

# 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.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 4: Oppstartsmiljøer

## 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

## Del I

## 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 gå galt i et lagringssystem?

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

### 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

## 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
- 7 Kobberbanene i hovedkortet

## Del II

## ZFS?

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

- (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?

## 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 rekker
- 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_zroot
NAME                                USED  AVAIL  REFER  MOUNTPOINT
enterprise_zroot                    35,0G  406G   144K   legacy
enterprise_zroot/ROOT               3,47G  413G   144K   legacy
enterprise_zroot/ROOT/20131126-r258614 1,43G  413G   1,43G   legacy
enterprise_zroot/ROOT/20131207-r259060 1,02G  413G   1,02G   legacy
enterprise_zroot/ROOT/20140103-r260223 1,02G  413G   1,02G   legacy
enterprise_zroot/do-not-destroy      144K   407G   144K   legacy
enterprise_zroot/media               208K   406G   208K   /media
enterprise_zroot/nfs                 152K   406G   152K   /nfs
enterprise_zroot/tmp                  6,87M  9,99G  6,87M   /tmp
enterprise_zroot/usr                  17,5G  406G   144K   /usr
enterprise_zroot/usr/compat          168K   406G   168K   /usr/compat
enterprise_zroot/usr/local           2,63G  406G   2,53G   /usr/local
enterprise_zroot/usr/local/certs     220K   406G   220K   /usr/local/certs
enterprise_zroot/usr/local/etc       105M   406G   101M   /usr/local/etc
enterprise_zroot/usr/local/etc/namedb 144K   406G   144K   /usr/local/etc/namedb
enterprise_zroot/usr/local/etc/shellkonfig3 3,63M  406G   320K   /usr/local/etc/shellkonfig3
enterprise_zroot/usr/obj             4,63G  406G   4,63G   /usr/obj
enterprise_zroot/usr/packages        472M   406G   472M   /usr/packages
enterprise_zroot/usr/ports           8,99G  406G   1,54G   /usr/ports
enterprise_zroot/usr/ports/distfiles 3,71G  406G   3,71G   /usr/ports/distfiles
enterprise_zroot/usr/ports/local     288K   406G   288K   /usr/ports/local
enterprise_zroot/usr/ports/packages  3,74G  406G   3,74G   /usr/ports/packages
enterprise_zroot/usr/ports/workdirs  336K   406G   336K   /usr/ports/workdirs
enterprise_zroot/usr/src             826M   406G   826M   /usr/src
enterprise_zroot/var                 6,38G  406G   10,1M   /var
enterprise_zroot/var/crash           1,19G  406G   1,19G   /var/crash
enterprise_zroot/var/db              70,4M  406G   23,8M   /var/db
enterprise_zroot/var/db/darkstat     512K   406G   512K   /var/db/darkstat
enterprise_zroot/var/db/pkg          25,1M  406G   25,1M   /var/db/pkg
enterprise_zroot/var/db/ports        8,18M  406G   8,18M   /var/db/ports
```

T. Endrestøl (FSI/IT)	ZFS	23. februar 2014	21 / 59
enterprise_zroot/var/empty	144K 406G	144K	/var/empty
enterprise_zroot/var/log	733M 406G	733M	/var/log
enterprise_zroot/var/mail	3,68M 406G	328K	/var/mail
enterprise_zroot/var/named	392K 406G	392K	/var/named

## Hva er grensene til ZFS?

- ZFS er stort sett grenseløs
  - 128-bit diskadresser
  - Maks.  $2^{48}$  poster i hver katalog
  - Maks.  $2^{64}$  bytes (16 EiB, 16 exbibytes) for hver fil
  - Maks.  $2^{64}$  bytes for hvert attributt
  - Maks.  $2^{78}$  bytes (256 ZiB, 256 zebibytes) i hver pool
  - Maks.  $2^{56}$  attributter for hver fil (egentlig begrenset til  $2^{48}$  attributter)
  - Maks.  $2^{64}$  enheter tilknyttet en gitt pool
  - Maks.  $2^{64}$  pooler i et og samme system
  - Maks.  $2^{64}$  filsystemer i samme pool
  - Ref.: <http://en.wikipedia.org/wiki/ZFS>
- Vis meg det systemet som klarer å sprengt 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/svnarbeid 12,4G  586G   12,4G   /home/trond/svnarbeid
enterprise_zdata/home/trond/svnroot  192K  586G   192K   /home/trond/svnroot
enterprise_zdata/home/trond/svnup    2,95G  586G   2,95G   /home/trond/svnup
enterprise_zdata/home/trond/tmp      212M  586G   212M   /home/trond/tmp
```

T. Endrestøl (FSI/IT)	ZFS	23. februar 2014	22 / 59
-----------------------	-----	------------------	---------

## 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 strømbrydd 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 enslige 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 tilbaketrukket siden oktober 2009
- Noen Mac OS X-entusiaster har laget sine egne ZFS-varianter
- Andre OS med ZFS-støtte: OpenIndiana, FreeNAS, PC-BSD

## 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"

## Versjonsnummer i ZFS II

### Pool-versjonsnummer

- 11 Improved zpool scrub/resilver performance
- 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

## Versjonsnummer i ZFS III

### Pool-versjonsnummer

- 20 zle compression algorithm that is needed to support the ZFS deduplication properties in ZFS pool version 21, which were released concurrently
- 21 Deduplication
- 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



## Versjonsnummer i ZFS IV

Pool-versjonsnummer

- 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

## 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

## 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

## Del III

ZFS!

### 14 Administrasjon av ZFS

- `zpool`
- `zfs`

### 15 Oppretting av pooler

- Enkle pool-eksempler
- Avanserte pool-eksempler

### 16 `zpool`-egenskaper

### 17 `zfs`-egenskaper

- 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
- `zpool export`

## Administrasjon av ZFS II

### `zpool`-kommandoer

- 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
- `zpool scrub`

## Administrasjon av ZFS IV

zpool-kommandoer

- 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 spillemlem 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`
  -
- `zfs get`

## Administrasjon av ZFS II

zfs-kommandoer

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

## Administrasjon av ZFS III

zfs-kommandoer

- 
- zfs promote
- 
- zfs receive
- 
- zfs release
- 
- zfs rename
- 
- zfs rollback
- 
- zfs send
- 
- zfs set

## Administrasjon av ZFS IV

zfs-kommandoer

- 
- zfs share
- 
- zfs snapshot
- 
- zfs unallow
- 
- zfs unjail
- 
- zfs unmount
- 
- zfs unshare
- 
- zfs upgrade

## Administrasjon av ZFS V

zfs-kommandoer

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

## Oppretting av pooler

### Avanserte pool-eksempler

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

## zpool-egenskaper I

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

## zpool-egenskaper II

- `autoexpand`
- `dedupditto`
- `dedupratio`
- `free`
- `allocated`
- `readonly`
- `comment`
- `expandsize`
- `freeing`
- `feature@async_destroy`
- `feature@empty_bpobj`
- `feature@lz4_compress`
- `feature@multi_vdev_crash_dump`

## zpool-egenskaper III

- feature@spacemap\_histogram
- feature@enabled\_txg
- feature@hole\_birth
- feature@extensible\_dataset
- feature@bookmarks

## zfs-egenskaper I

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

## zfs-egenskaper II

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

## zfs-egenskaper III

- copies
- version
- utf8only
- normalization
- casesensitivity
- vscan
- nbmand
- sharesmb
- refquota
- refreservation
- primarycache
- secondarycache
- usedbysnapshots

- usedbydataset
- usedbychildren
- usedbyreservation
- logbias
- dedup
- mlslabel
- sync
- refcompressratio
- written
- logicalused
- logicalreferenced

### Oppstartsmiljøer

## Oversikt over del 4: Oppstartsmiljøer