

# ZFS

Siste ord innen filsystemer

Trond Endrestøl


Fagskolen Innlandet, IT-avdelingen

23. februar 2014

## Foredragets filer I

- Filene til foredraget er tilgjengelig gjennom:
  - Subversion: `svn co svn://svn.ximalas.info/zfs-foredrag`
  - Web: [svnweb.ximalas.info/zfs-foredrag](http://svnweb.ximalas.info/zfs-foredrag)
  - Begge metodene er tilgjengelig med både IPv4 og IPv6
- `zfs-foredrag.foredrag.pdf` vises på lerretet
- `zfs-foredrag.handout.pdf` er mye bedre for publikum å se på
- `zfs-foredrag.handout.2on1.pdf` og `zfs-foredrag.handout.4on1.pdf` er begge velegnet til utskrift
- `*.169.pdf`-filene er i 16:9-format
- `*.1610.pdf`-filene er i 16:10-format

## Foredragets filer II

- Foredraget er mekket ved hjelp av [GNU Emacs](#), [AUCTeX](#), [pdfTeX](#) fra [MiKTeX](#), [L<sup>A</sup>T<sub>E</sub>X](#)-dokumentklassa [beamer](#), [Subversion](#), [TortoiseSVN](#) og [Adobe Reader](#)
- Hovedfila bærer denne identifikasjonen:  
`$Ximalas: trunk/zfs-foredrag.tex 12 2014-02-23 12:56:54Z trond $`
- Driverfila for denne PDF-fila bærer denne identifikasjonen:  
`$Ximalas: trunk/zfs-foredrag.handout.4on1.169.tex 3 2013-12-23 13:42:53Z trond $`
- Copyright © 2014 Trond Endrestøl
- Dette verket er lisensiert med: [Creative Commons](#), [Navngivelse-DelPåSammeVilkår 3.0 Norge](#) (CC BY-SA 3.0) 

## Oversikt over hele foredraget

Del 1: Lagringssystemer

- 1 Hva kan et lagringssystem bestå av?
- 2 Hva kan gå galt i et lagringssystem?
- 3 Hvor kan det gå galt i et lagringssystem?

## Oversikt over hele foredraget

### Del 2: ZFS?

- 4 Hva er ZFS?
- 5 Et eksempel på en pool
- 6 Et eksempel på filsystemer i ZFS
- 7 Et annet eksempel på filsystemer i ZFS
- 8 Hva er grensene til ZFS?
- 9 Hvordan virker ZFS?
- 10 ZFS og RAID-kontrollere
- 11 Hvor kommer ZFS fra?
- 12 Versjonsnummer i ZFS
  - Pool-versjonsnummer
  - Filsystem-versjonsnummer
- 13 Fremtiden for ZFS?

## Oversikt over hele foredraget

### Del 3: ZFS!

- 14 Administrasjon av ZFS
  - zpool
  - zfs
- 15 Oppretting av pooler
  - Enkle pool-eksempler
  - Avanserte pool-eksempler
- 16 zpool-egenskaper
- 17 zfs-egenskaper

## Oversikt over hele foredraget

### Del 4: Oppstartsmiljøer

## Del I

### Lagringssystemer

## Oversikt over del 1: Lagringssystemer

- 1 Hva kan et lagringssystem bestå av?
- 2 Hva kan gå galt i et lagringssystem?
- 3 Hvor kan det gå galt i et lagringssystem?

## Hva kan et lagringssystem bestå av?

### Enkel server med innebygget lagring

- 1 Strømforsyning
- 2 Strømkabler
- 3 Harddisker
- 4 Firmware i harddisker
- 5 I/O-kabler
- 6 Harddiskkontroller integrert i/tilkoblet hovedkortet
- 7 Firmware i harddiskkontroller
- 8 Hovedkort og dets kobberbaner
- 9 South bridge
- 10 DMA-kontroller på hovedkortet
- 11 Arbeidsminne tilkoblet hovedkortet
- 12 CPU

### Avansert server med ekstern lagring

- 1 Strømforsyning
- 2 Strømkabler
- 3 Harddisker montert i diskhyller
- 4 Firmware i harddisker
- 5 I/O-kabler
- 6 Harddiskkontroller
- 7 Firmware i harddiskkontrolleren
- 8 Grensesnitt i harddiskkontrolleren for ekstern I/O
- 9 Kabler for ekstern I/O (og kanskje en superrask switch)
- 10 Grensesnitt for ekstern I/O tilkoblet hovedkortet
- 11 Hovedkort og dets kobberbaner
- 12 South bridge
- 13 DMA-kontroller på hovedkortet
- 14 Arbeidsminne tilkoblet hovedkortet
- 15 CPU

## Hva kan gå galt i et lagringssystem?

- Data som en gang ble lagret, avleses senere som noe helt annet

## Hvor kan det gå galt i et lagringssystem? I

- Kort sagt: overalt

## Hvor kan det gå galt i et lagringssystem? II

- 1 Strømforsyningen
  - Underdimensjonert; lavere spenning/strøm til øvrige komponenter; uttørkede elektrolyttkondensatorer; utilstrekkelig avkjøling
- 2 Strømkabel mellom strømforsyning og harddisk
  - Vakkell i kontaktene; (begynnende) brudd i lederne
- 3 Harddisk
  - Slitasje på indre deler; programmeringsfeil i firmware; vibrasjoner; lese fra/skrive til feil diskblokk
- 4 I/O-kabel mellom harddisk og harddiskkontroller
  - Vakkell i kontaktene; (begynnende) brudd i lederne
- 5 Harddiskkontroller
  - Programmeringsfeil i firmware
- 6 Grensesnittet mellom harddiskkontroller og hovedkort
  - Vakkell i PCIe-kontakt

## Hvor kan det gå galt i et lagringssystem? III

- 7 Kobberbanene i hovedkortet
    - (Begynnende) brudd etter ESD-skade, utilstrekkelig avkjøling
  - 8 Grensesnitt mellom DMA-kontroller og hovedkort
    - Se kobberbanene i hovedkortet
  - 9 Grensesnitt mellom hovedkort og arbeidsminne
    - Vakkell i soklene
  - 10 Arbeidsminne
    - ESD-skade; kosmisk stråling; alfapartikler fra radioaktiv forurensning i IC-innkapslingen
- Hvor mange muligheter ble dette?
  - Hvor mange harddisker har du i dine systemer?
  - Har du kontrollen?

## Del II

## ZFS?

## Oversikt over del 2: ZFS?

- 4 Hva er ZFS?
- 5 Et eksempel på en pool
- 6 Et eksempel på filsystemer i ZFS
- 7 Et annet eksempel på filsystemer i ZFS
- 8 Hva er grensene til ZFS?
- 9 Hvordan virker ZFS?
- 10 ZFS og RAID-kontrollere
- 11 Hvor kommer ZFS fra?
- 12 Versjonsnummer i ZFS
  - Pool-versjonsnummer
  - Filsystem-versjonsnummer
- 13 Fremtiden for ZFS?

## Hva er ZFS?

- ZFS er
  - 1 Logisk volumhåndterer («Logical Volume Manager», LVM)
  - 2 Filsystem med bl.a. snapshots, kloner, kompresjon og deduplisering
  - 3 Tilbyr også «zvolumer» som lagringsenheter for andre filsystemer
- ZFS tar
  - Dataintegritet på alvor
  - Deretter brukervennlighet (for administratorer)
  - Hastighet kommer i senere rekke
- ZFS er langt enklere enn «Storage Spaces» i Microsoft Windows Server 2012

## Hva er ZFS?

- Tradisjonelt oppsett av Storage Spaces
  - Velge ut harddisker og opprette en pool
  - Opprette et volum med ønsket størrelse og lagringsform
    - striping
    - speiling, eller
    - RAID 5
  - Opprette *ett* filsystem på volumet
    - NTFS
    - ReFS
  - Begynne å lagre data

## Hva er ZFS?

- ZFS organiserer lagringen i pooler som kan bestå av
  - 1 Enkeltharddisker/partisjoner
  - 2 Striping (RAID 0) mellom to eller flere harddisker/partisjoner
  - 3 Speiling (RAID 1) mellom to eller flere harddisker/partisjoner
  - 4 raidz1 (RAID 5, enkel paritet) over tre eller flere harddisker/partisjoner
  - 5 raidz2 (RAID 6, dobbel paritet) over fire eller flere harddisker/partisjoner
  - 6 raidz3 («RAID 7», trippel paritet) over fem eller flere harddisker/partisjoner
- Visse kombinasjoner av det overstående er også mulig
- Filsystemet blir opprettet samtidig med poolen
  - Nye filsystemer kan opprettes i et hierarki

## Et eksempel på en pool

```
trond@enterprise:~>zpool status enterprise_zdata
pool: enterprise_zdata
state: ONLINE
scan: scrub repaired 0 in 2h15m with 0 errors on Wed Jan 1 07:18:51 2014
config:

    NAME                STATE      READ WRITE CKSUM
    enterprise_zdata    ONLINE    0   0   0
      raidz1-0          ONLINE    0   0   0
        ada2            ONLINE    0   0   0
        ada3            ONLINE    0   0   0
        ada4            ONLINE    0   0   0

errors: No known data errors
trond@enterprise:~>zfs get creation enterprise_zdata
NAME                PROPERTY  VALUE                SOURCE
enterprise_zdata    creation  Sun Jan  8 14:14 2012 -
```

- Kommando for å vise status
- Poolen heter enterprise\_zdata

- Består av én «vdev» («virtual device»), raidz1, striping med enkel paritet
- Medlemmene er de tre harddiskene ada2, ada3 og ada4
- Poolen har det bra og er ONLINE
- Det samme gjelder for vdev-en og dens tre medlemmer
- «Null hull» i telleverkene
- Siste skrubbing avsluttet 1. januar 2014, kl. 07:18:51
- Ingen feil registrert siden 8. januar 2012, kl. 14:14 (har aldri kjørt zpool clear)

## Et eksempel på filsystemer i ZFS

```
trond@enterprise:~>zfs list -r enterprise_root
```

NAME	USED	AVAIL	REFER	MOUNTPOINT
enterprise_root	35,0G	406G	144K	legacy
enterprise_root/ROOT	3,47G	413G	144K	legacy
enterprise_root/ROOT/20131126-r258614	1,43G	413G	1,43G	legacy
enterprise_root/ROOT/20131207-r259060	1,02G	413G	1,02G	legacy
enterprise_root/ROOT/20140103-r260223	1,02G	413G	1,02G	legacy
enterprise_root/do-not-destroy	144K	407G	144K	legacy
enterprise_root/media	208K	406G	208K	/media
enterprise_root/nfs	152K	406G	152K	/nfs
enterprise_root/tmp	6,87M	9,99G	6,87M	/tmp
enterprise_root/usr	17,5G	406G	144K	/usr
enterprise_root/usr/compat	168K	406G	168K	/usr/compat
enterprise_root/usr/local	2,63G	406G	2,53G	/usr/local
enterprise_root/usr/local/certs	220K	406G	220K	/usr/local/certs
enterprise_root/usr/local/etc	105M	406G	101M	/usr/local/etc
enterprise_root/usr/local/etc/namedb	144K	406G	144K	/usr/local/etc/namedb
enterprise_root/usr/local/etc/shellkonfig3	3,63M	406G	320K	/usr/local/etc/shellkonfig3
enterprise_root/usr/obj	4,63G	406G	4,63G	/usr/obj
enterprise_root/usr/packages	472M	406G	472M	/usr/packages
enterprise_root/usr/ports	8,99G	406G	1,54G	/usr/ports
enterprise_root/usr/ports/distfiles	3,71G	406G	3,71G	/usr/ports/distfiles
enterprise_root/usr/ports/local	288K	406G	288K	/usr/ports/local
enterprise_root/usr/ports/packages	3,74G	406G	3,74G	/usr/ports/packages
enterprise_root/usr/ports/workdirs	336K	406G	336K	/usr/ports/workdirs
enterprise_root/usr/src	826M	406G	826M	/usr/src
enterprise_root/var	6,38G	406G	10,1M	/var
enterprise_root/var/crash	1,19G	406G	1,19G	/var/crash
enterprise_root/var/db	70,4M	406G	23,8M	/var/db
enterprise_root/var/db/backup	512K	406G	512K	/var/db/backup

T. Endrestøl (FSI/IT) ZFS 23. februar 2014 21 / 58

## Hva er grensene til ZFS?

- ZFS er stort sett grenseløs
  - 128-bit diskadresser
  - Maks. 2<sup>48</sup> poster i hver katalog
  - Maks. 2<sup>64</sup> bytes (16 EiB, 16 exbibytes) for hver fil
  - Maks. 2<sup>64</sup> bytes for hvert attributt
  - Maks. 2<sup>78</sup> bytes (256 ZiB, 256 zebibytes) i hver pool
  - Maks. 2<sup>56</sup> attributter for hver fil (egentlig begrenset til 2<sup>48</sup> attributter)
  - Maks. 2<sup>64</sup> enheter tilknyttet en gitt pool
  - Maks. 2<sup>64</sup> pooler i et og samme system
  - Maks. 2<sup>64</sup> filsystemer i samme pool
  - Ref.: <http://en.wikipedia.org/wiki/ZFS>
- Vis meg det systemet som klarer å sprengre noen av disse grensene!

## Et annet eksempel på filsystemer i ZFS

```
trond@enterprise:~>zfs list -r enterprise_zdata
```

NAME	USED	AVAIL	REFER	MOUNTPOINT
enterprise_zdata	326G	586G	224K	legacy
enterprise_zdata/do-not-destroy	192K	587G	192K	legacy
enterprise_zdata/home	315G	586G	442K	/home
enterprise_zdata/home/trond	291G	586G	269M	/home/trond
enterprise_zdata/home/trond/arbeid	15,8M	586G	15,8M	/home/trond/arbeid
enterprise_zdata/home/trond/bzrarbeid	343M	586G	343M	/home/trond/bzrarbeid
enterprise_zdata/home/trond/c	5,10M	586G	5,10M	/home/trond/c
enterprise_zdata/home/trond/cvsroot	655K	586G	655K	/home/trond/cvsroot
enterprise_zdata/home/trond/download	3,92G	586G	3,92G	/home/trond/download
enterprise_zdata/home/trond/fra-defiant	35,8G	586G	35,8G	/home/trond/fra-defiant
enterprise_zdata/home/trond/fra-mentor	281M	586G	281M	/home/trond/fra-mentor
enterprise_zdata/home/trond/fra-sovereign	104G	586G	104G	/home/trond/fra-sovereign
enterprise_zdata/home/trond/gitarbeid	4,46G	586G	4,46G	/home/trond/gitarbeid
enterprise_zdata/home/trond/hgarbeid	464M	586G	464M	/home/trond/hgarbeid
enterprise_zdata/home/trond/iptraf	4,37M	586G	4,37M	/home/trond/iptraf
enterprise_zdata/home/trond/knuth	27,0M	586G	27,0M	/home/trond/knuth
enterprise_zdata/home/trond/mail	284M	586G	224M	/home/trond/mail
enterprise_zdata/home/trond/public_html	1,00G	586G	1,00G	/home/trond/public_html
enterprise_zdata/home/trond/rfc	2,29G	586G	2,29G	/home/trond/rfc
enterprise_zdata/home/trond/steam	122G	586G	122G	/home/trond/steam
enterprise_zdata/home/trond/svnrbeid	12,4G	586G	12,4G	/home/trond/svnrbeid
enterprise_zdata/home/trond/svnroot	192K	586G	192K	/home/trond/svnroot
enterprise_zdata/home/trond/svnp	2,95G	586G	2,95G	/home/trond/svnp
enterprise_zdata/home/trond/tmp	212M	586G	212M	/home/trond/tmp

T. Endrestøl (FSI/IT) ZFS 23. februar 2014 22 / 58

## Hvordan virker ZFS?

- ZFS unngår RAID 5-skrivehullet til eldre RAID-kontrollere som
  - 1 Skriver nye data til de samme datablokkene som tidligere
  - 2 Leser gamle, urørte data fra de samme datablokkene i samme stripe
  - 3 Regner ut ny paritet for datablokkene i samme stripe
  - 4 Skriver oppdatert paritet til de samme paritetsblokkene som tidligere
    - Hva skjer nå og senere hvis du får strøbrudd mellom punktene 1 og 4?
    - Har diskkontrolleren batteribeskyttet minne?

## Hvordan virker ZFS?

- ZFS skriver komplette striper; data og paritet samtidig
- ZFS bruker «copy-on-write»; skriver nye data til ledige diskblokker
- Endringer som hører sammen, samles i transaksjonsgrupper («txg»)

## Hvordan virker ZFS?

- Sjekksommer brukes for alt som blir lagret
  - ZFS kontrollerer at leste data er de samme som ble skrevet
  - Oppdages avvik, leter ZFS etter alternativer
  - Finnes alternativer, enten speilkopier eller paritet, så
    - 1 Leveres korrekte data til applikasjonen, og
    - 2 Avviket korrigeres automatisk på den syke disken («resilver»)
  - Finnes ingen alternativer, så må filene restaureres fra backup

## ZFS og RAID-kontrollere

- **Ikke** bruk ZFS sammen med RAID-kontrollere!
- RAID-kontrolleren kan i verste fall motarbeide ZFS
  - RAID-kontrolleren kan finne på å
    - Stokke om på skriverekkefølgen
    - Utsette skriving av nye data
  - Harddiskene kan også oppføre seg som skissert over
  - Har du skifta batteriet i RAID-kontrolleren din?
- Sett RAID-kontrolleren i JBOD-modus, eller
- La hver harddisk være sitt enlige RAID 0-volum

## Hvor kommer ZFS fra?

- Utviklet av Jeffrey Bonwick, Matthew Ahrens og flere kollegaer ved Sun Microsystems, Inc.
- Arbeidet begynte i 2001 og første prototyp ble ferdig 31. oktober 2001 (halloween)
- ZFS → Solaris, oktober 2005
- ZFS er lisensiert etter «Common Development and Distribution License» (CDDL)
- ZFS → OpenSolaris, november 2005
- ZFS → FreeBSD, april 2007
- Linux' GPL v2-lisens kompliserer import av ZFS
  - ZFS i Linux gjennom FUSE gjenstår som en (treg) mulighet
  - Brian Behlendorf ved Lawrence Livermore National Laboratory (LLNL) har laget «Native ZFS for/on Linux»
- ZFS var tilgjengelig i Mac OS X 10.5, bare read-only, men har vært tilbaketrasket siden oktober 2009
- Noen Mac OS X-entusiaster har laget sine egne ZFS-varianter
- Andre OS med ZFS-støtte: OpenIndiana, FreeNAS, PC-BSD, GNU/kFreeBSD og NetBSD

## Versjonsnummer i ZFS

- Pool-versjonene 1–28 og filsystem-versjonene 1–5 er tilgjengelig gjennom OpenSolaris og illumos
- Pool-versjonene 29-34 og filsystem-versjon 6 er bare tilgjengelig i Solaris 11 (Express)
- OpenSolaris har gått videre til feature-flags og pool-versjon 1000
- illumos har gått videre til feature-flags og pool-versjon 5000
- De fleste OS-er utenom Solaris, samarbeider om videreutviklingen av illumos-varianten
- Listene på de neste slidene er kopiert fra <http://en.wikipedia.org/wiki/ZFS>

## Versjonsnummer i ZFS I

### Pool-versjonsnummer

- 1 First release
- 2 Ditto Blocks
- 3 Hot spares, double-parity RAID-Z (raidz2), improved RAID-Z accounting
- 4 zpool history
- 5 gzip compression for ZFS datasets
- 6 "bootfs" pool property
- 7 ZIL: adds the capability to specify a separate Intent Log device or devices
- 8 ability to delegate zfs(1M) administrative tasks to ordinary users
- 9 CIFS server support, dataset quotas
- 10 Devices can be added to a storage pool as "cache devices"
- 11 Improved zpool scrub/resilver performance

## Versjonsnummer i ZFS II

### Pool-versjonsnummer

- 12 Snapshot properties
- 13 Properties: usedbysnapshots, usedbychildren, usedbyreservation, and usedbydataset
- 14 passthrough-x aclinherit property support
- 15 Properties: userquota, groupquota, userused and groupused; also required FS v4
- 16 STMF property support
- 17 triple-parity RAID-Z
- 18 ZFS snapshot holds
- 19 ZFS log device removal
- 20 zle compression algorithm that is needed to support the ZFS deduplication properties in ZFS pool version 21, which were released concurrently
- 21 Deduplication

## Versjonsnummer i ZFS III

### Pool-versjonsnummer

- 22 zfs receive properties
- 23 slim ZIL
- 24 System attributes. Symlinks now their own object type. Also requires FS v5.
- 25 Improved pool scrubbing and resilvering statistics
- 26 Improved snapshot deletion performance
- 27 Improved snapshot creation performance (particularly recursive snapshots)
- 28 Multiple virtual device replacements
- 29 RAID-Z/mirror hybrid allocator
- 30 ZFS encryption
- 31 Improved 'zfs list' performance
- 32 One MB block support
- 33 Improved share support
- 34 Sharing with inheritance



## Versjonsnummer i ZFS I

Filsystem-versjonsnummer

- 1 First release
- 2 Enhanced directory entries. In particular, directory entries now store the object type. For example, file, directory, named pipe, and so on, in addition to the object number.
- 3 Support for sharing ZFS file systems over SMB. Case insensitivity support. System attribute support. Integrated anti-virus support.
- 4 Properties: userquota, groupquota, userused and groupused
- 5 System attributes; symlinks now their own object type
- 6 Multilevel file system support

## Fremtiden for ZFS?

- Oracle kjøpte opp Sun Microsystems, Inc., 27. januar 2010
- Oracle gjorde OpenSolaris om til «ClosedSolaris» i mai 2010
- Hele ZFS-teamet hos Oracle sa opp på dagen, omtrent 90 dager etter denne avgjørelsen ifølge Bryan Cantrill
- ZFS lever videre hos
  - Oracle Solaris
  - illumos/OpenZFS
    - OpenIndiana
    - FreeBSD
    - Delphix
    - iXsystems
    - Joyent
    - NetBSD
    - Nexenta
    - Linux

## Del III

### ZFS!

## Oversikt over del 3: ZFS!

- 14 Administrasjon av ZFS
  - zpool
  - zfs
- 15 Oppretting av pooler
  - Enkle pool-eksempler
  - Avanserte pool-eksempler
- 16 zpool-egenskaper
- 17 zfs-egenskaper

## Administrasjon av ZFS

- To kommandoer (med underkommandoer)
  - ① `zpool`
    - Administrasjon av lagringspoolene
  - ② `zfs`
    - Administrasjon av filsystemer, zvolumer, snapshots, kloner, m.m.
- Det finnes en tredje kommando: `zdb`
  - Brukes for å avlese de indre detaljene til ZFS
  - Bør bare brukes av eksperter ...
  - ... eller av de nysgjerrige ...

## Administrasjon av ZFS I

### `zpool`-kommandoer

- `zpool add`
  - Brukes for å innføre en helt ny vdev-gruppe med harddisker/partisjoner
- `zpool attach`
  - Brukes for å tilføye en harddisk/partisjon til en eksisterende vdev-gruppe
- `zpool clear`
  - Brukes for å nullstille tellerne for lese-, skrive- og sjekksumfeil
- `zpool create`
  - Brukes for å opprette pooler
- `zpool destroy`
  - Brukes for å ødelegge pooler
- `zpool detach`
  - Brukes for å fjerne en harddisk/partisjon fra en vdev-gruppe

## Administrasjon av ZFS II

### `zpool`-kommandoer

- `zpool export`
  - Brukes for å eksportere en pool, for senere import i samme eller et annet system
- `zpool get`
  - Brukes for å vise verdien til alle eller utvalgte `zpool`-egenskaper
- `zpool history`
  - Brukes for å vise historikken til poolen
- `zpool import`
  - Brukes for å importere en pool eller å vise en liste over pooler som kan importeres
- `zpool iostat`
  - Brukes for å vise I/O-statistikk i sann tid
- `zpool labelclear`
  - Brukes for å fjerne alle spor av ZFS' disklabels
- `zpool list`

## Administrasjon av ZFS III

### `zpool`-kommandoer

- Brukes for å liste opp importerte pooler
- `zpool offline`
  - Brukes for å deaktivere en harddisk/partisjon
- `zpool online`
  - Brukes for (re)aktivere en harddisk/partisjon
- `zpool reguid`
  - Brukes for å tildele en ny, tilfeldig GUID til en bestemt pool
- `zpool remove`
  - Brukes for å fjerne en harddisk/partisjon
- `zpool reopen`
  - Brukes for ...
- `zpool replace`
  - Brukes for å fortelle ZFS at en harddisk/partisjon har blitt skiftet ut

## Administrasjon av ZFS IV

### zpool-kommandoer

- `zpool scrub`
  - Brukes for å lese gjennom alt aktivt innhold, og sjekke samsvaret mellom lagret data og lagrete sjekksummer
- `zpool set`
  - Brukes for å endre `zpool`-egenskapene
- `zpool split`
  - Brukes for å skille et speilmedlem fra resten av gruppa
- `zpool status`
  - Brukes for å vise status til poolen, dens medlemmer og deres status, og telleverkene for lese-, skrive og sjekksumfeil
- `zpool upgrade`
  - Brukes for å oppgradere poolene til nye formater, vise hvilke pooler som er utdaterte, og hvilke versjoner som er tilgjengelig i systemet

## Administrasjon av ZFS I

### zfs-kommandoer

- `zfs allow`
  -
- `zfs bookmark`
  -
- `zfs clone`
  -
- `zfs create`
  -
- `zfs destroy`
  -
- `zfs diff`
  -

## Administrasjon av ZFS II

### zfs-kommandoer

- `zfs get`
  -
- `zfs groupspace`
  -
- `zfs holds`
  -
- `zfs hold`
  -
- `zfs inherit`
  -
- `zfs jail`
  -
- `zfs list`

## Administrasjon av ZFS III

### zfs-kommandoer

- 
- `zfs mount`
  -
- `zfs promote`
  -
- `zfs receive`
  -
- `zfs release`
  -
- `zfs rename`
  -
- `zfs rollback`
  -

## Administrasjon av ZFS IV

### zfs-kommandoer

- zfs send
  -
- zfs set
  -
- zfs share
  -
- zfs snapshot
  -
- zfs unallow
  -
- zfs unjail
  -
- zfs unmount

## Administrasjon av ZFS V

### zfs-kommandoer

- 
- zfs unshare
  -
- zfs upgrade
  -
- zfs userspace
  -

## Oppretting av pooler

- `zpool create [opsjoner] navn-på-pool [organiseringstype] ingredienser [organiseringstype ingredienser] ...`
- Unngå å plassere mer enn 9 enheter i hver vdev
- I stedet for å stripe en pool over 20 harddisker, vurder å speile to og to harddisker i 10 grupper

## Oppretting av pooler

### Enkle pool-eksempler

- Singledisk:
  - `zpool create rpool da0`
- RAID 0 over to diskere:
  - `zpool create rpool da0 da1`
- RAID 1 over to diskere:
  - `zpool create rpool mirror da0 da1`
- RAID 5 over tre diskere:
  - `zpool create rpool raidz1 da0 da1 da2`
- RAID 6 over fire diskere:
  - `zpool create rpool raidz2 da0 da1 da2 da3`
- «RAID 7» over fem diskere:
  - `zpool create rpool raidz3 da0 da1 da2 da3 da4`

## Oppretting av pooler

Avanserte pool-eksempler

- RAID 1+0 (3 vdevs á 2 diskur):
  - `zpool create rpool mirror da0 da1 mirror da2 da3 mirror da4 da5`
- RAID 5+0 (2 vdevs á 3 diskur):
  - `zpool create rpool raidz1 da0 da1 da2 raidz1 da3 da4 da5`
- RAID 6+0 (2 vdevs á 4 diskur):
  - `zpool create rpool raidz2 da0 da1 da2 da3 raidz2 da4 da5 da6 da7`
- RAID 1+5+0 (2 vdevs, 2 og 3 diskur):
  - `zpool create rpool mirror da0 da1 raidz1 da2 da3 da4`

## zpool-egenskaper I

- `size`
- `capacity`
- `altroot`
- `health`
- `guid`
- `version`
- `bootfs`
- `delegation`
- `autoreplace`
- `cachefile`
- `failmode`

## zpool-egenskaper II

- `listsnapshots`
- `autoexpand`
- `dedupditto`
- `dedupratio`
- `free`
- `allocated`
- `readonly`
- `comment`
- `expandsize`
- `freeing`
- `feature@async_destroy`
- `feature@empty_bpobj`

## zpool-egenskaper III

- `feature@lz4_compress`
- `feature@multi_vdev_crash_dump`
- `feature@spacemap_histogram`
- `feature@enabled_txx`
- `feature@hole_birth`
- `feature@extensible_dataset`
- `feature@bookmarks`

## zfs-egenskaper I

- type
- creation
- used
- available
- referenced
- compressratio
- mounted
- quota
- reservation
- recordsize
- mountpoint

## zfs-egenskaper II

- sharenfs
- checksum
- compression
- atime
- devices
- exec
- setuid
- readonly
- jailed
- snapdir
- aclmode
- aclinherit

## zfs-egenskaper III

- canmount
- xattr
- copies
- version
- utf8only
- normalization
- casesensitivity
- vscan
- nbmand
- sharesmb
- refquota
- refreservation

## zfs-egenskaper IV

- primarycache
- secondarycache
- usedbysnapshots
- usedbydataset
- usedbychildren
- usedbyrefreservation
- logbias
- dedup
- mlslabel
- sync
- refcompressratio
- written
- logicalused
- logicalreferenced

## Del IV

### Oppstartsmiljøer

### Oversikt over del 4: Oppstartsmiljøer