Version.
- N. Do not retitle any existing section to be Entitled “Endorsements” or to conflict in title with any Invariant Section.
- O. Preserve any Warranty Disclaimers.

If the Modified Version includes new front-matter sections or appendices that qualify as Secondary Sections and contain no material copied from the Document, you may at your option designate some or all of these sections as invariant. To do this, add their titles to the list of Invariant Sections in the Modified Version's license notice. These titles must be distinct from any other section titles.

You may add a section Entitled “Endorsements”, provided it contains nothing but endorsements of your Modified Version by various parties--for example, statements of peer review or that the text has been approved by an organization as the authoritative definition of a standard.

You may add a passage of up to five words as a Front-Cover Text, and a passage of up to 25 words as a Back-Cover Text, to the end of the list of Cover Texts in the Modified Version. Only one passage of Front-Cover Text and one of Back-Cover Text may be added by (or through arrangements made by) any one entity. If the Document already includes a cover text for the same cover, previously added by you or by arrangement made by the same entity you are acting on behalf of, you may not add another; but you may replace the old one, on explicit permission from the previous publisher that added the old one.

The author(s) and publisher(s) of the Document do not by this License give permission to use their names for publicity for or to assert or imply endorsement of any Modified Version.

5. COMBINING DOCUMENTS

You may combine the Document with other documents released under this License, under the terms defined in section 4 above for modified versions, provided that you include in the combination all of the Invariant Sections of all of the original documents, unmodified, and list them all as Invariant Sections of your combined work in its license notice, and that you preserve all their Warranty Disclaimers.

The combined work need only contain one copy of this License, and multiple identical Invariant Sections may be replaced with a single copy. If there are multiple Invariant Sections with the same name but different contents, make the title of each such section unique by adding at the end of it, in parentheses, the name of the original author or publisher of that section if known, or else a unique number. Make the same adjustment to the section titles in the list of Invariant Sections in the license notice of the combined work.

In the combination, you must combine any sections Entitled “History” in the various original documents, forming one section Entitled “History”; likewise combine any sections Entitled “Acknowledgements”, and any sections Entitled “Dedications”. You must delete all sections Entitled “Endorsements”.

6. COLLECTIONS OF DOCUMENTS

You may make a collection consisting of the Document and other documents released under this License, and replace the individual copies of this License in the various documents with a single copy that is included in the collection, provided that you follow the rules of this License for verbatim copying of each of the documents in all other respects.

You may extract a single document from such a collection, and distribute it individually under this License, provided you insert a copy of this License into the extracted document, and follow this License in all other respects regarding verbatim copying of that document.

7. AGGREGATION WITH INDEPENDENT WORKS

A compilation of the Document or its derivatives with other separate and independent documents or works, in or on a volume of a storage or distribution medium, is called an “aggregate” if the copyright resulting from the compilation is not used to limit the legal rights of the compilation's users beyond what the individual works permit. When the Document is included in an aggregate, this License does not apply to the other works in the aggregate which are not themselves derivative works of the Document.

If the Cover Text requirement of section 3 is applicable to these copies of the Document, then if the Document is less than one half of the entire aggregate, the Document's Cover Texts may be placed on covers that bracket the Document within the aggregate, or the electronic equivalent of covers if the Document is in electronic form. Otherwise they must appear on printed covers that bracket the whole aggregate.

8. TRANSLATION

Translation is considered a kind of modification, so you may distribute translations of the Document under the terms of section 4. Replacing Invariant Sections with translations requires special permission from their copyright holders, but you may include translations of some or all Invariant Sections in addition to the original versions of these Invariant Sections. You may include a translation of this License, and all the license notices in the Document, and any Warranty Disclaimers, provided that you also include the original English version of this License and the original versions of those notices and disclaimers. In case of a disagreement between the translation and the original version of this License or a notice or disclaimer, the original version will prevail. If a section in the Document is Entitled “Acknowledgements”, “Dedications”, or “History”, the requirement (section 4) to Preserve its Title (section 1) will typically require changing the actual title.

9. TERMINATION

You may not copy, modify, sublicense, or distribute the Document except as expressly provided for under this License. Any other attempt to copy, modify, sublicense or distribute the Document is void, and will automatically terminate your rights under this License. However, parties who have received copies, or rights, from you under this License will not have their licenses terminated so long as such parties remain in full compliance.

10. FUTURE REVISIONS OF THIS LICENSE

The Free Software Foundation may publish new, revised versions of the GNU Free Documentation License from time to time. Such new versions will be similar in spirit to the present version, but may differ in detail to address new problems or concerns. See <https://www.gnu.org/copyleft/>.

Each version of the License is given a distinguishing version number. If the Document specifies that a particular numbered version of this License “or any later version” applies to it, you have the option of following the terms and conditions either of that specified version or of any later version that has been published (not as a draft) by the Free Software Foundation. If the Document does not specify a version number of this License, you may choose any version ever published (not as a draft) by the Free Software Foundation.

ADDENDUM: How to use this License for your documents

```
Copyright (c) YEAR YOUR NAME.  
Permission is granted to copy, distribute and/or modify this document  
under the terms of the GNU Free Documentation License, Version 1.2  
or any later version published by the Free Software Foundation;  
with no Invariant Sections, no Front-Cover Texts, and no Back-Cover Texts.  
A copy of the license is included in the section entitled “GNU  
Free Documentation License”.
```

If you have Invariant Sections, Front-Cover Texts and Back-Cover Texts, replace the “with... Texts” line with this:

```
with the Invariant Sections being LIST THEIR TITLES, with the  
Front-Cover Texts being LIST, and with the Back-Cover Texts being LIST.
```

If you have Invariant Sections without Cover Texts, or some other combination of the three, merge those two alternatives to suit the situation.

If your document contains nontrivial examples of program code, we recommend releasing these examples in parallel under your choice of free software license, such as the GNU General Public License, to permit their use in free software.