



erasmus

HOGESCHOOL BRUSSEL

IT Essentials

Deel II: Hardwarecomponenten
5: Magnetische gegevensopslag

INHOUD

- Algemene principes
- Magnetische tapes
- Floppy disks
- Harde schijven
- RAID

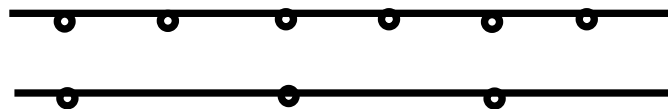
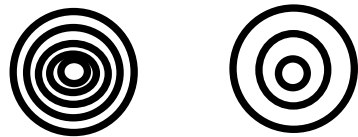


ALGEMENE PRINCIPES

- Magnetiseerbaar materiaal
 - Behoudt zijn lading
 - ook wanneer het magnetisch veld al verdwenen is
- => non-volatile storage
- Medium wordt opgesplitst in zeer kleine deeltjes
- Elk deeltje krijgt lading + of - => 1 of 0
- Soms is het de verandering in waarde die gemeten wordt

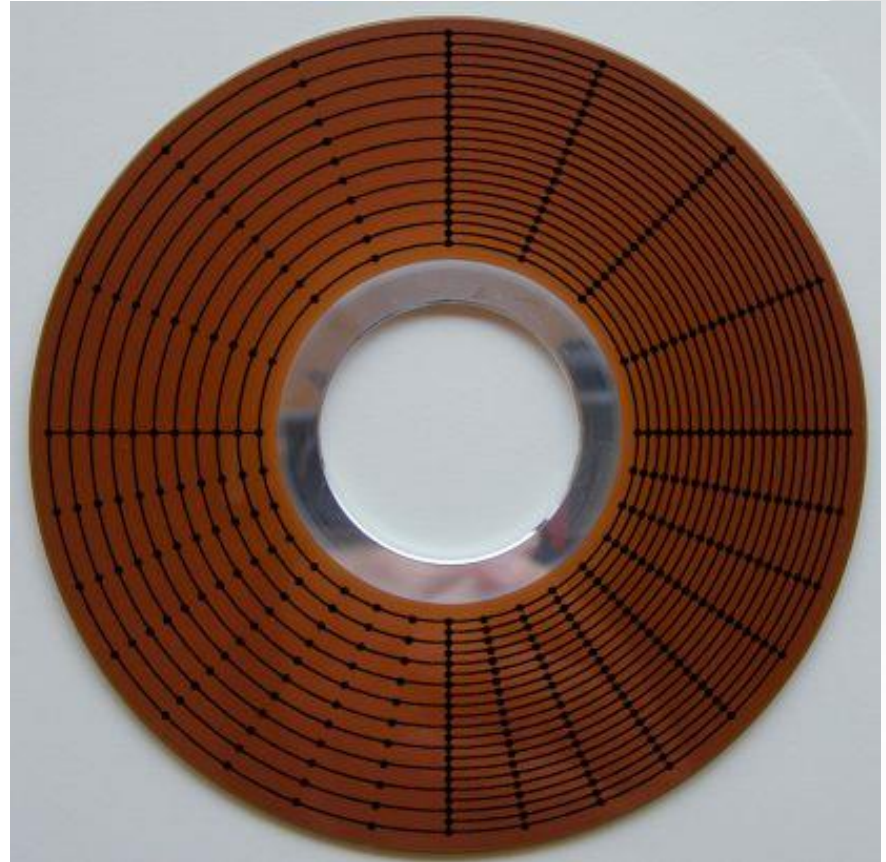
ALGEMENE PRINCIPES

- Oppervlakte-dichtheid
 - = informatie-dichtheid
 - Aantal bits per oppervlakte-eenheid
 - Bits/inch² (BPSI – Bits Per Square Inch)
 - Bits per vierkante inch
 - 1 Inch = 2.54 cm
 - Product van:
 - Track density:
 - TPI (tracks per inch)
- Linear Density (recording density)
 - BPI (bits per inch per track)



ALGEMENE PRINCIPES

- Oppervlakte-dichtheid
 - Linear density:
 - Niet gelijk voor elke track
 - Gigabytes/schijf (GB/platter)
 - Vb.: 10 GB/schijf

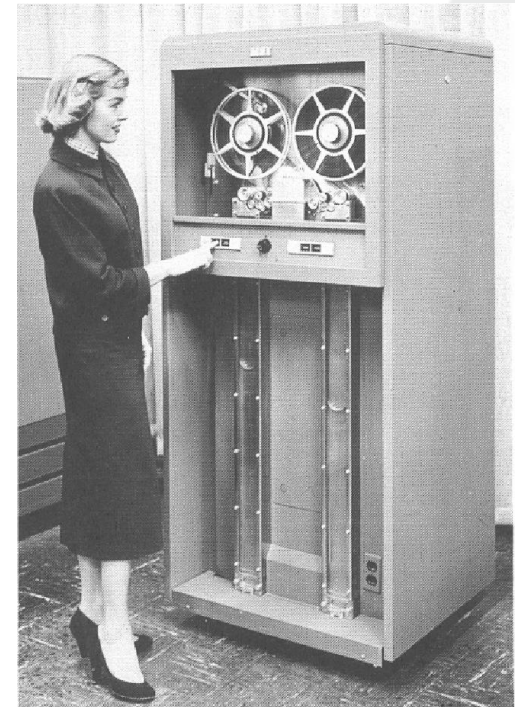


MAGNETISCHE TAPES

- Lint met magnetiseerbare laag
 - Meestal in cassette, of op rol
- Verschillende varianten
 - Audio cassettes
 - Video cassettes (VHS)
 - Digital Audio Tape (DAT)
 - Digital Linear Tape (DLT)

MAGNETISCHE TAPES

- Geschiedenis
 - Gebruik
 - Aanvankelijk analoog (opnames)
 - Later digitaal
 - Tapes als computergeheugens
 - Werkgeheugen
 - Permanente opslag
 - Tegenwoordig:
 - Back-up/archiveringsmedium



MAGNETISCHE TAPES

- Organisatie van gegevens
 - Sequentieel
 - Niet-adresseerbaar
 - Rekken van lint
 - Gegevens in blokken
 - Variabele lengte
 - Tussen 2 blokken: hiaat
 - Rendementsverlies
- Tape drives
 - Eerste tape drives
 - Twee wielen duidelijk zichtbaar
 - Moderne tape drives
 - Werken met cassettes
 - Twee wielen nog steeds aanwezig

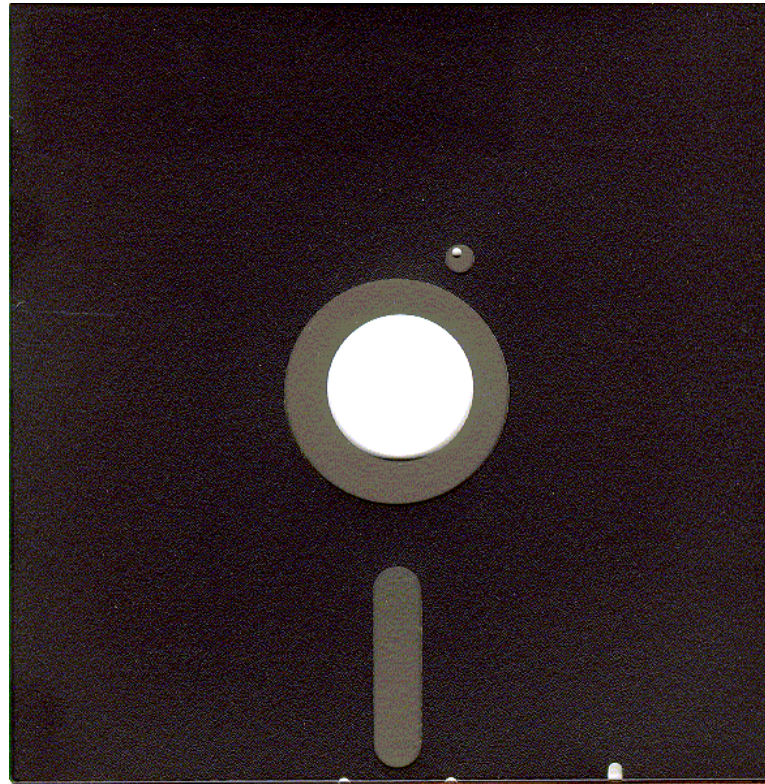


FLOPPY DISKS

- Geschiedenis
 - Ontwikkeld jaren '60
 - Vanaf jaren '80 zeer populair
 - Opslaan besturingssysteem
 - Verspreiden software
 - Tot ver jaren '90
 - Later: CD-ROM
 - Floppy: plooibare schijf

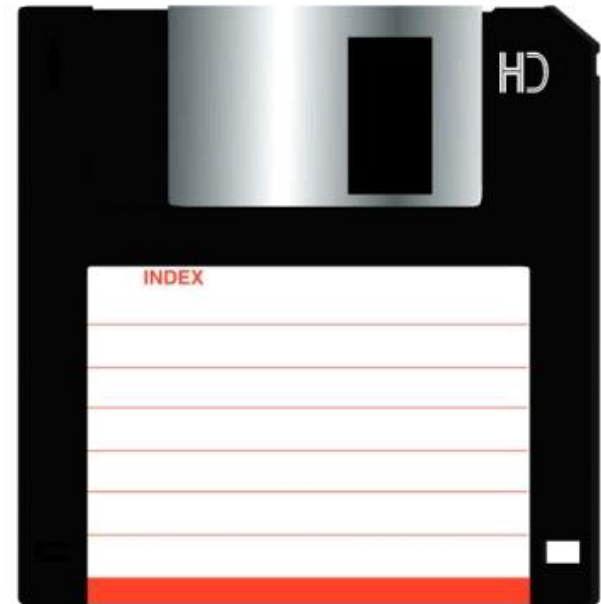
FLOPPY DISKS

- De 5,25 inch floppy
 - Eerste form factor
 - 360 KB



FLOPPY DISKS

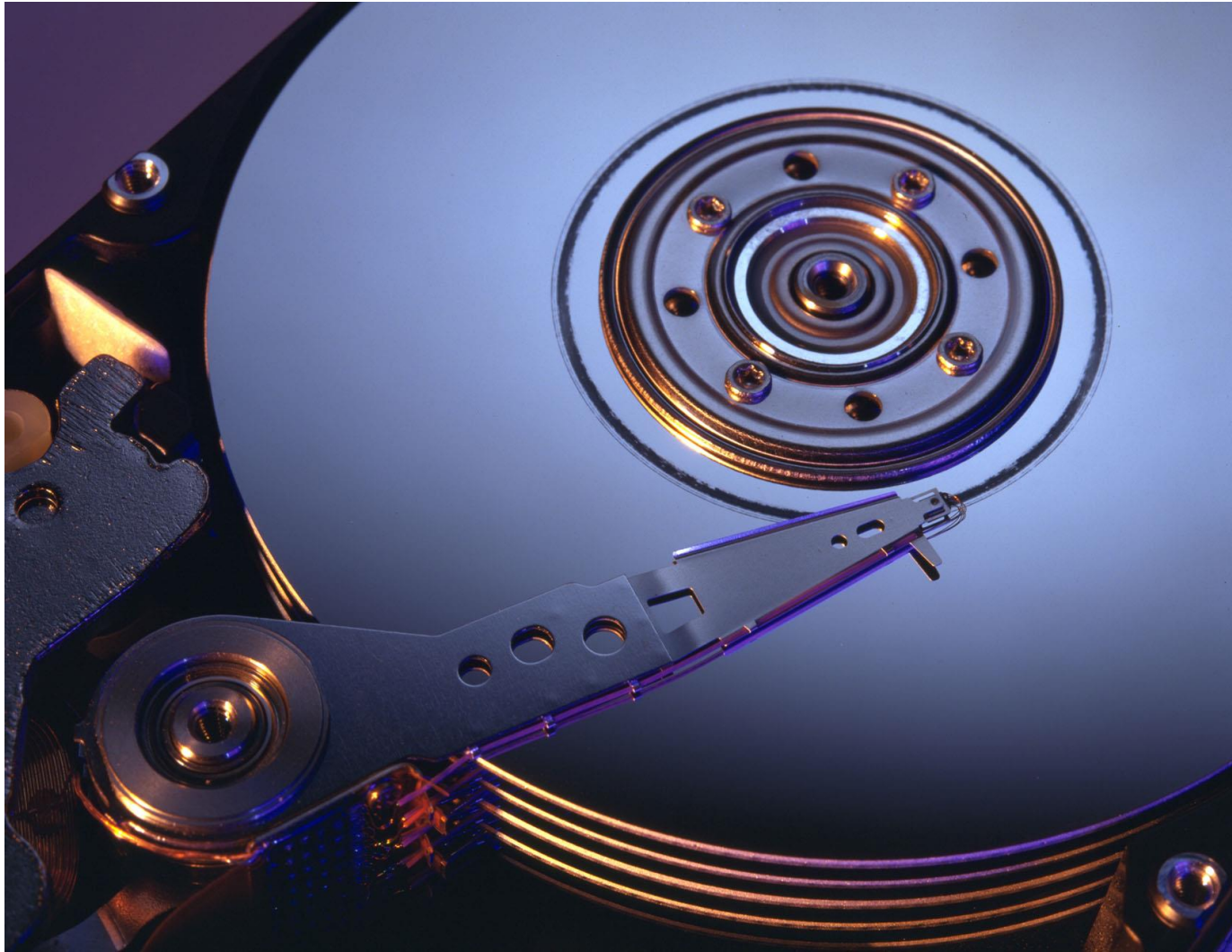
- De 3,5 inch floppy
 - Harde cover maar nog steeds 'floppy' disk binnenin
 - DD (Double Density)
 - 720 KB
 - HD (High Density)
 - 1440 KB (1,4 MB)
 - 5,25 en 3,5 lang beide ondersteund
 - A-drive en B-drive in Windows



FLOPPY DISKS

- Floppy-disk
 - Twee floppies interfereren niet wanneer vlak naast elkaar bewaard
 - Magnetisme is niet sterk genoeg om storing te veroorzaken
 - In computer: FDD cable
- Lees- en schrijfkoppen
 - Raken het oppervlakte
 - Warmteontwikkeling
 - Max. 300 – 360 tpm
- Huidige toestand
 - Nog een tijdje gebruikt als boot device
 - Inmiddels volledig vervangen door USB-sticks

HARDE SCHIJVEN



HARDE SCHIJVEN

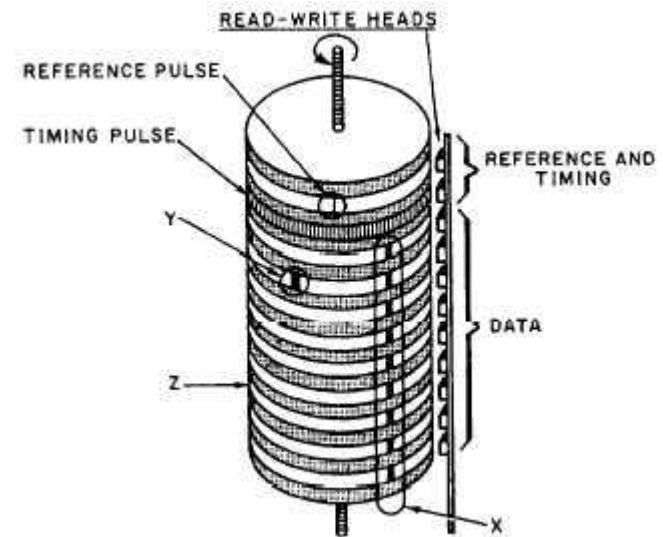
- Geschiedenis
 - Eerste computers:
 - Geen harde schijf
 - Elke keer alles opnieuw inladen
 - Eerste opslag: ponskaarten (prikkaarten)
 - Programma in batch uitgevoerd
 - Tape: data magnetisch opgeslagen
 - Sequentieel
 - Eerste echte dataopslag

HARDE SCHIJVEN

- De geschiedenis...
 - Eerste computers
 - Cassettes ipv. HD
 - Magnetische drumgeheugens
 - Later toevoegen floppy disk drive

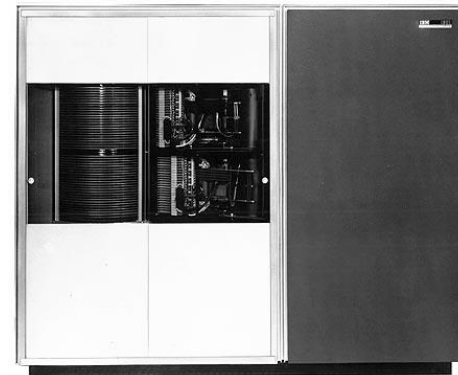


IBM 650



Harde schijven

- De geschiedenis...
 - De eerste HDD...
 - Koppen contact met disk
 - Koppen niet gevoelig genoeg
 - Slijtage (niet perfect vlakke oppervlakken)
 - Lage draaisnelheden
 - 1956: IBM 305 RAMAC
 - 1962: IBM 1301
 - Eerste HD met zwevende koppen
 - dicht tegen de oppervlakte



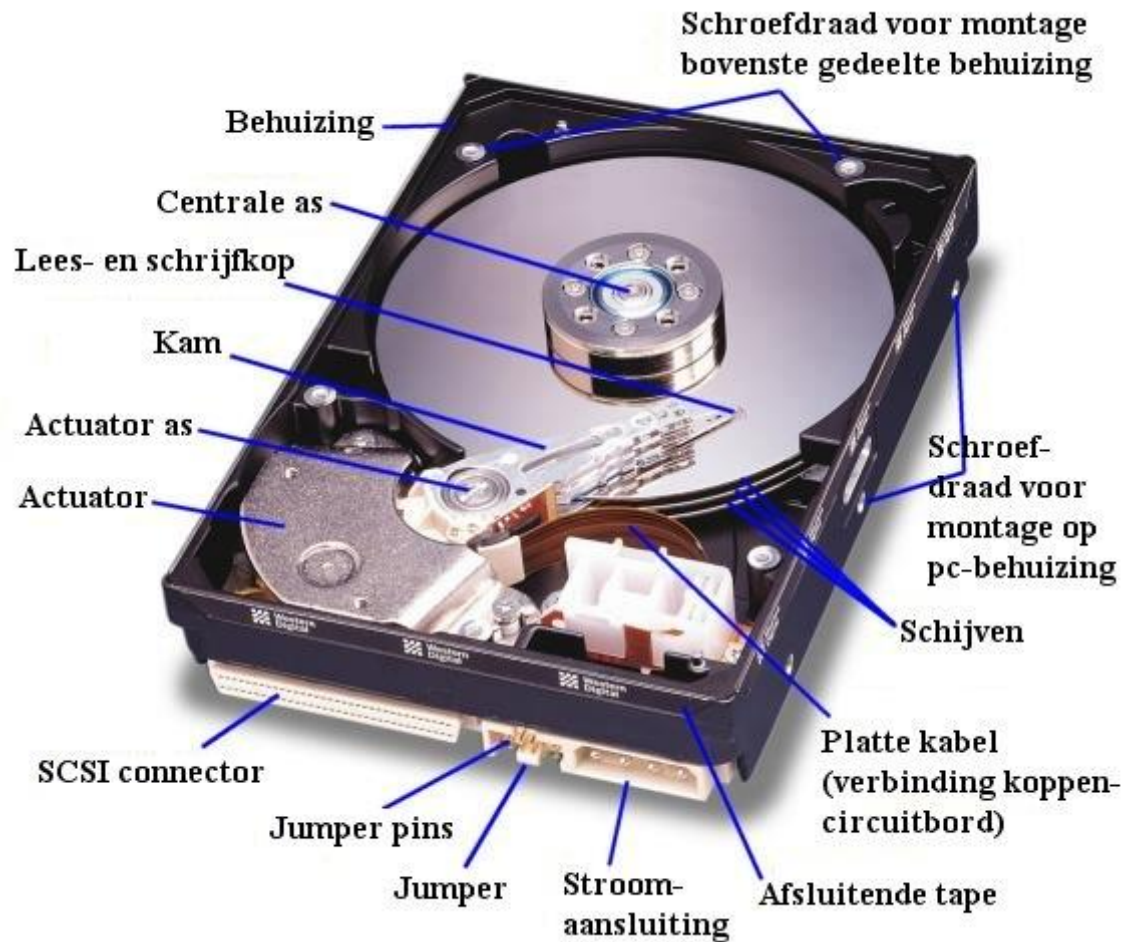
HARDE SCHIJVEN

- De geschiedenis...
 - De eerste HDD...
 - 1973: IBM 3340
 - Vlieghoogte verkleint
 - 18 micro-inches vlieghoogte
 - 1 vaste (30MB) schijf en 1 verwijderbare (30MB)
 - » 30-30 disk
 - » Later ook winchester schijven genoemd (naar 30-30 Winchester geweer)



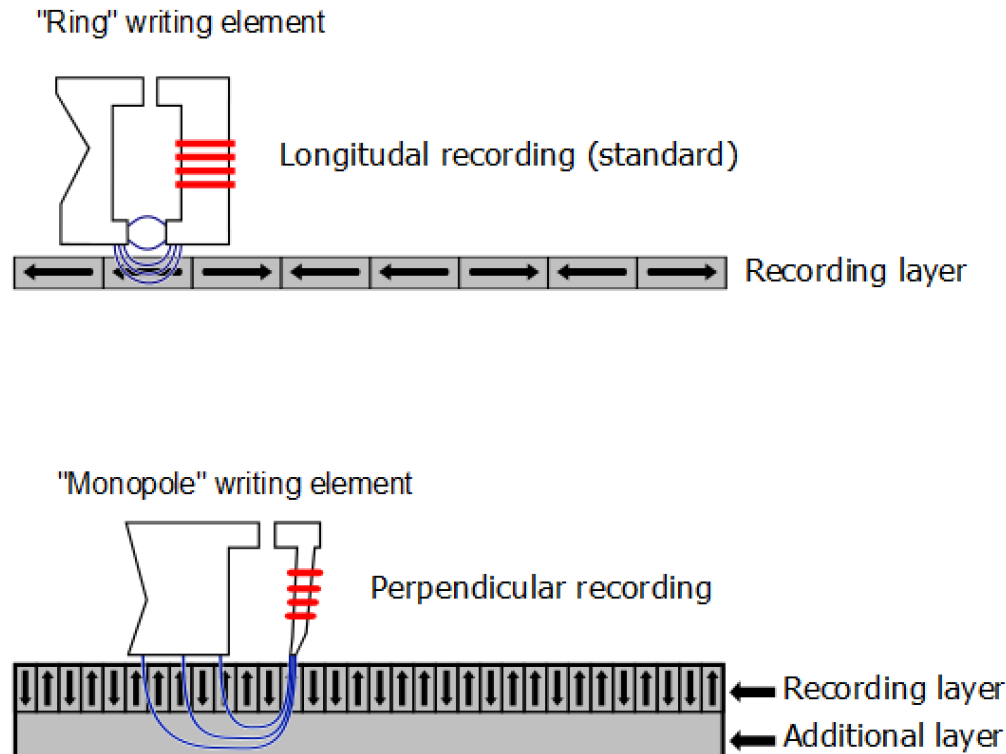
HARDE SCHIJVEN

- Opbouw van een moderne harde schijf



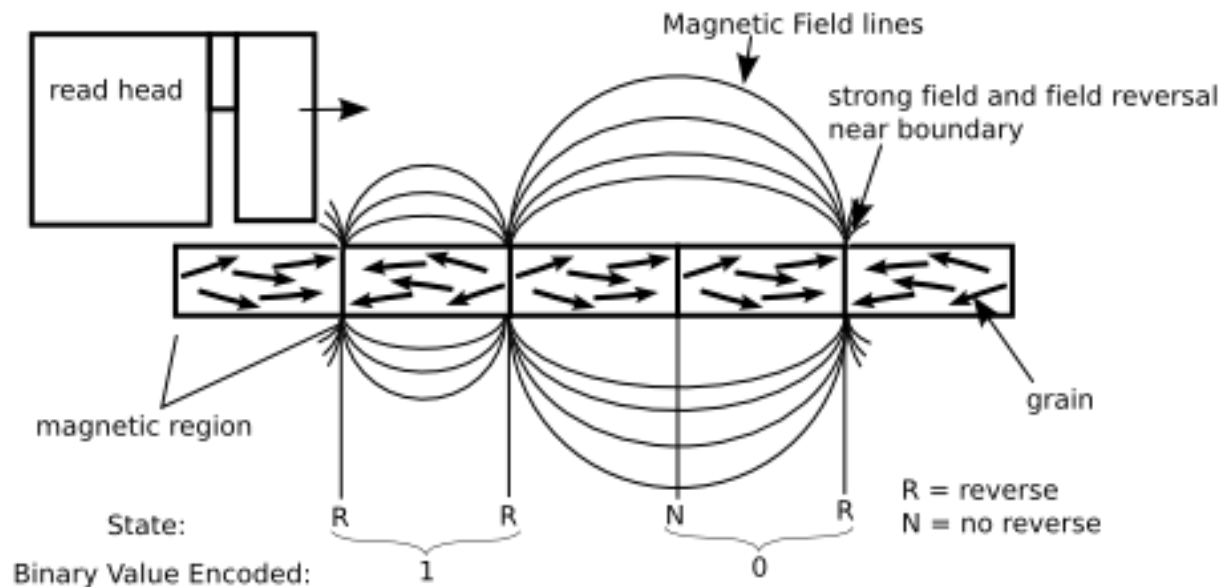
HARDE SCHIJVEN

- Schrijven en lezen (magnetische inductie)
 - Schrijf/leeskop is een kleine elektromagneet
 - Longitudal magnetic recording (LMR) => perpendicular magnetic recording (PMR)



HARDE SCHIJVEN

- Lezen
 - Voor lezen is verandering nodig!
 - Veranderend magnetisch veld induceert (geeft) stroompje
 - Veranderend veld nodig om te kunnen lezen
 - Dus niet gewoon bits wegschrijven
 - Data moet passeren aan gekende constante snelheid



HARDE SCHIJVEN

- Schrijven
 - Magnetisch veld induceren door stroom
 - Harde schijf neemt magnetische “richting” over
 - Belangrijke factoren
 - Sterke stroom -> betere magnetisatie, maar meer stroomverbruik
 - Aantal windingen en materiaal van de spoel
 - Hoe dunner/gevoeliger magnetiseerbare laag, hoe beter
 - Afstand van kop tot schijf
 - Hoe kleiner, hoe sterker magnetische veld op schijf
 - Hoe kleiner, hoe kleiner het gemagnetiseerde oppervlakte
 - » Grotere informatiedichtheid

HARDE SCHIJVEN

- Evoluties

- Magneto-resistieve koppen

- Gebruik maken van ander fysisch concept
 - Veranderende weerstand door magnetisch veld
 - Magneto-resistiviteit ook gebruikt bij MRAM

- Helium ipv lucht

- Minder weerstand dan lucht leidt tot betere stabiliteit van de kop
 - Schijven mogen daardoor dichter op elkaar => meer schijven
 - HDD's moeten gesloten zijn
 - HGST nam de leiding

- Shingled magnetic recording (SMR)

- Tracks worden schuin over elkaar gelegd, zoals de leien op een dak
 - Hogere densiteit maar lagere performantie

- Betere actuators

- Accurater positiebepaling => hogere trackdensiteit

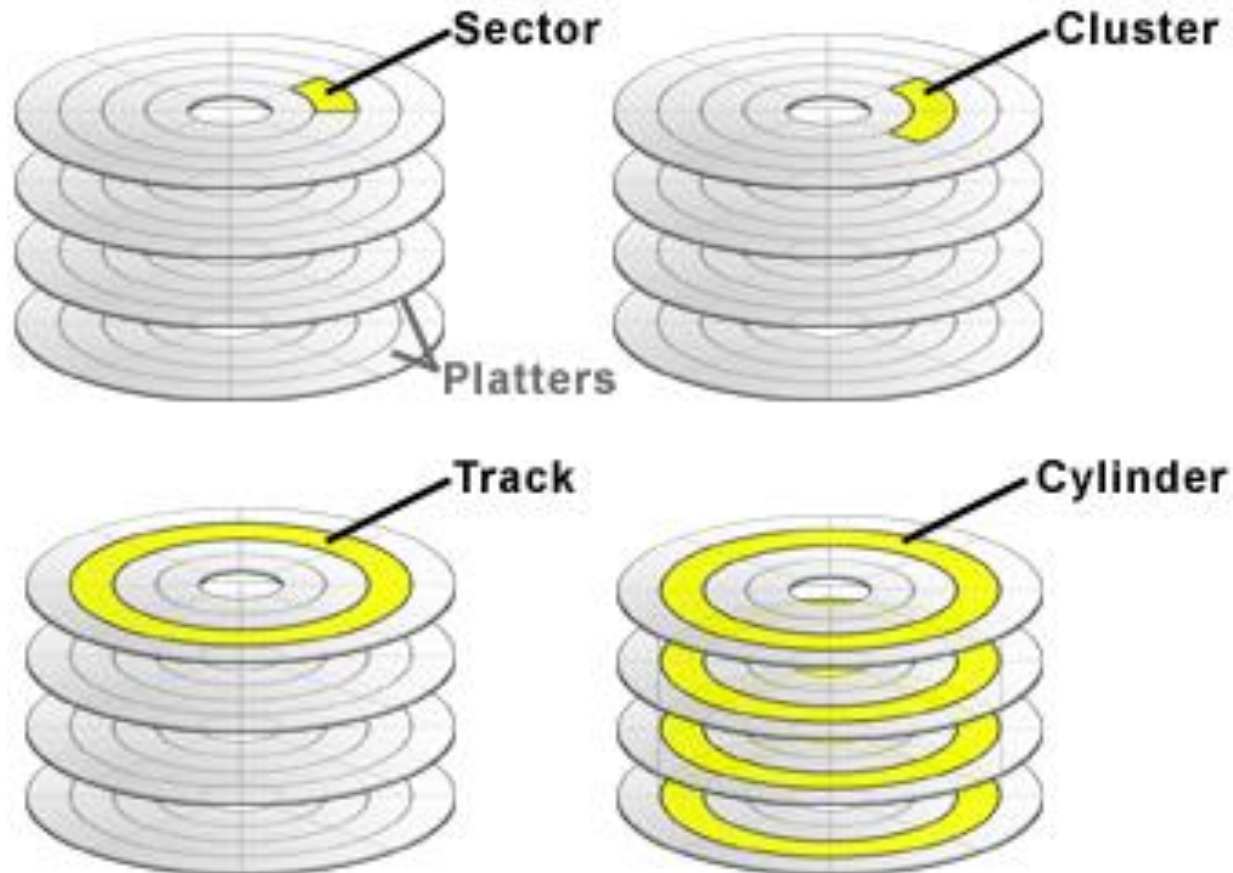
HARDE SCHIJVEN

- Evoluties

- Heat Assisted Magnetic Recording (HAMR) versus Microwave Assisted Magnetic Recording (MAMR)
 - Huidige densiteit van cellen wordt moeilijk om te magnetiseren
 - Vereist extra input van energie
 - 2 mogelijkheden:
 - » Heat (via laser)
 - » Microwave
 - Western Digital neemt de leiding met MAMR, Seagate ligt voorop in HAMR
- Multi-actuator
 - De kam wordt opgesplitst in meerdere onafhankelijk van elkaar bewegende onderdelen
 - In eerste instantie dual-actuator

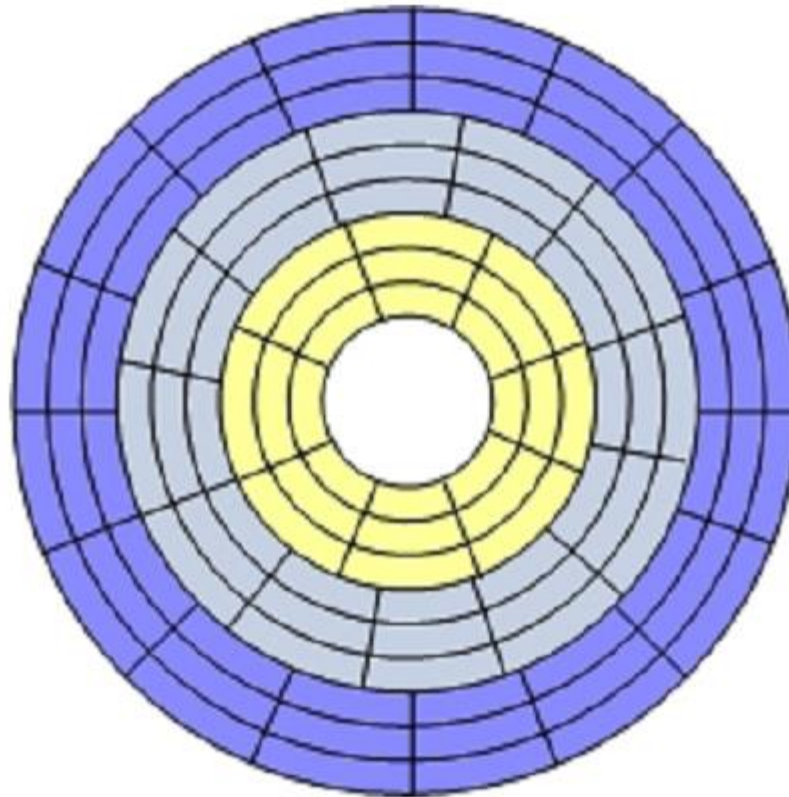
HARDE SCHIJVEN

- Indeling van magnetische schijven
 - Opdeling in sporen, sectoren en cylinders



HARDE SCHIJVEN

- Opbouw van de magnetische schijf
 - Aantal sectoren/spoor varieert
 - Sectoren zelf wel even groot in datacapaciteit



HARDE SCHIJVEN

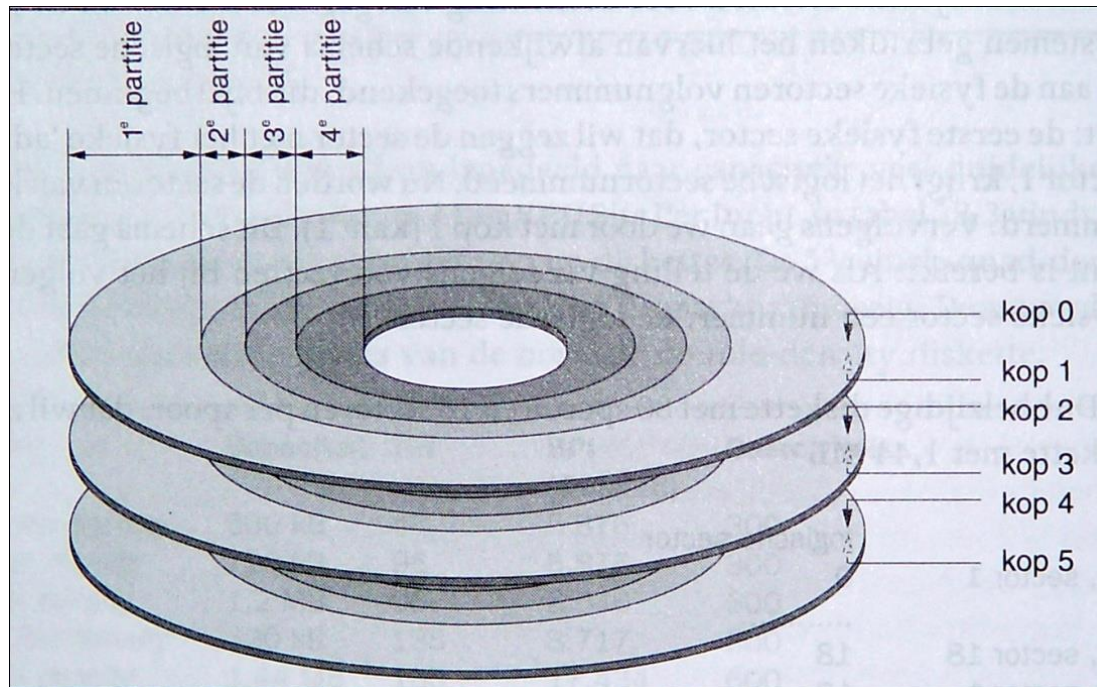
- Indeling van magnetische schijven
 - Sectoren
 - Harde sectorindeling
 - Fysisch vastgelegd (Per sector bv. 512 bytes)
 - Floppy
 - Zachte sectorindeling
 - Vastgelegd door extra informatie op de schijf opgeslagen via formatering
 - Klein verlies aan capaciteit door deze extra informatie
 - Dynamisch

HARDE SCHIJVEN

- Opbouw van de magnetische schijf
 - Formatteren van harde schijf
 - Indelen van de harde schijf volgens bepaalde organisatiestructuur
 - Drie stappen voor formattering:
 - Low-level formatteren
 - Echte formatteren (fysiek) van de harde schijf
 - Creëren sporen, sectoren, controle-informatie
 - “Clean disk”: onbeschreven
 - Bij productie: laatste stadium is low-level formatting

HARDE SCHIJVEN

- Opbouw van de magnetische schijf
 - Drie stappen voor formattering:
 - Partitioneren
 - Verdelen schijf in logische partities



HARDE SCHIJVEN

- Opbouw van de magnetische schijf
 - Drie stappen voor formattering:
 - High-level formatteren
 - Besturingssysteem
 - Logische structuur van harde schijf
 - Systeembestanden aan begin partities
 - » Bv.: File Allocation Table
 - FAT(16), FAT32, NTFS, EXT2, EXT3, EXT4, ReiserFS,...

HARDE SCHIJVEN

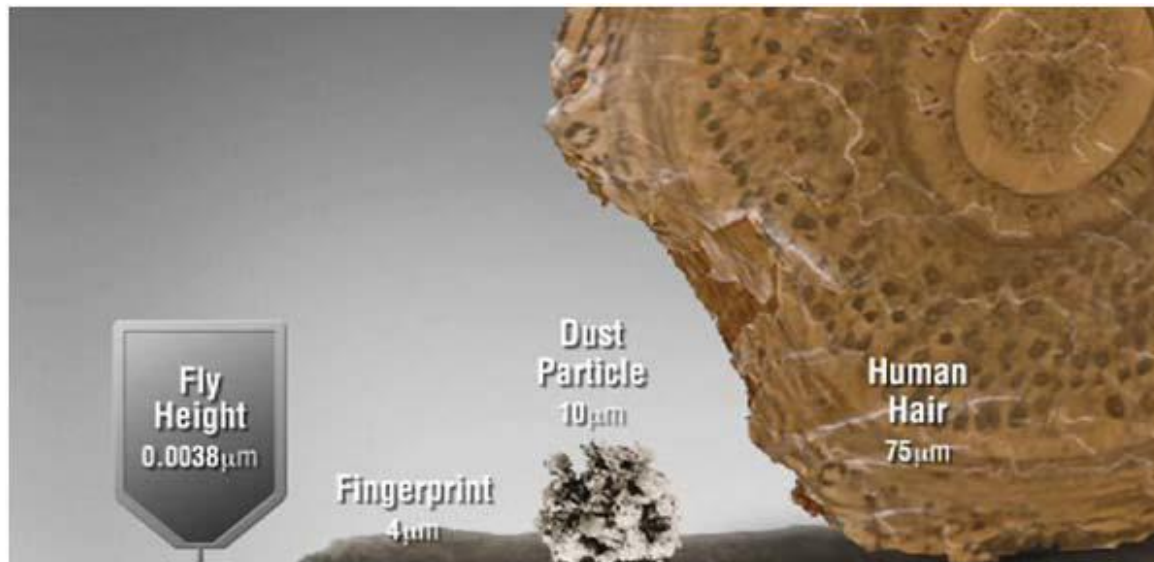
- Opbouw van de magnetische schijf
 - Capaciteit
 - Binaire tov. decimale capaciteit
 - 1024 vs 1000
 - Fabrikanten misbruiken de termen...
 - 72 GB decimaal is maar 67 GB binair

HARDE SCHIJVEN

- Opbouw van een moderne harde schijf
 - Lees- en schrijfkop
 - Eerste koppen: raken oppervlakte
 - Warmteontwikkeling ☹️
 - Mogelijkheden
 - Vaste kam: kop op vaste afstand van schijf
 - » Fragiel ontwerp ☹️
 - Vliegende kop
 - » Zeer dicht tegen oppervlakte, maar raakt niet 😊
 - Vlieghoogte
 - Stilstand: koppen rusten op schijf
 - Rotatie: luchtverplaatsing
 - » Koppen zweven dmv. Vleugels
 - » Vs. Floppy disk (bij floppy is er contact!)

HARDE SCHIJVEN

- Opbouw van een moderne harde schijf
 - Vlieghoogte
 - Bekende head-crash
 - Stofdeeltje in de harde schijf
 - Harde schijf 240 km/u t.o.v. kop
 - Stofdeeltje laat kop omhoog springen en beschadigd ook de harde schijf



HARDE SCHIJVEN

- Luchtcirculatie en koeling
 - Geen vacuüm
 - Gas is nodig
 - Koppen vliegen met vleugels op gas
 - Behuizing niet volledig afgesloten
 - Filters indien lucht gebruikt als gas
 - Luchtdicht afgesloten indien helium gebruikt als gas

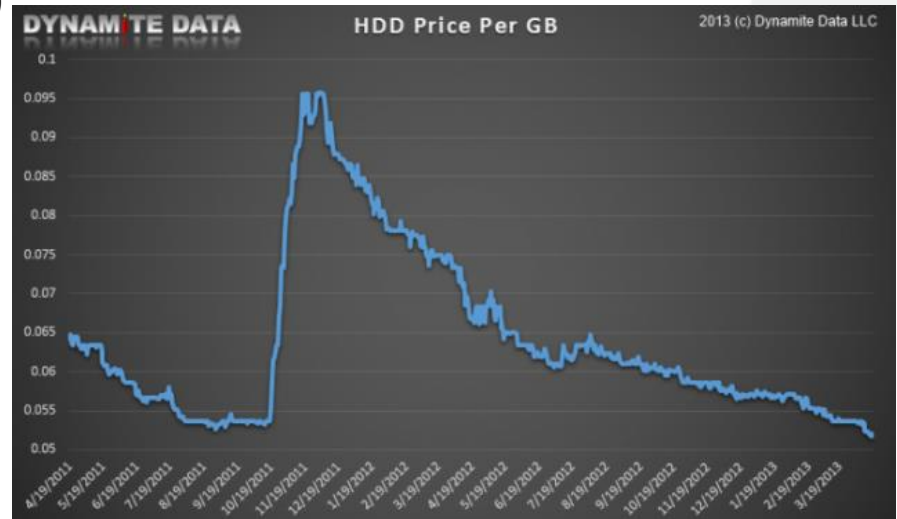


HARDE SCHIJVEN

- Belangrijke karakteristieken

- Grootte

- 0,05 € /GB (anno 2010)
 - 0,15 €/GB (anno 2011)
 - 0,05 €/GB (anno 9/2012)
 - 0,03 €/GB (anno 2014)



- Snelheid

- 3600 tpm, 4200, 5400 tpm, 7200 tpm, 10000 tpm, 15000 tpm

- Vast/uitneembaar

HARDE SCHIJVEN

- Keuze harde schijf is belangrijk
 - Performantie
 - Snelheid opstarten
 - Snelheid laden programma's
 - Grote hoeveelheden data (bv. Films)
 - Opslagcapaciteit
 - Besturingssysteem
 - Data
 - Tegenwoordig: film, audio, nieuwere en zwaardere software
 - veel plaats vereist
 - Betrouwbaarheid
 - Niet te veel besparen op harde schijf
 - Data is kostbaar

HARDE SCHIJVEN

- Toegangstijd

Command Overhead Time + Seek Time + Settle Time + Latency

- Command Overhead Time

- Doorgeven van commando aan harde schijf

- Seek time

- Koppen verplaatsen naar juiste spoor
 - Gemiddeld: 8ms
 - track-to-track: 1.x ms
 - full stroke (heel de schijf)

- Settle time

- Tijd tot kop klaar is om te lezen (geen trilling of beweging meer)

- Latency

- Harde schijf draait
- Kop kan juist nog een hele schijfdraai moeten wachten...
- 7200 tpm: 8.3 ms volledige omwenteling
- 15000 tpm: 4 ms volledige omwenteling

HARDE SCHIJVEN

- Toegangstijd
 - Cache
 - Interne cache in moderne harde schijven
 - Standaard 8 MB anno 2005
 - Overhyped
 - Maakt niet ZO veel verschil uit
 - » 4 MB vs 512 KB
 - » 4% verschil...
 - Defragmentatie: Bijeenzetten van data om de toegangstijd te verlagen



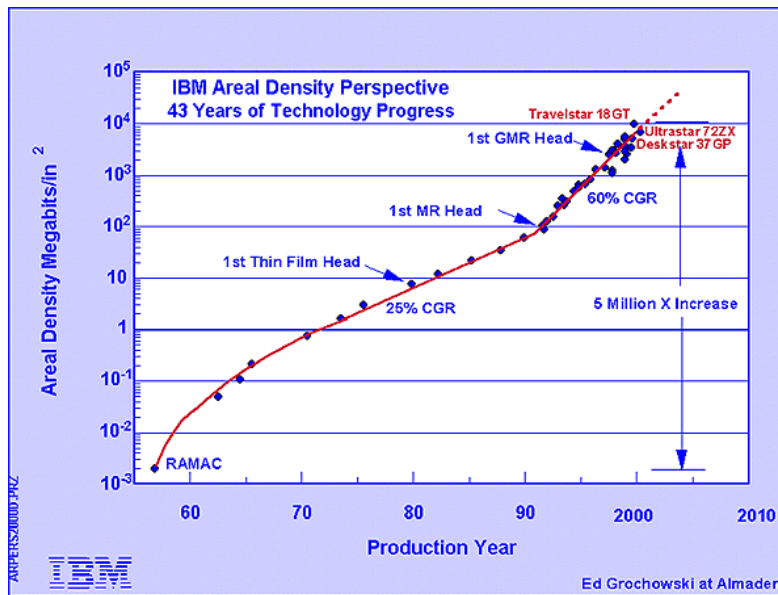
HARDE SCHIJVEN

- Form Factors
 - 2.5" laptops
 - 3.5" standaard



HARDE SCHIJVEN

- Hard disk trends
 - Verbeteringen tegenover vroeger:
 - Capaciteit
 - Stijgt in versneld tempo
 - Verdubbeling om de 2 jaar
 - Draaisnelheid
 - » 7200 tpm standaard
 - » 15000 tpm scsi



HARDE SCHIJVEN

- Hard disk trends
 - Verbeteringen tegenover vroeger:
 - Betrouwbaarheid
 - Minder snelle verbetering dan andere eigenschappen
 - ⇒ RAID
 - Interfaces
 - Snellere harde schijven
 - Ook de interface naar de harde schijf moet mee evolueren
 - SATA (serial ATA)
- <https://www.youtube.com/watch?v=enQ-zrNSSM4>
 - Visuele representatie van werking HDD

RAID

- Redundant
 - Redundantie of overtolligheid
- Array of Disks
 - Stel schijven die één logisch geheel vormen, gebruiker ziet het systeem als één groot geheel
- Inexpensive (independant) Disks
 - Oorspronkelijk concept: goedkopere (iets minder betrouwbare) schijven combineren
 - door middel van RAID-concept geeft dit je toch een betrouwbaar geheel

RAID

- Foutentolerantie

- Gegevens meer dan één keer aanwezig (redundantie)
 - Geen single point of failure meer
- Stel schijf valt uit
- Nog steeds gegevens aanwezig op redundante schijf
- Welke RAID voorziet dit?
 - Alle RAID-levels behalve RAID 0

- Capaciteit

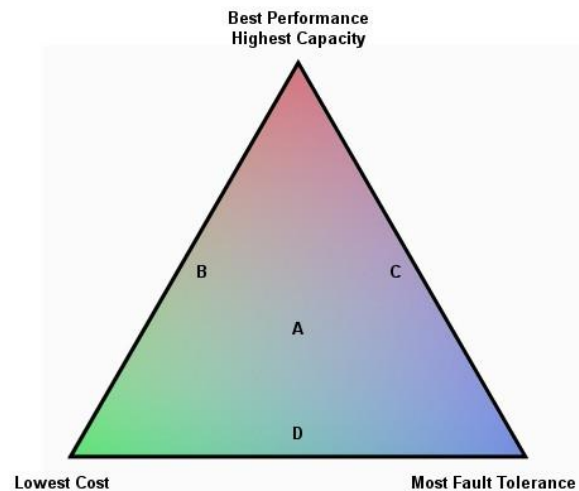
- Meerdere HD groeperen als 1 logische HD
- Groeperen
 - Plaats verloren door instellingen (schijven op elkaar afstellen)
 - Plaats verloren voor eventuele redundantie

RAID

- Fault tolerance
 - Gegevens meer dan één keer aanwezig (redundantie)
 - Stel schijf valt uit
 - Nog steeds gegevens aanwezig op redundante schijf
 - Welke RAID voorziet dit?
 - Alle RAID-levels behalve RAID 0

RAID

- Performantie
 - Verschillende schijven tegelijk uitlezen/beschrijven
- VS
- Alles op 1 schijf
 - Verplaatsing van koppen, rotationele wachttijd, ...
- “Fast, cheap, good: choose two”
 - Algemene regel
 - Ook op RAID toepassen



RAID

- RAID tradeoff
 - Indien je een lage prijs wil
 - Minder goede performantie, minder capaciteit
 - Minder goede foutentolerantie
- RAID beperkingen
 - RAID biedt voor een aantal problemen VERHOOGDE bescherming, maar geen totale
 - RAID \neq Superman \neq backup
 - Vb.: Deleten van files, twee disks samen uitvallen, brand, virus, ...

Backups blijven noodzakelijk!

RAID

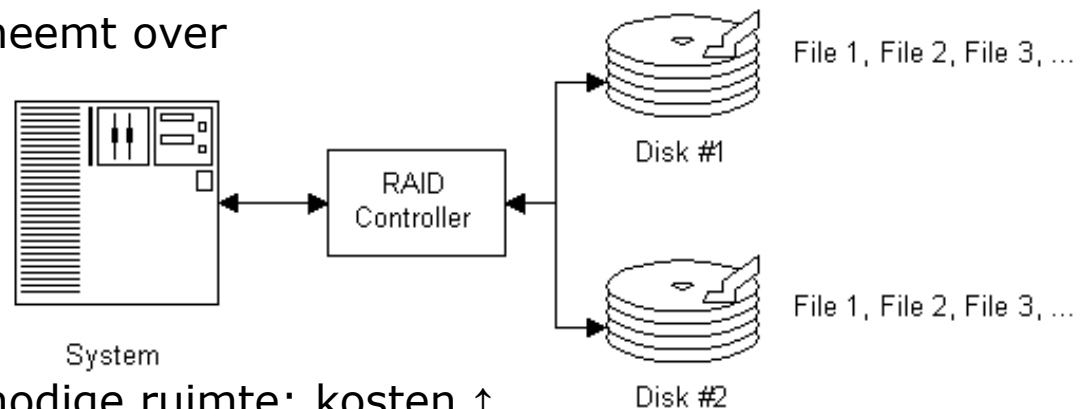
- RAID concepten

- Disk mirroring (schijfspiegeling)

- Voor een bepaalde schijf een dubbel voorzien
 - Twee schijven bevatten dus identieke informatie
 - "Spiegel"
 - Alles wat wordt weggeschreven, wordt dubbel weggeschreven
 - Bij panne
 - Andere schijf neemt over

- **Voordeel:**
 - Veiliger

- **Nadeel**
 - Verdubbeling nodige ruimte: kosten ↑



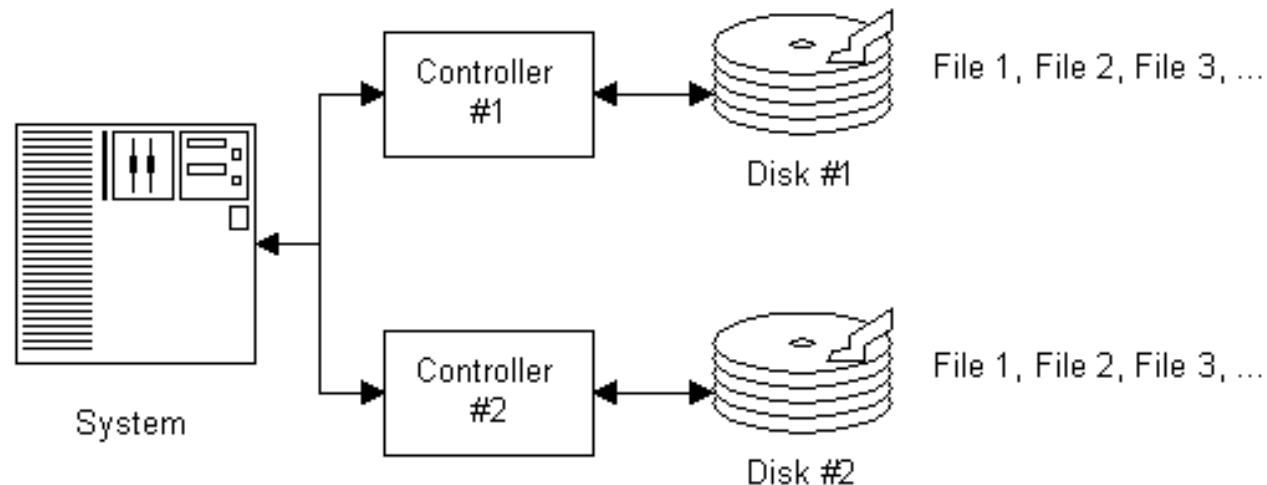
RAID

- RAID concepten

- Duplexing

= mirroring, maar nu wordt een deel van de besturingsfunctie in de schijf ondergebracht

- Parallel lezen en schrijven
 - Snelheidsvoordeel !!
 - Ook bescherming tegen defecte controller door aparte controllers

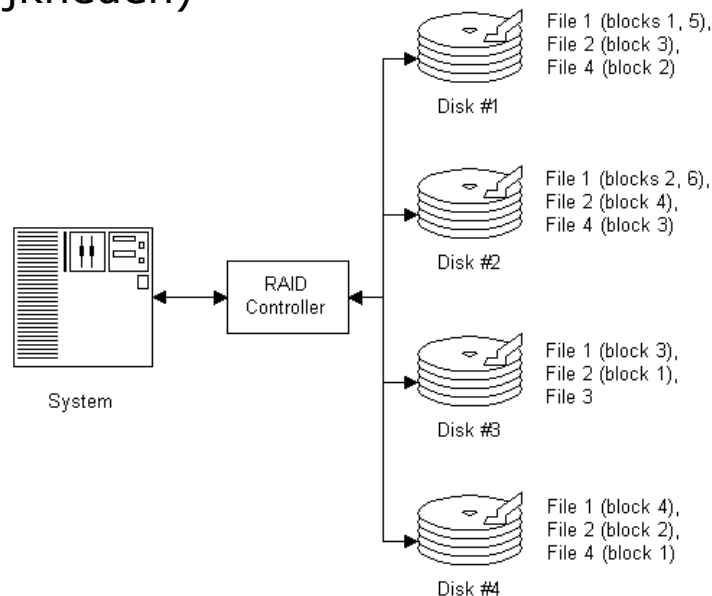


RAID

- RAID concepten

- Disk striping (schijvenspreiding)

- Vooral wachttijden maken harde schijven zo traag tov. werkgeheugen
 - Bestanden verdelen over meerdere schijven
 - Bekijkt de schijven als 1 logisch geheel
 - “Uitsmeren” van de gegevens over de verschillende schijven
 - Uitsmeren op sector-niveau of byte-niveau (of tussenliggende mogelijkheden)



RAID

- RAID concepten
 - Parity ((N+1)-concept)
 - Extra informatie toevoegen
 - N schijven bevatten de echte informatiebits
 - (N+1)-ste schijf bevat niet anders dan de test-informatie (testbits)
 - (N+1)-ste
 - Ofwel gegevens herstellen bij fout
 - Ofwel fout signaleren

RAID

- RAID concepten
 - Parity ((N+1)-concept)
 - Systeem van informatiecontrole
 - Meestal met behulp van XOR

A	B	A XOR B
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	0

- Als $A \text{ XOR } B = C$
 - » Dan $B \text{ XOR } C = A$
 - » Dan $A \text{ XOR } C = B$

RAID

- RAID concepten

- Parity ((N+1)-concept)

- Systeem van informatiecontrole

- Vb.: D1=1010 D2=0111
 D3=0011 D4=0110

Extra opgeslagen informatie is D(ata)P(arity)
= D1 XOR D2 XOR D3 XOR D4
= 1000

Stel D2 kwijt...

Berekenen door D1 XOR D3 XOR D4 XOR DP
D2 = 0111 OK!

RAID

- RAID concepten

- Parity ((N+1)-concept)

- Enkel nog weten welke (D1,D2,D3,D4) juist verloren is gegaan...

- Parity **vs.** Mirroring

- Mirroring: quasi-perfecte bedrijfszekerheid (bij beveiliging tegen het uitvallen van een schijvenhouder)
 - Mirroring: langere tijd nodig voor herstel van een gefaalde schijf
 - Mirroring: winst bij lezen
 - Parity nog sneller door parallellisme
 - Parity: bescherming tegen occasionele fouten opsporen en verbeteren (dit heeft schijfspiegeling niet)

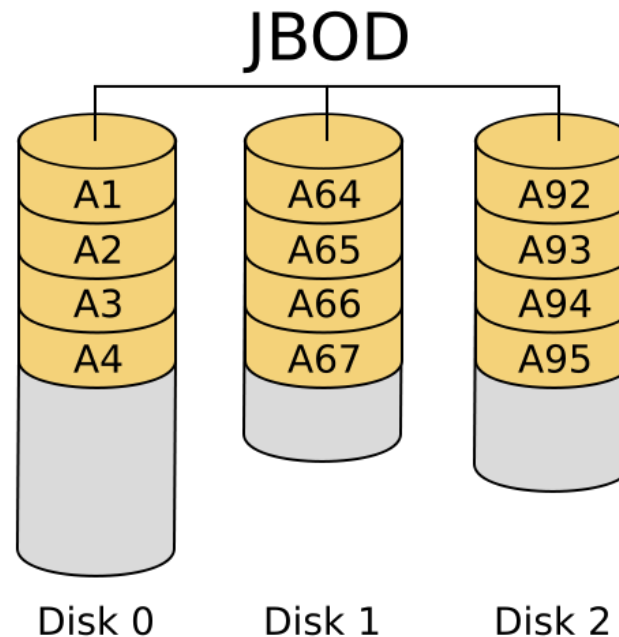
RAID

- RAID levels
 - Elke RAID level
 - Is een combinatie van mirroring, striping, duplexing, parity
 - Is niet onderling vergelijkbaar met andere RAID-levels
 - Levels verwijst niet naar niveaus: niet noodzakelijk beter dan een lager level
 - Controller vereisten
 - Eenvoudige RAID: goedkope controller
 - Ingewikkeldere RAID: dure speciale controllers
 - Altijd mogelijk als pure software-RAID
 - Vaak verlaagde performantie

RAID

- JBOD

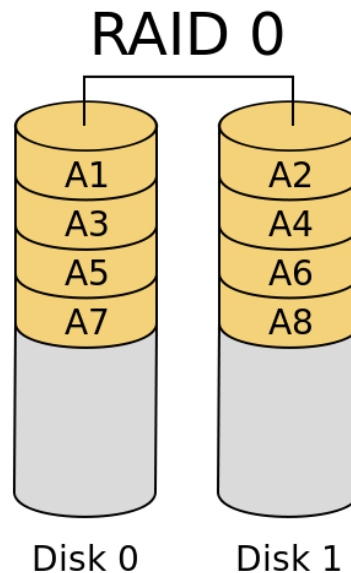
- Just a Bunch Of Disks (Spanned volume)
- Een aantal schijven aan elkaar “plakken”
- Geen voordelen behalve groter volume



https://en.wikipedia.org/wiki/Standard_RAID_levels

RAID

- RAID level 0
 - “Data striping without parity”
 - Eigenschappen
 - Geen redundantie
 - Geen veiligheid
 - Bestanden in stukken over meerdere schijven wegschrijven
 - Performantie

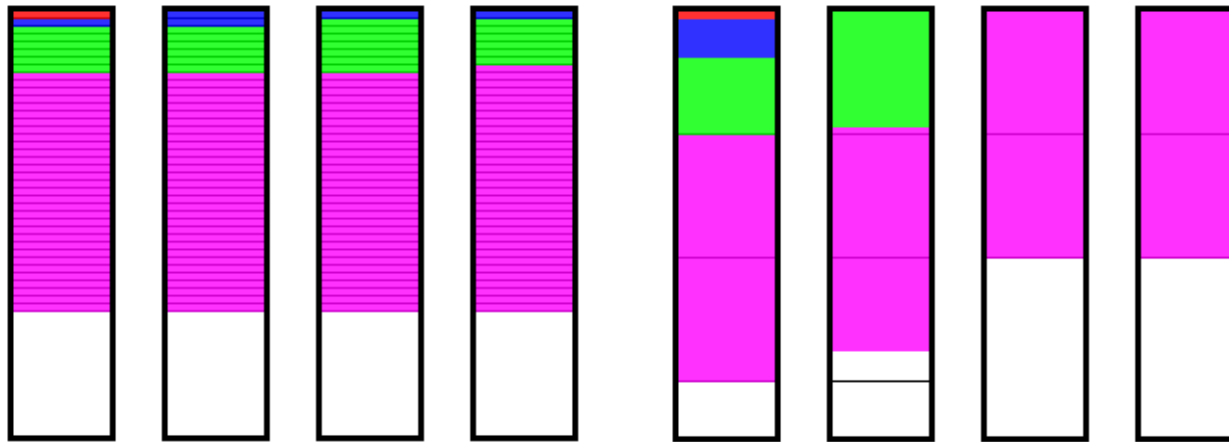


RAID

- RAID level 0
 - Eigenschappen
 - Gebruiker zelf merken of er fouten zijn gebeurd
 - Controller
 - Ondersteund door alle hardware controllers van HD
 - Dikwijls software RAID controller
 - Harde schijven
 - Minimaal 2
 - Liefst zelfde grootte, snelheid, ...
 - Stripe size
 - Hoeveelheid bytes dat geschreven wordt op een disk
 - Daarna wordt overgeschakeld op de volgende disk
 - 4KB, 16KB, 64KB, 128KB afhankelijk van configuratie

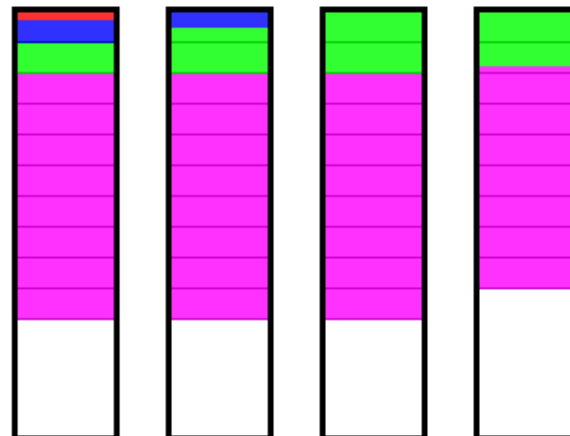
RAID

- RAID level 0: stripe sizes



64KB stripe size

4KB stripe size



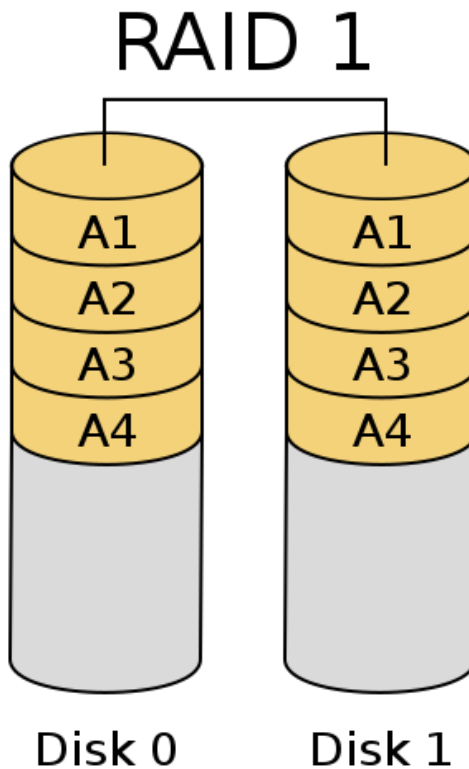
16KB stripe size

RAID

- RAID level 1
 - Mirroring of duplexing (=mirroring met aparte controllers)
 - Eigenschappen
 - Grote veiligheid
 - Relatief hoge kosten (verdubbeling nodige opslagruimte)
 - Controller
 - Ondersteund door alle hardware controllers
 - Ook mogelijk softwarematig
 - HD
 - Identieke schijven
 - Indien niet identiek:
 - Grootte van kleinste schijf wordt gespiegeld
 - » Plaats kwijt
 - Vooral voor lees-intensieve toepassingen
 - Twee lees-aanvragen tegelijk behandelen

RAID

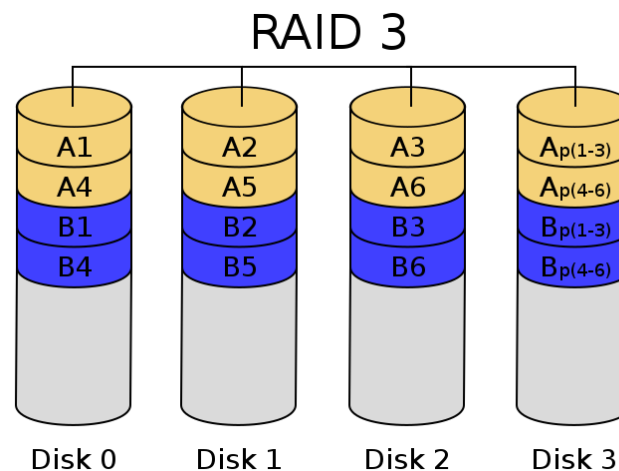
- RAID 1: twee schijven met exact dezelfde inhoud



https://en.wikipedia.org/wiki/Standard_RAID_levels

RAID

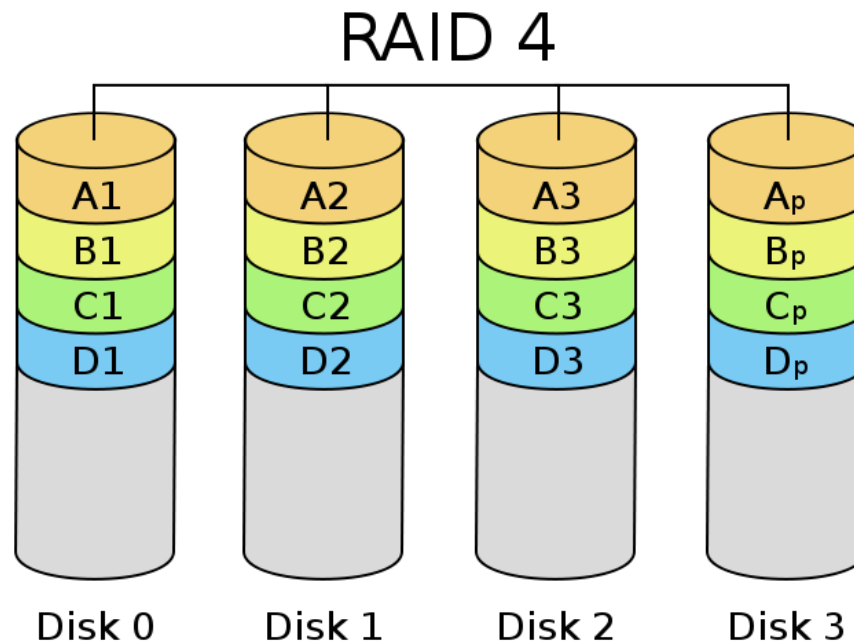
- RAID level 3
 - Byte-level striping met extra pariteit
 - Eigenschappen
 - Er mag 1 schijf uitvallen
 - Stripe size < 1024 bytes
 - Harde schijven
 - Minimum 3 (2 data + 1 parity)
 - Best identieke schijven
 - Prijs
 - Middelmatig



https://en.wikipedia.org/wiki/Standard_RAID_levels

RAID

- RAID level 4
 - Block-level striping met extra parity
 - Zelfde als RAID 3
 - Maar met blokken (dus groter dan 1024 bytes)
 - Extra parity disk mag ook uitvallen...



https://en.wikipedia.org/wiki/Standard_RAID_levels

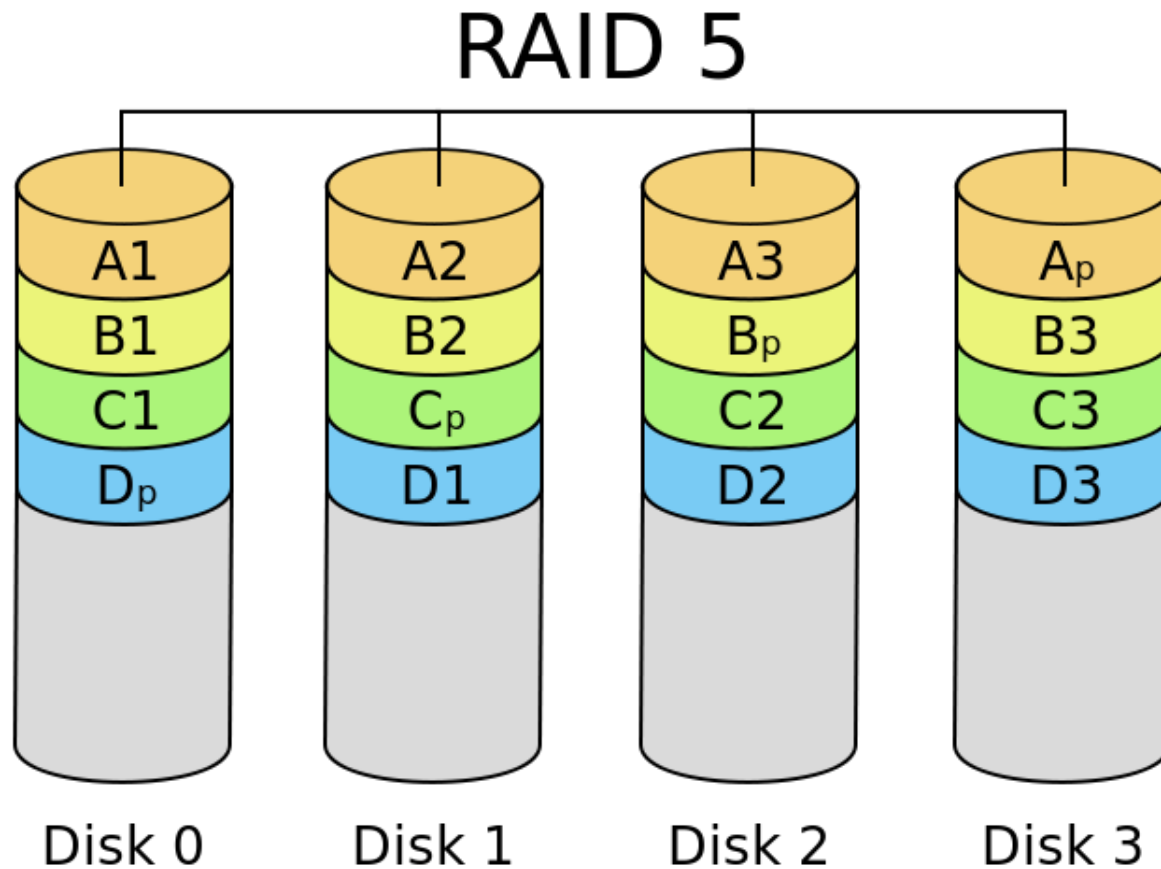
RAID

- RAID level 5

- Block-level striping met gedistribueerde pariteit
- Zeer populair
- Zelfde als RAID 4
 - Maar parity op schijven gedistribueerd
- Controller
 - High-end (dure) controller; soms ook softwarematig, maar ten koste van performantie
- Harde schijven
 - Minimum 3, max. afhankelijk van controller
 - Identieke schijven
- Veiligheid
 - Er mag 1 schijf volledig wegvallen

RAID

- RAID level 5



https://en.wikipedia.org/wiki/Standard_RAID_levels

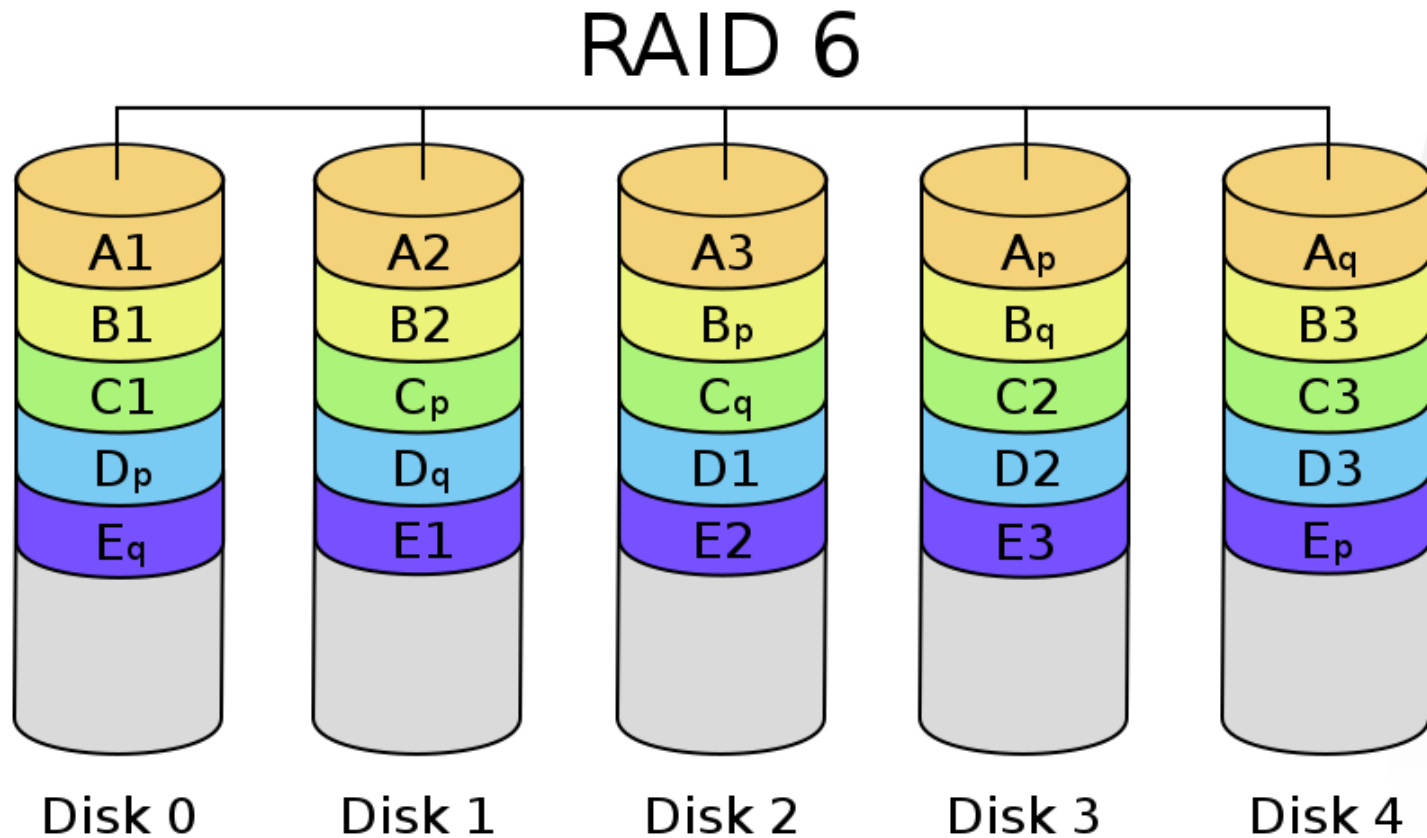
RAID

- RAID level 6

- Block-level striping met duale gedistribueerde pariteit
= RAID 5 maar meer pariteit
- 2x pariteitscontrole om nog meer fouten toe te laten
- Kan 2 uitgevallen disks aan, terwijl de andere RAID's maximaal 1 uitgevallen disk aankunnen
- Controller
 - Dure gespecialiseerde controller
- Harde schijven
 - Minimum 4 (2x schrijven, 2x pariteits)
 - Identieke grootte en type
- Effectieve opslag
 - $N-2/N$
- Veiligheid
 - Excellent!
 - Twee schijven mogen uitvallen...

RAID

- RAID level 6



https://en.wikipedia.org/wiki/Standard_RAID_levels

RAID

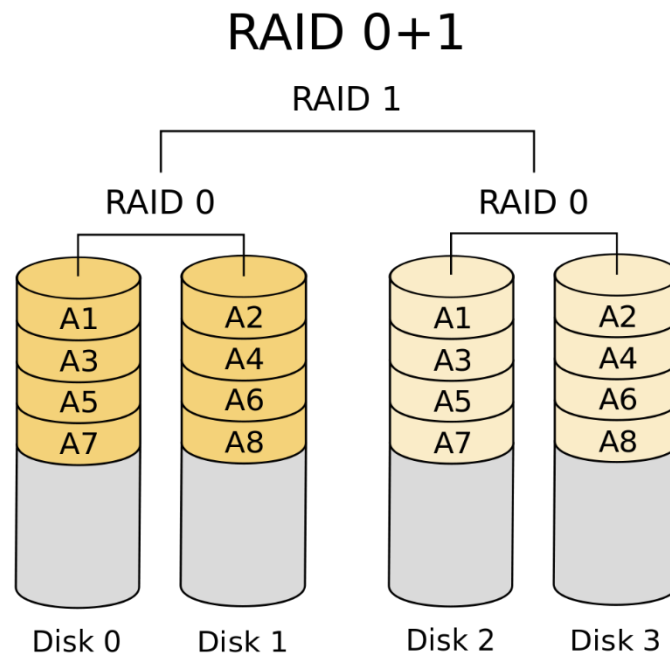
- Multiple RAID

- Meerdere RAID levels na elkaar toepassen (genest)

- Vb.: 6 schijven: 1-3 RAID 0 en 4-6 RAID 0

- ⇒ tussen de twee RAID 0 systemen werken met RAID 1

- ⇒ RAID 0+1

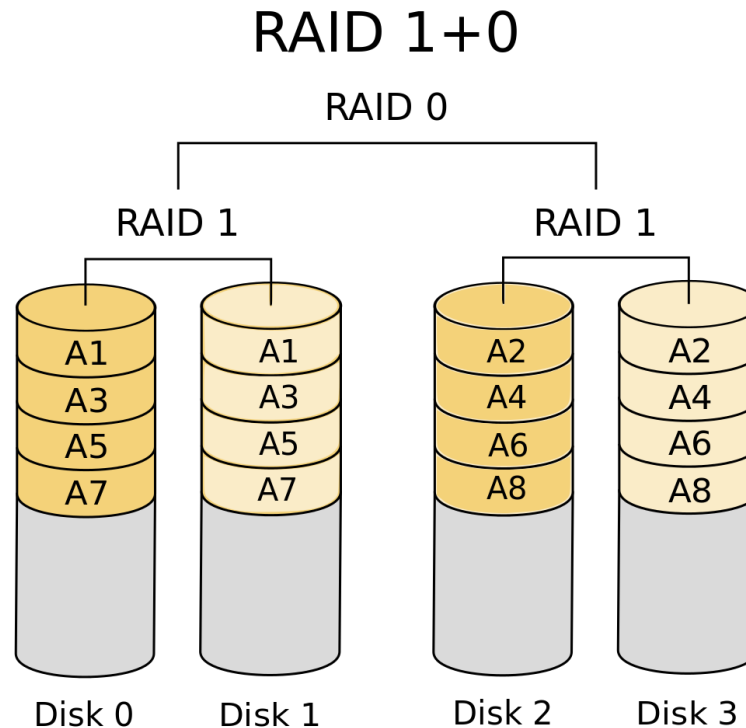


https://en.wikipedia.org/wiki/Nested_RAID_levels

RAID

- Multiple RAID

- Vb.: 4 schijven: 1-2 RAID 1 en 3-4 RAID 1
 - ⇒ tussen de twee RAID 1 systemen werken met RAID 0
 - ⇒ RAID 1+0, ook wel RAID 10 genaamd

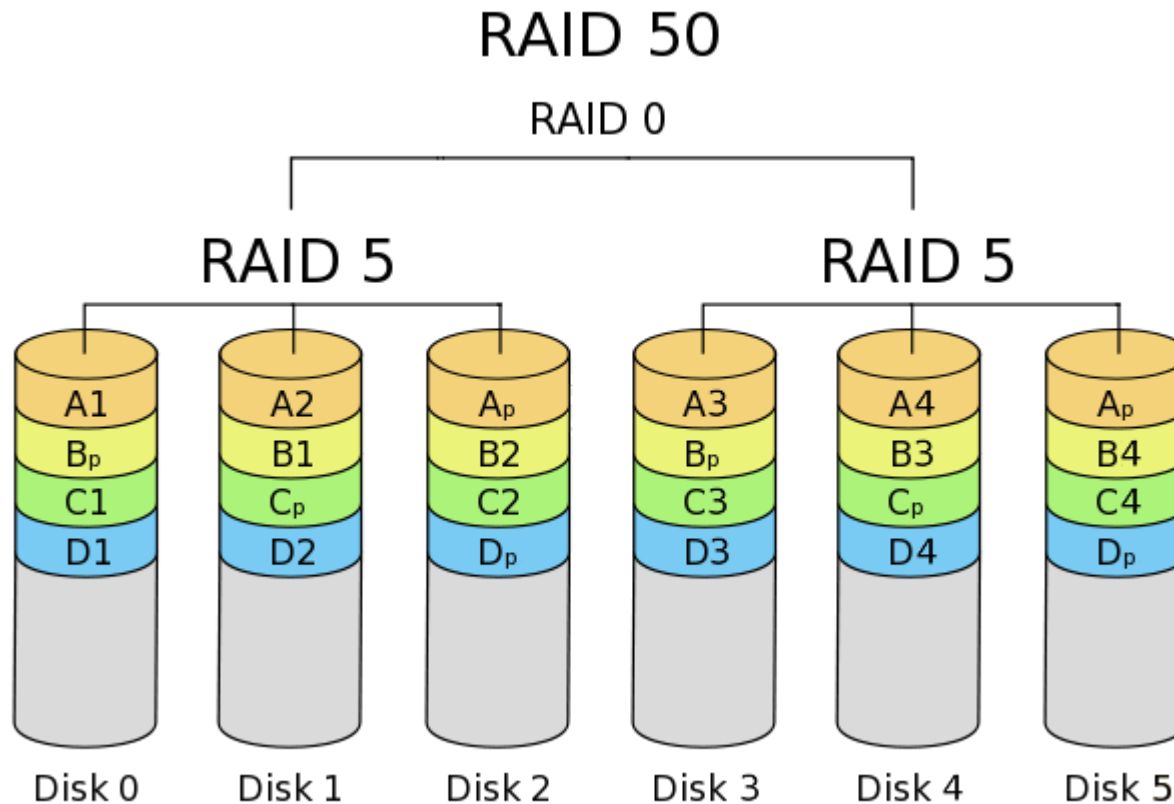


https://en.wikipedia.org/wiki/Nested_RAID_levels

RAID

- Multiple RAID

- Ook andere varianten zijn mogelijk, zoals RAID 50 en RAID 60



https://en.wikipedia.org/wiki/Nested_RAID_levels

RAID

Features	RAID 0	RAID 1	RAID 5	RAID 6	RAID 10	RAID 50	RAID 60
Minimum # Drives	2	2	3	4	4	6	8
Data Protection	No Protection	Single-drive failure	Single-drive failure	Two-drive failure	Up to one disk failure in each sub-array	Up to one disk failure in each sub-array	Up to two disk failure in each sub-array
Read Performance	High	High	High	High	High	High	High
Write Performance	High	Medium	Low	Low	Medium	Medium	Medium
Capacity Utilization	100%	50%	67% - 94%	50% - 88%	50%	67% - 94%	50% - 88%
Typical Applications	High End Workstations, data logging, real-time rendering, very transitory data	Operating System, transaction databases	Data warehousing, web serving, archiving	Data archive, backup to disk, high availability solutions, servers with large capacity requirements	Fast databases, application servers	Large databases, file servers, application servers	Data archive, backup to disk, high availability solutions, servers with large capacity requirements

RAID

- RAID controllers en Controller mogelijkheden
 - Hardware RAID beter dan software RAID
 - Level 3 en 5 best alleen met hardware RAID
 - **Hardware RAID**
 - Dedicated hardware
 - Goeie controller: mini-computer
 - **Software RAID**
 - Voordelen
 - Goedkoop
 - Eenvoudig
 - Duplexing m.b.v. software
 - Nadelen
 - Performantie is vaak lager
 - Booten is niet mogelijk van de array
 - Geen geavanceerde mogelijkheden
 - Afhankelijk van het OS
 - Conflicten met andere software