Toegepaste Informatica

2022 - 2023

UCLL HOGESCHOOL

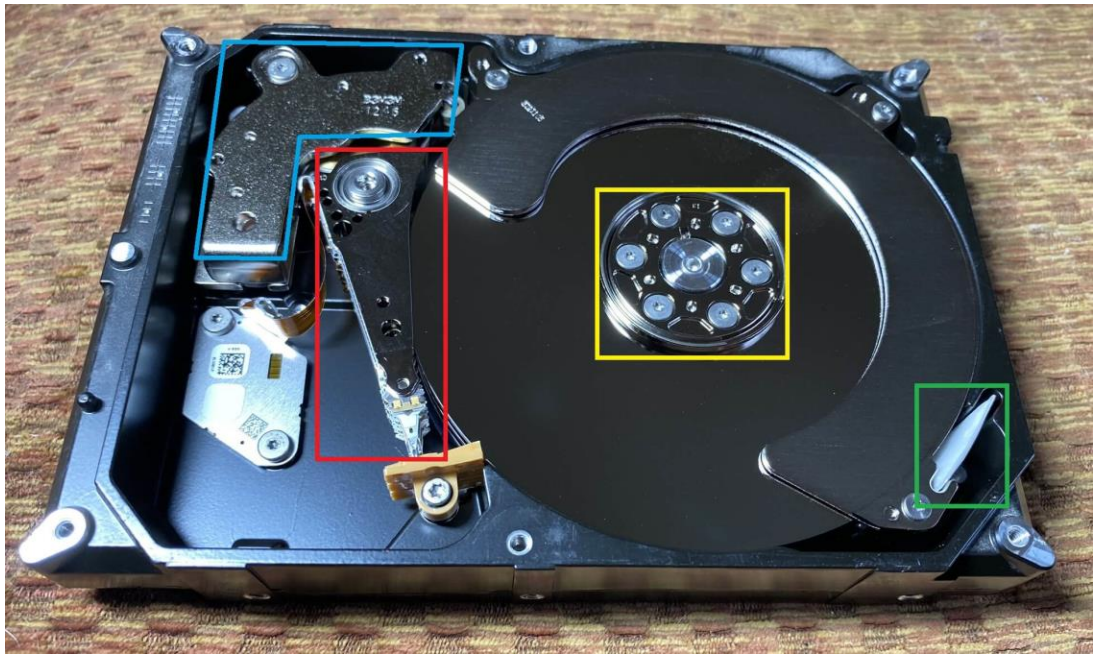
Computer Systems

4 Bestandsystemen en File management

Files

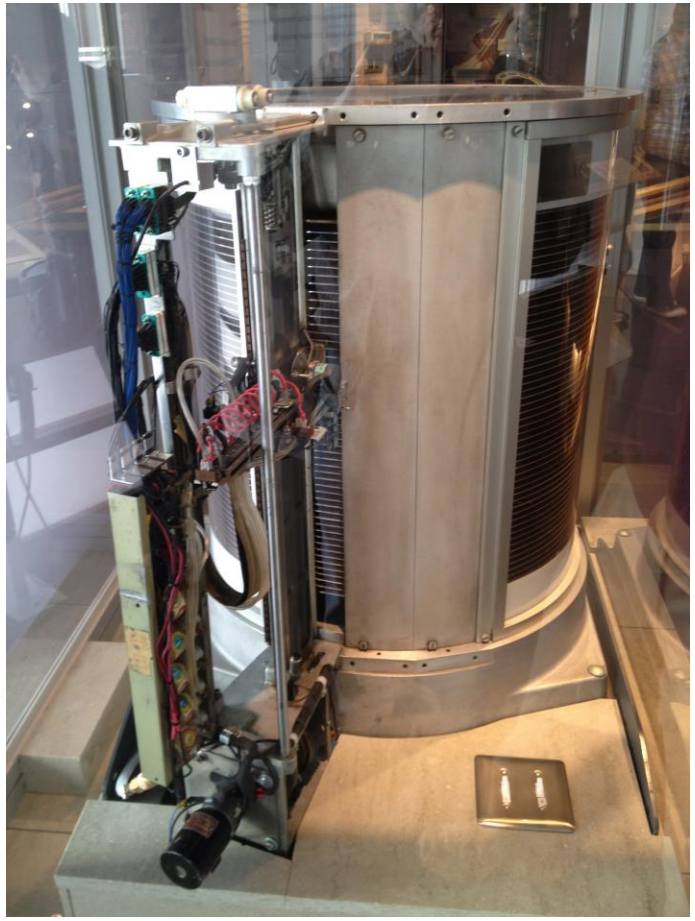
- Computer heeft duizenden files.
- Moeten ergens op bewaard worden
  - HDD
  - SSD
  - USB
  - …

HDD: Magneetschijven



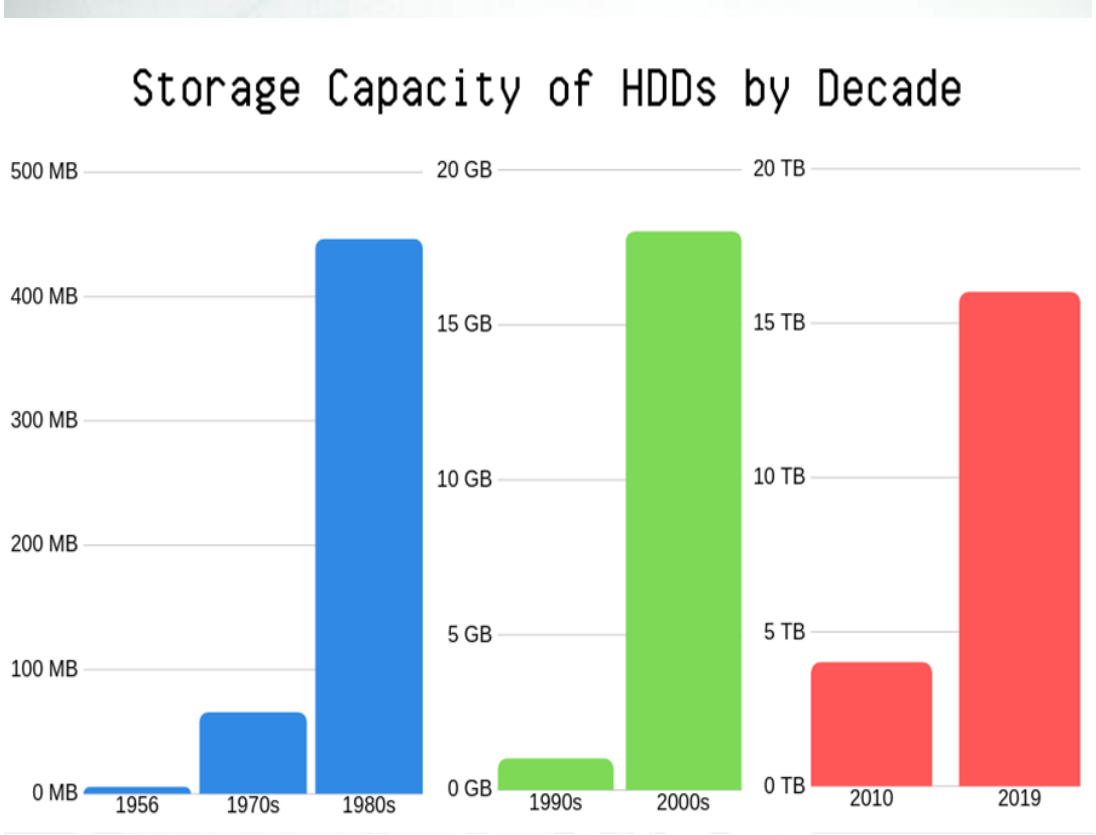
History

- Eerste commerciële schijf
  - 1956
  - IBM 350
  - 3,75MB
  - 152cm l x 74cm b x 172 cm h
  - Onderdeel van de 305 RAMAC computer
    - Ruimte van 9m x 15m
    - Leasing: $3200/maand ($30 874 in 2021)



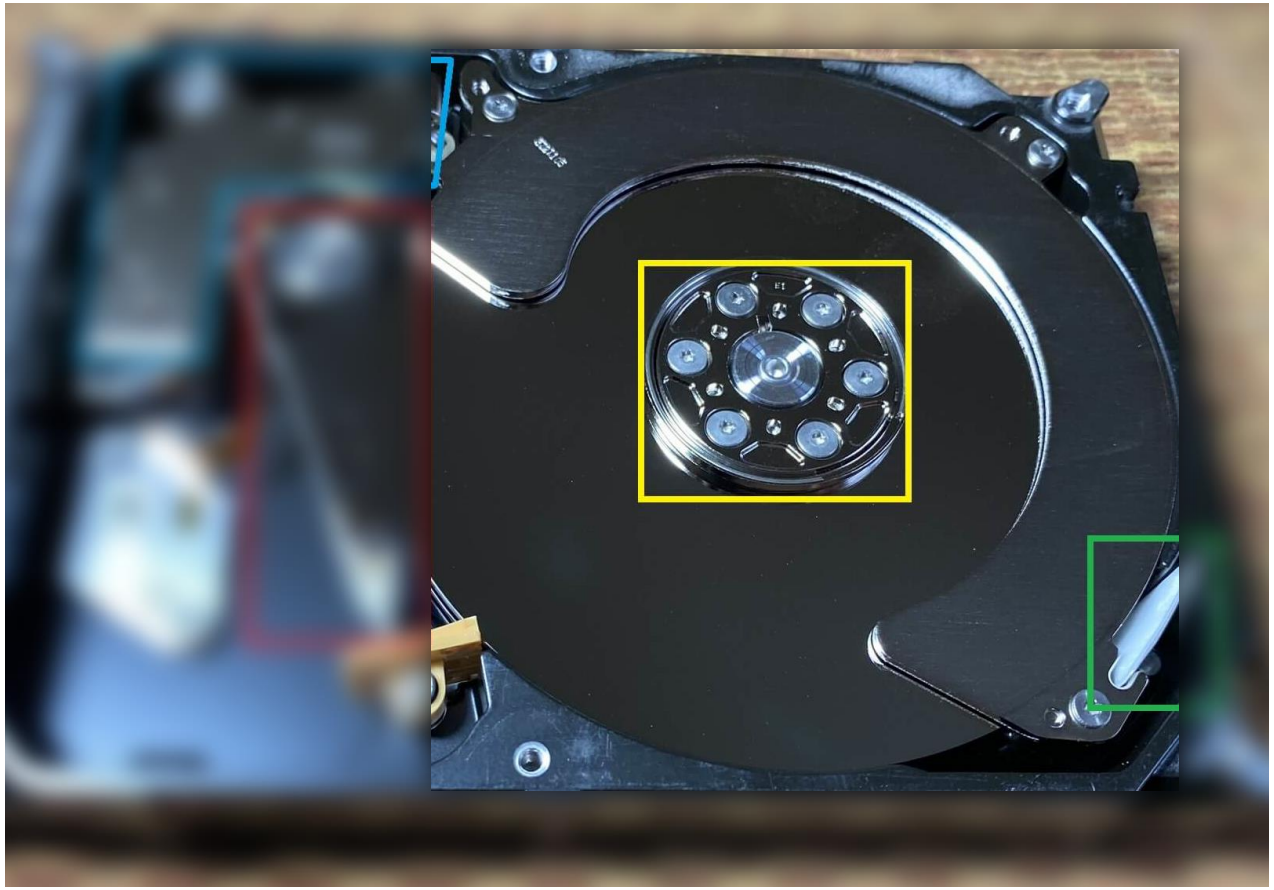
Evolutie

- Onderdelen:
  - Steeds kleiner geworden
  - Basis componenten niet veel veranderd
  - Capaciteit enorm gestegen
    - 3,75 MB in 1956
    - 20 TB in 2022
    - 50 TB tegen 2026 (Seagate)
    - 120+ TB tegen 2030 (Seagate)



Magneetschijven

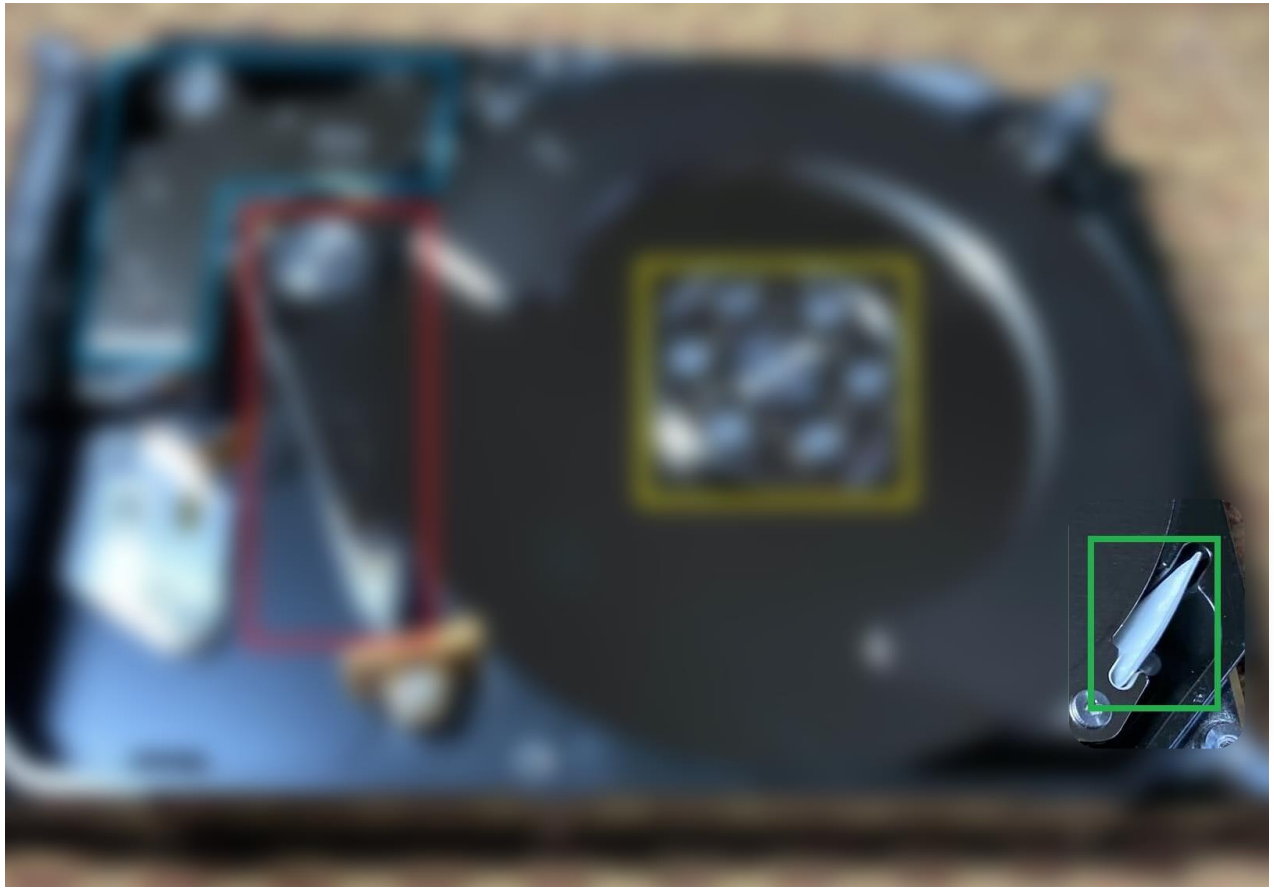
- Niet gemagnetiseerd materiaal
  - Aluminium
  - Glas (standaard)
- Beide kanten van schijf krijgen magnetische laag



Filter

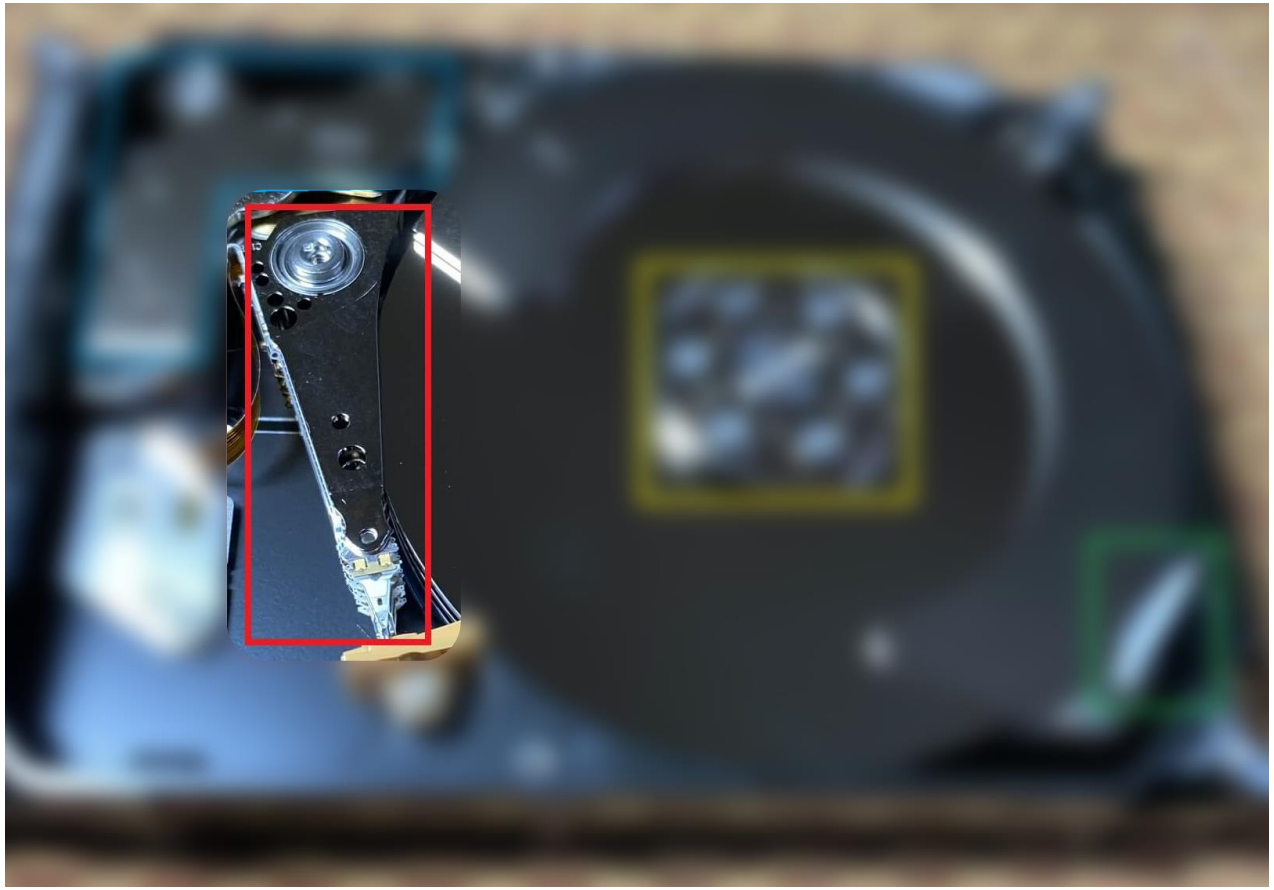
- Noodzaak:
  - Luchtcirculatie laat stof bewegen
  - HDD clean geproduceerd, toch steeds stofdeeltjes

- Filter vangt stofdeeltjes op en houdt ze vast



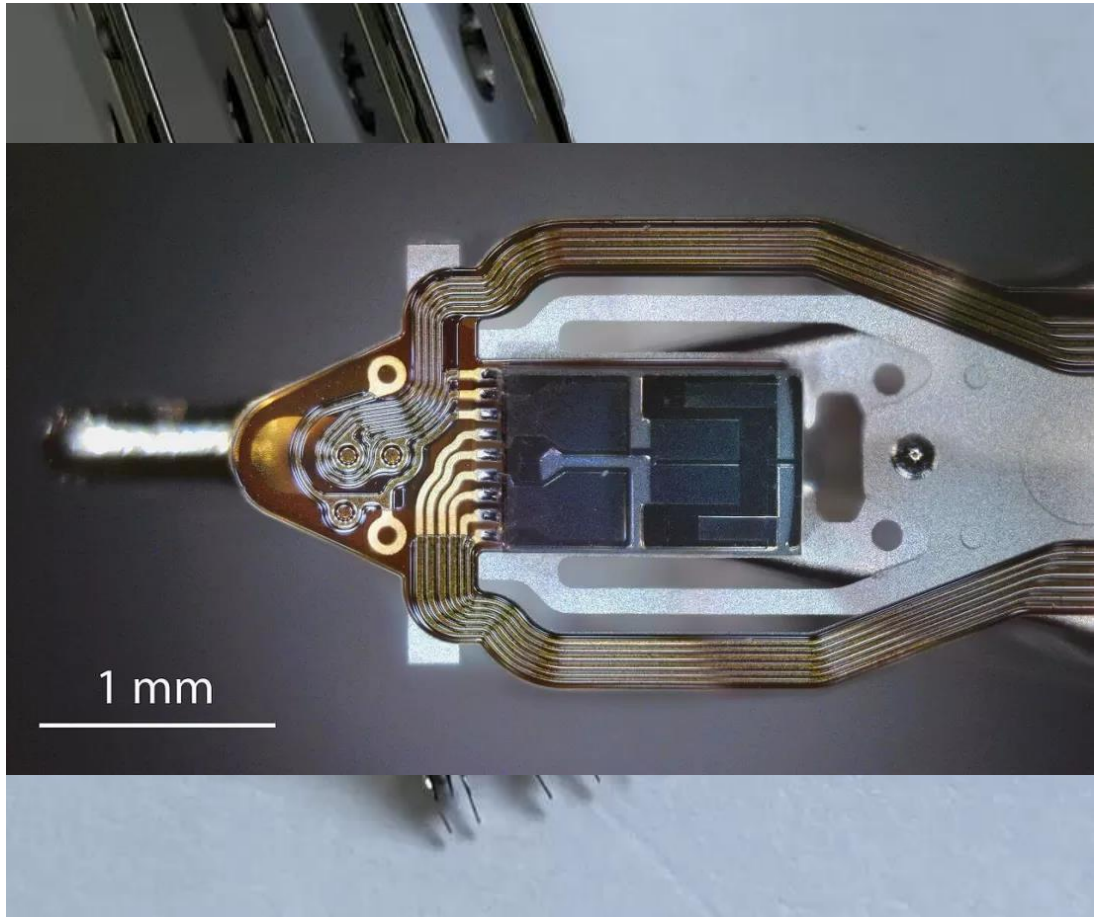
Arm

- Plaatst kop op juiste plek
- Beperkte radius:
  - Straal van HDD moet bereikt kunnen worden.



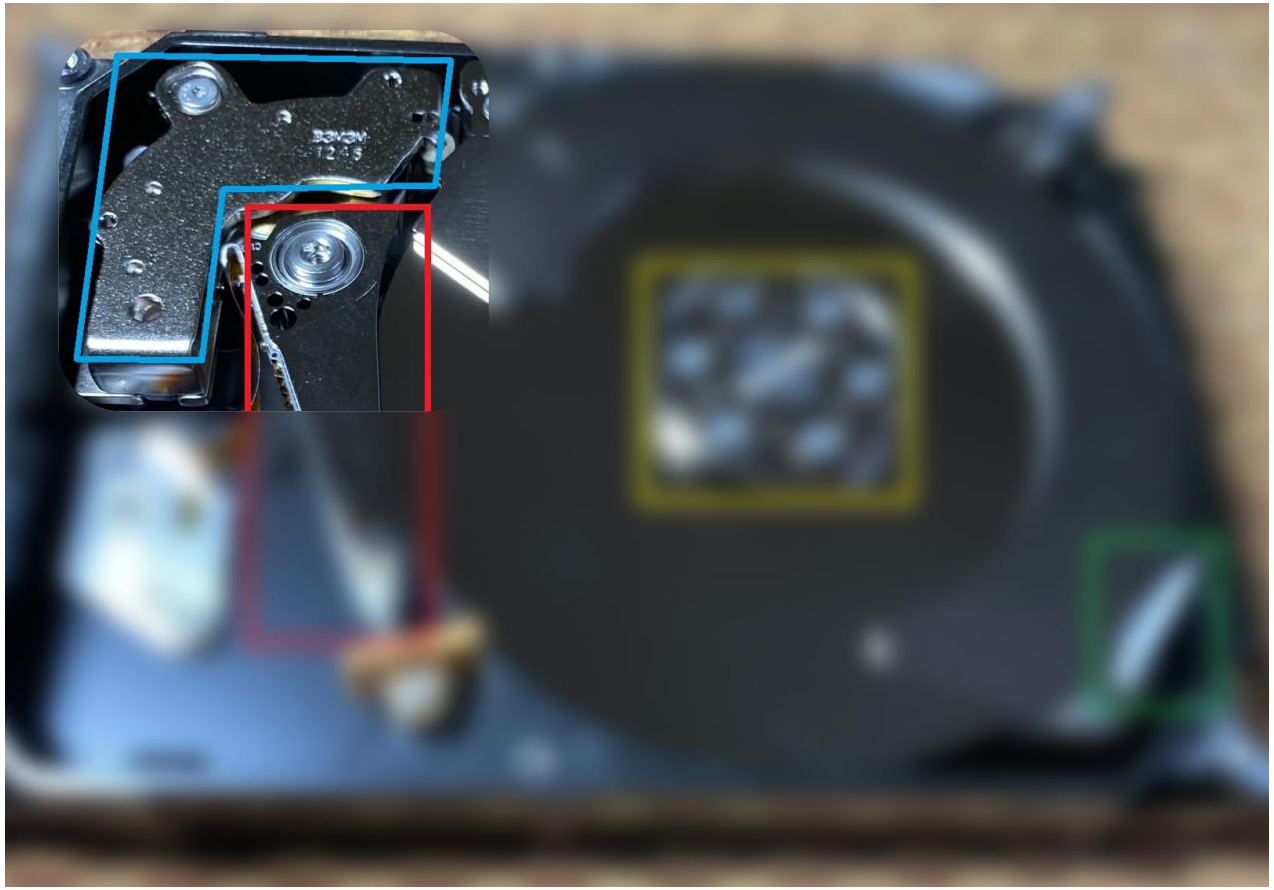
Lees- en schrijfkop

- Beweegt over mangeetschijven
- 1 kop voor zowel lezen als schrijven
- Meerdere koppen:
  - Per laag 1 kop



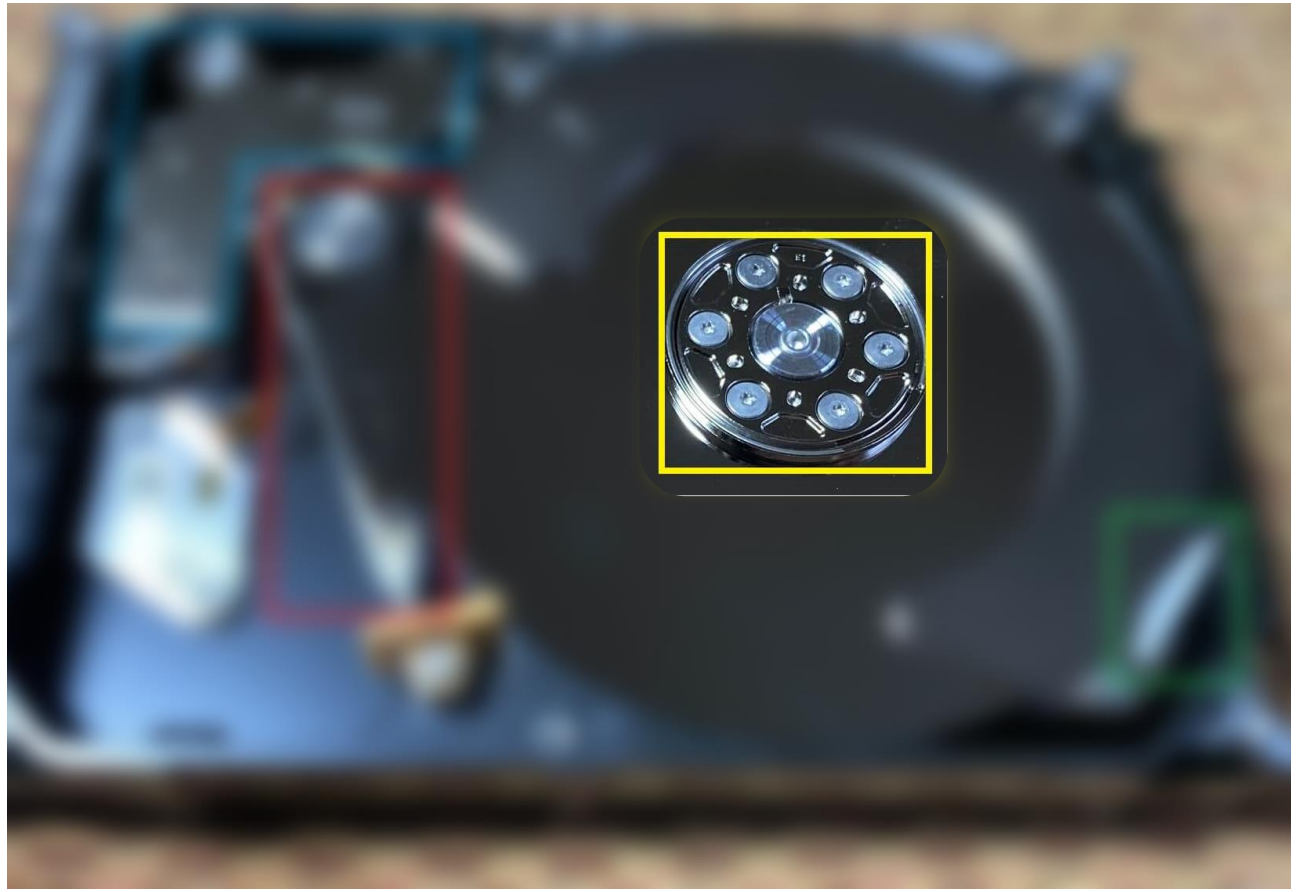
Magneet

- Wordt gebruikt om arm te laten bewegen
- 2 per HDD



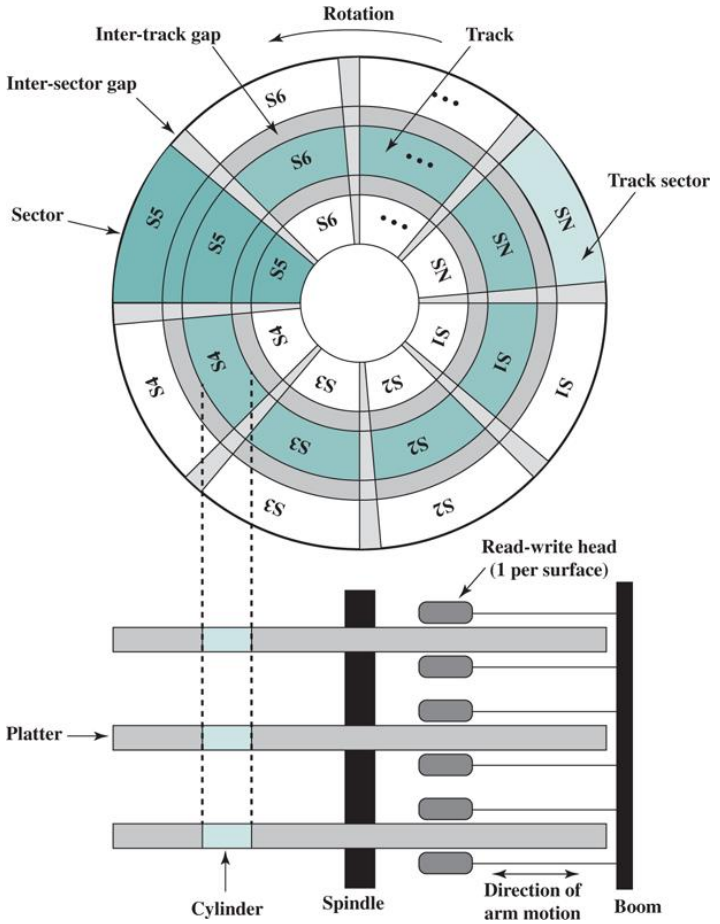
Draaimotor

- Laat schijven draaien
- Courante snelheden:
  - 5400 RPM
  - 7200 RPM



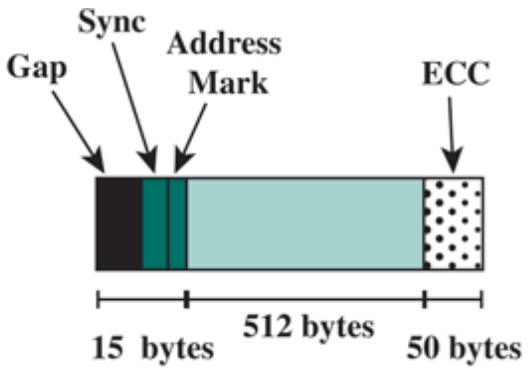
Sporen en sectoren

- HDD bestaat uit
  - Sporen:
    - Rij van bits
    - Lineaire dichtheid (aantal bits/lengteeenheid). 50000 bits/cm
  - Sectoren:
    - Deel van schijf dat begrensd wordt door 2 stralen
  - Cilinder:
    - Alle sporen onder elkaar (of onder de koppen van de arm)

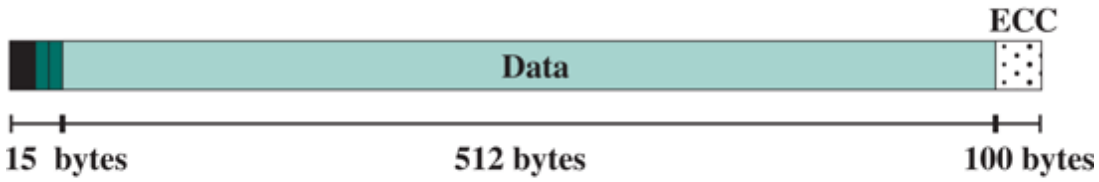


Opbouw sector

- Vaste grootte
  - 512 bytes
  - 4096 bytes (sinds 2010)
- Vaste structuur:
  - **Gap**: scheidt sectoren van elkaar
  - **Sync**: begin van sector, zorgt voor uitlijning
  - **Address Mark**: bevat sectornummer



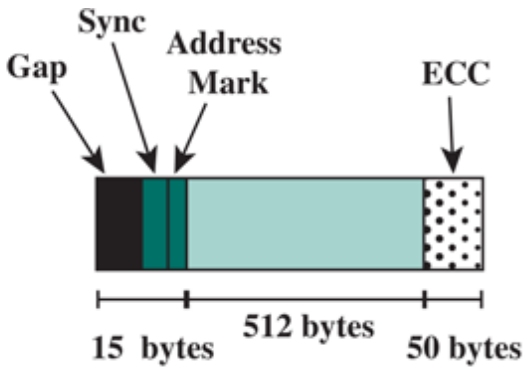
(a) Legacy 512-byte sector



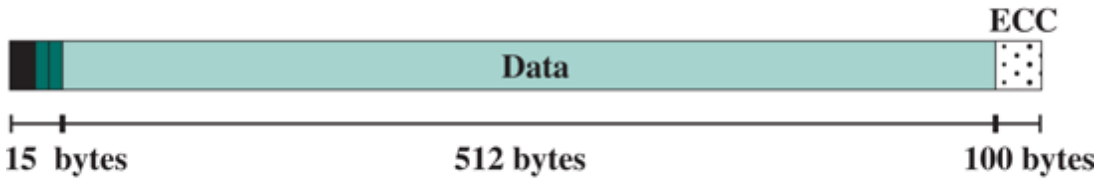
(b) Advanced Format 4k-byte sector

Opbouw sector

- Vaste structuur (part 2):
  - **Data**: eigenlijke data dat moet opgeslaan worden
  - **ECC**: aantal bytes om data uit sector te kunnen recuperen



(a) Legacy 512-byte sector



(b) Advanced Format 4k-byte sector

Sectornummer

- OS houdt voor elk bestand bij in welke sector(en) dit zich bevindt:
  - Vroeger: CHS (Cilinder, Head, Sector)
  - Nu: LBA (Logic Block Addressing)
    - Chronologische nummering begint bij 0
    - Eerst 22 bit mode voor adressen
      - Maximum capaciteit?
      - $2^{22} * 512 \text{ bytes} = 2 \text{ GB}$
    - Nu 48 bit mode voor adressen
      - $2^{48} * 512 \text{ bytes} = 144 \text{ PB}$

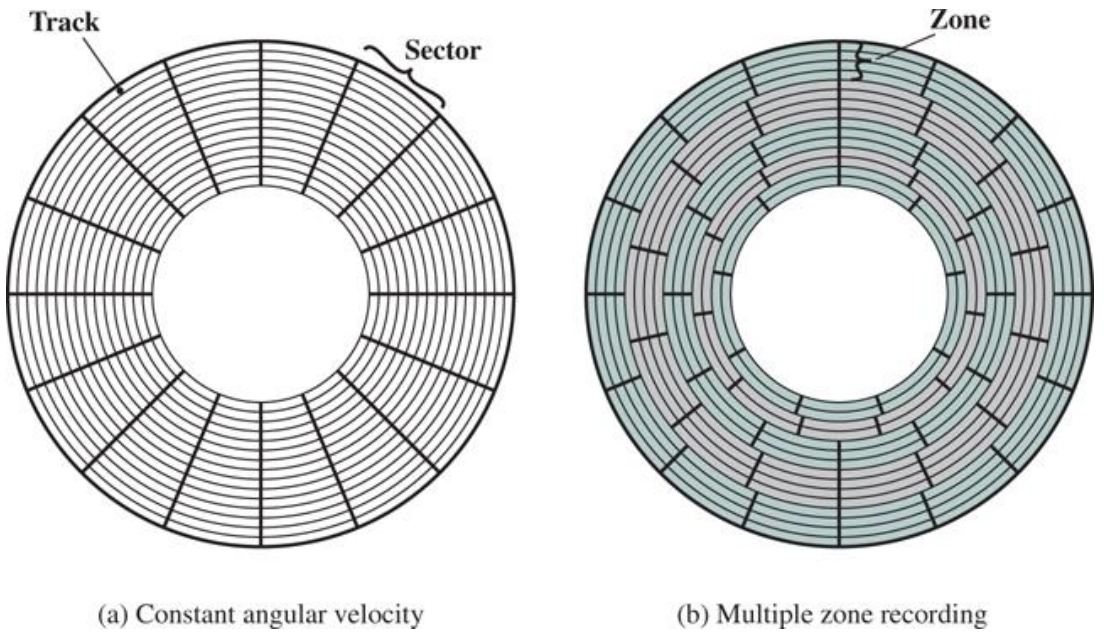
Magneetschijven: capaciteit

- Capaciteit is het aantal bytes dat beschikbaar is.
- Netto-capaciteit: het aantal bytes dat voor data kan gebruikt worden
- Bruto-capaciteit: netto-capaciteit, plus hoofdingen, controle bits en gaps

Zone bit recording

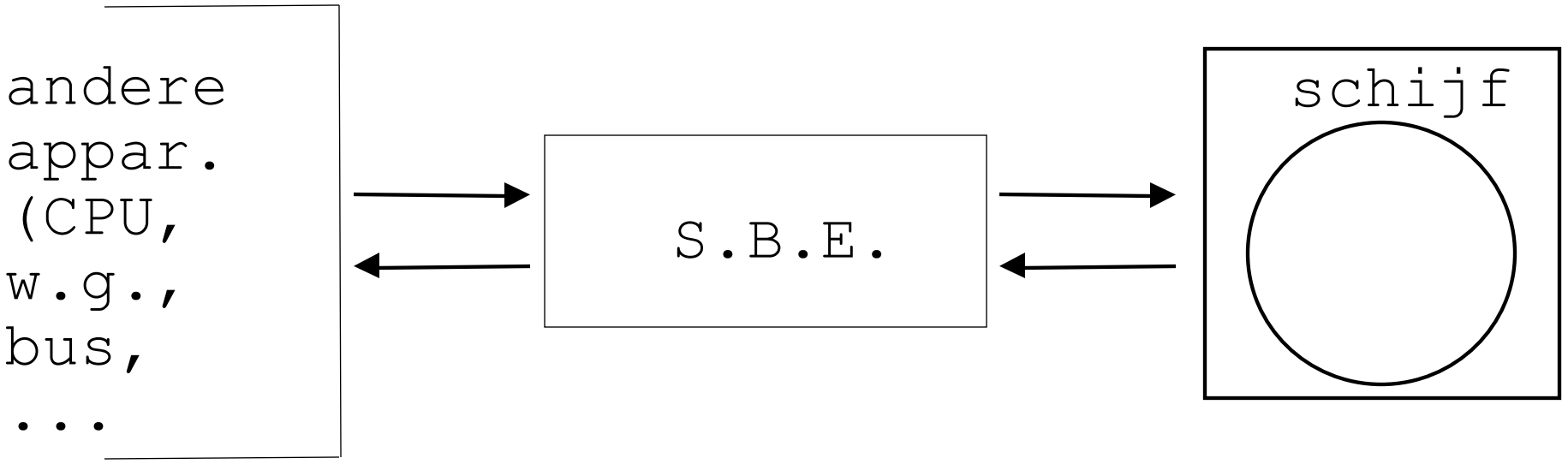
- LBA is de norm
- Niet elk spoor moet hetzelfde aantal sectoren hebben
- Buitenste spoor langer:
  - Veel meer bits

- Optimaal gebruik?
  - Meer sectoren naarmate we naar buitenste spoor gaan = **Zone bit recording**



Schijfbesturingseenheid

- Schijf (incl. de aandrijfeenheid) communiceert met de rest van de apparatuur via de S.B.E.



Wat doet de SBE?

- Arm bewegen tot kop op het juiste spoor staat (seek)
- Van alle sectoren de hoofding lezen, tot juiste sector passeert (search)

- Schrijven:
  - Gegevens (bvb. 4 kbyte) aannemen van de CPU en opslaan in buffer (in SBE)
  - Wegschrijven naar schijf
    - elektrische informatie (0V/5V) $\rightarrow$ magnetische informatie (noord/zuid)

Wat doet de SBE?

- Arm bewegen tot kop op het juiste spoor staat (seek)
- Van alle sectoren de hoofding lezen, tot juiste sector passeert (search)

- Lezen
  - Gegevens lezen van schijf en opslaan in buffer (in SBE)
    - magnetische informatie (noord/zuid) $\rightarrow$ elektrische informatie (0V/5V)
  - Gegevens (4 kbyte) naar de CVE sturen

Wat doet de SBE?

- Pariteitsbits berekenen en toevoegen (bij schrijven)
- Pariteitsbits controleren (bij lezen), eventueel opnieuw lezen
- Clusters niet lezen in de volgorde van de vraag, maar met wachttijden zo klein als mogelijk = native command queuing (NCQ)

SBE: soorten

- Verschillende standaarden
  - ATA (IDE, EIDE)
    (Advanced [illegible]ology Attachment)

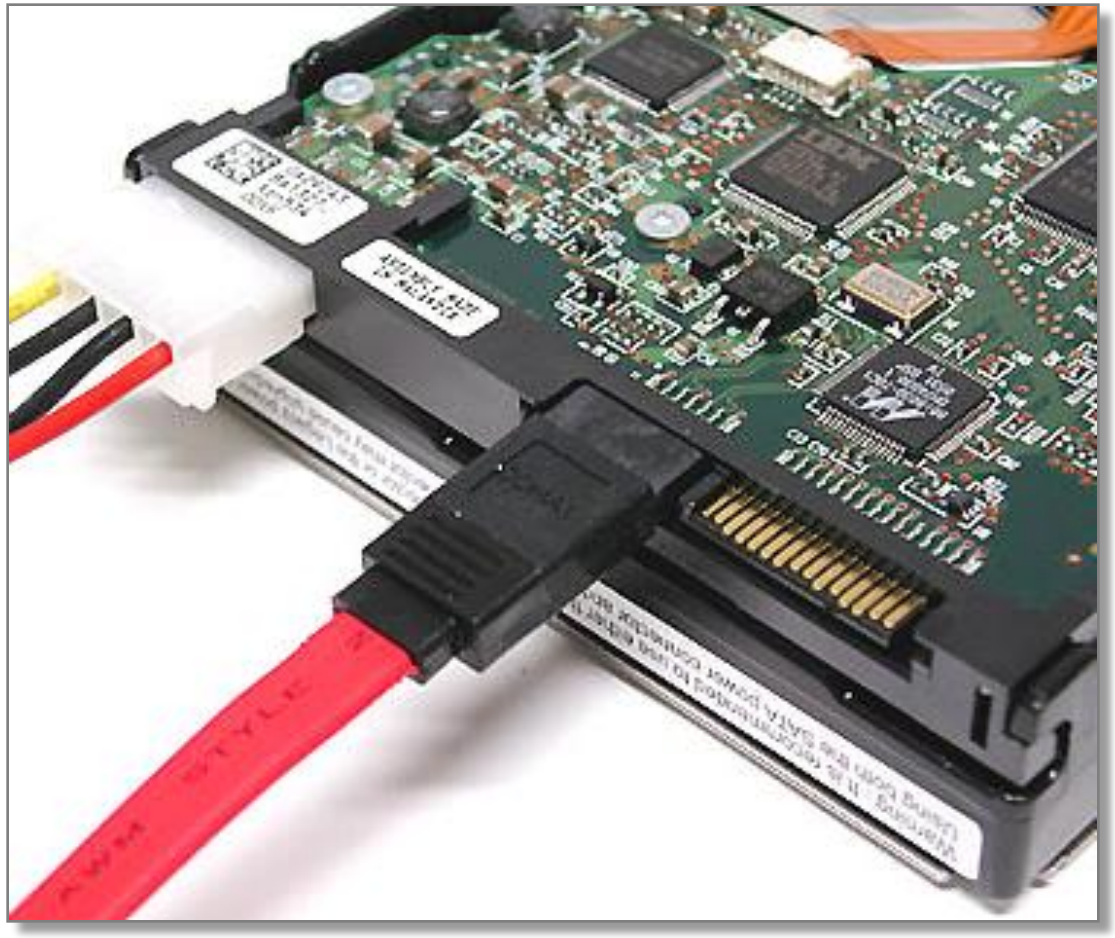
DISCONTINUED

SBE: soorten

- Verschillende standaarden
  - SCSI
    - Duurder dan ATA
    - Vooral bedoeld voor servers
    - Ook serial attached scsi : SAS

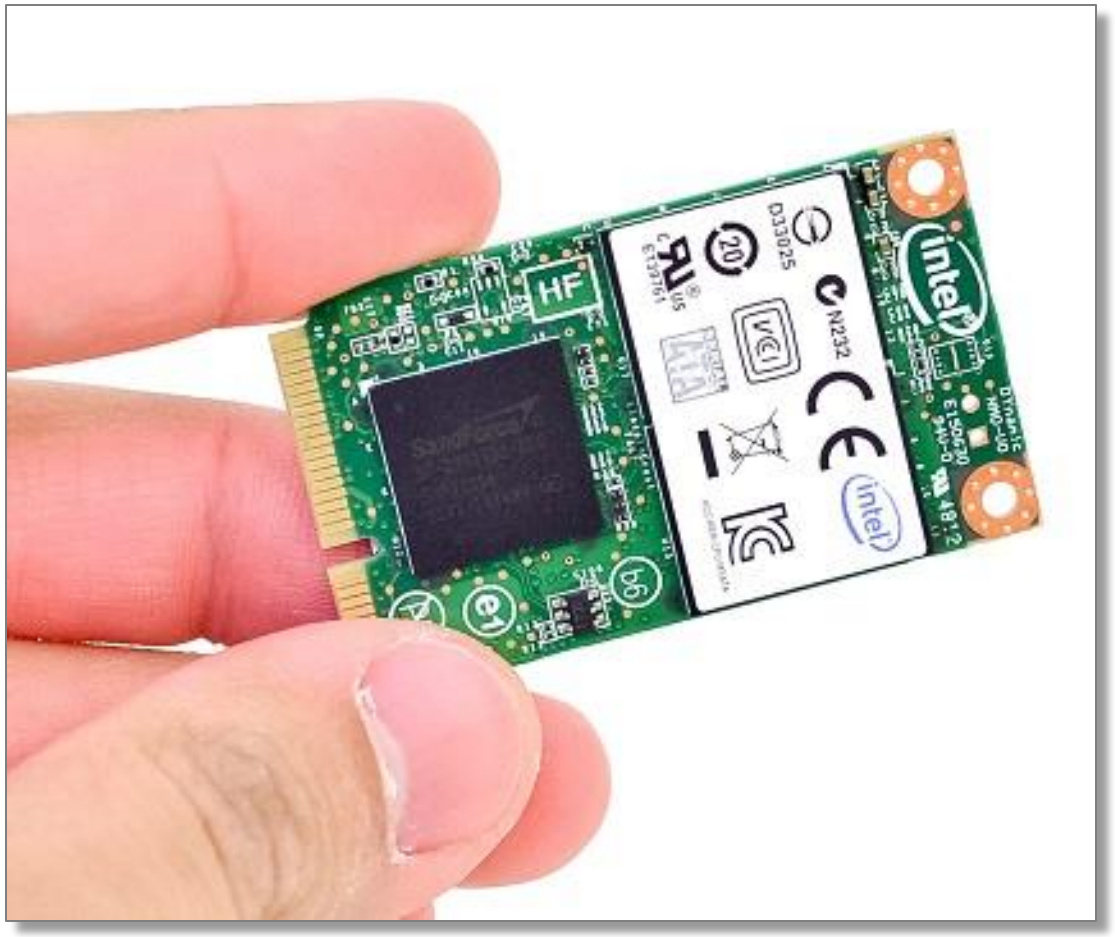
SBE: soorten

- Verschillende standaarden
  - S-ATA
    - Serieel ATA
    - 2 draden voor data, 2 voor besturing
    - Zeer populair voor hedendaagse low-end tot high-end schrijven



SBE: soorten

- Verschillende standaarden
  - M.2
    - Huidige standaard voor zéér snelle schijven
    - Kleine form-factor
    - SATA // NVMe



Cache

- HDD’s kunnen traag zijn:
  - Kop moet steeds bewegen naar juiste plaats
  - Wachten tot de juiste sector onder de kop staat
  - ….

  ==> Lang wachten

- Oplossing:
  - Snel stukje geheugen in HDD (vergelijkbaar met RAM)
  - Meest gelezen en geschreven data bijhouden in **CACHE**

Disk cache

- In de cache-hardware is een algoritme ingebouwd om te beslissen wat in de cache komt
  - De bytes die de CPU gebruikt, staan meestal in mekaars buurt (d.i. het principe van lokaliteit). Dus voorspelbaar.
    - Eens je in een bepaald gebied werkt, blijf je daar vaak.
    - Veel gebruikte data in zelfde gebied blijft in cache

    - Eén sector lezen? Kans is groot dat je volgende ook nodig hebt.

      ==> In cache

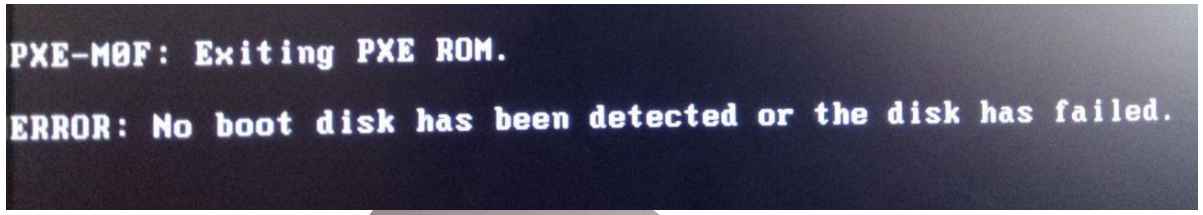
Disk cache

- Bestand lezen van HDD?
  - Kans is groot dat deze zal aangepast worden
  - Waarna het moet weggeschreven worden

    ==> Cache

Raid

- Huidige HDD’s /SSD’s zijn min or meer betrouwbaar.
- **“Failure is always an option”**



- HDD fabrikanten willen:
  - Tijdwinst voor lezen en schrijven
  - HDD betrouwbaarder maken

Raid

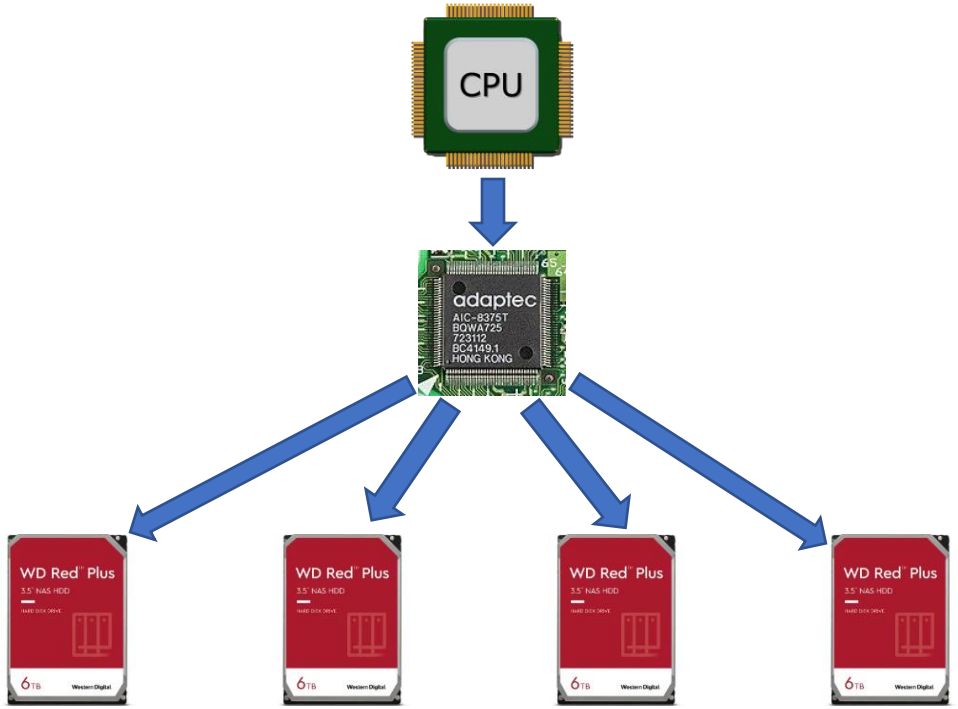
- HDD technologie zit op zijn maximum

Meerdere HDD’s parallel gebruiken voor tijdswinst en betrouwbaarheid.

RAID (Reduntant Array of Independend Disk)

Algemeen principe

- DCU heeft meerdere schijven te zijner beschikking, CPU ziet alleen de DCU
- DCU noemen we dan een RAID-controller



Levels

- Raid wordt onderverdeeld volgens verschillende levels:
  - 0 tem 6
- Elke level zorgt voor een betere
  - Betrouwbaarheid

    of
  - IO tijdswinst

    of
  - Beide

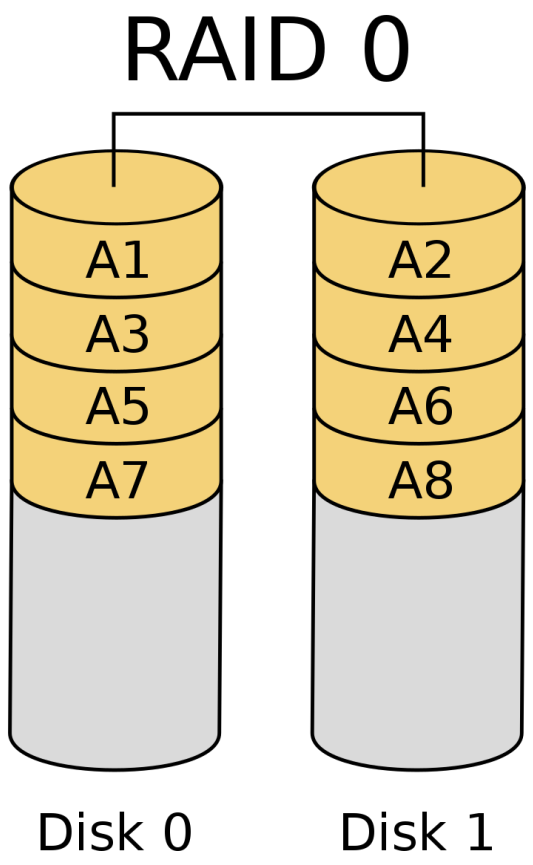
Raid overzicht

Category	Level	Description	Min. Disks Required	Max. faulty disks
Striping	0	Nonredundant	2	0
Mirroring	1	Mirrored	2	N-1
Parallel access	2	Redundant	3	1
	3	Bit-interleaved parity	3	1
Independent access	4	Block-interleaved parity	3	1
	5	Block-interleaved distributed parity	3	1
	6	Block-interleaved dual distributed parity	4	2

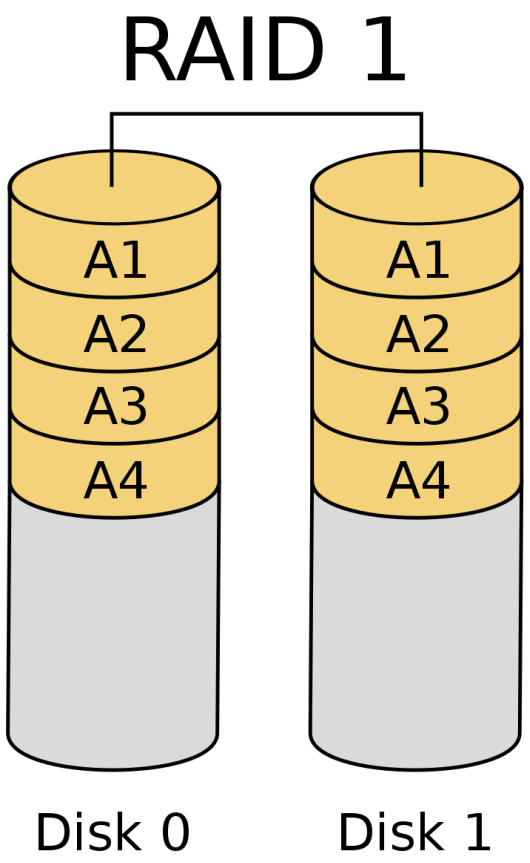
Raid 0

- “Striping”
- Gegevens worden in kleine blokken verdeeld
- Op verschillende schijven geschreven.

- Resultaat:
  - Lezen/schrijven sneller
  - Geen foutcorrectie



Raid 1



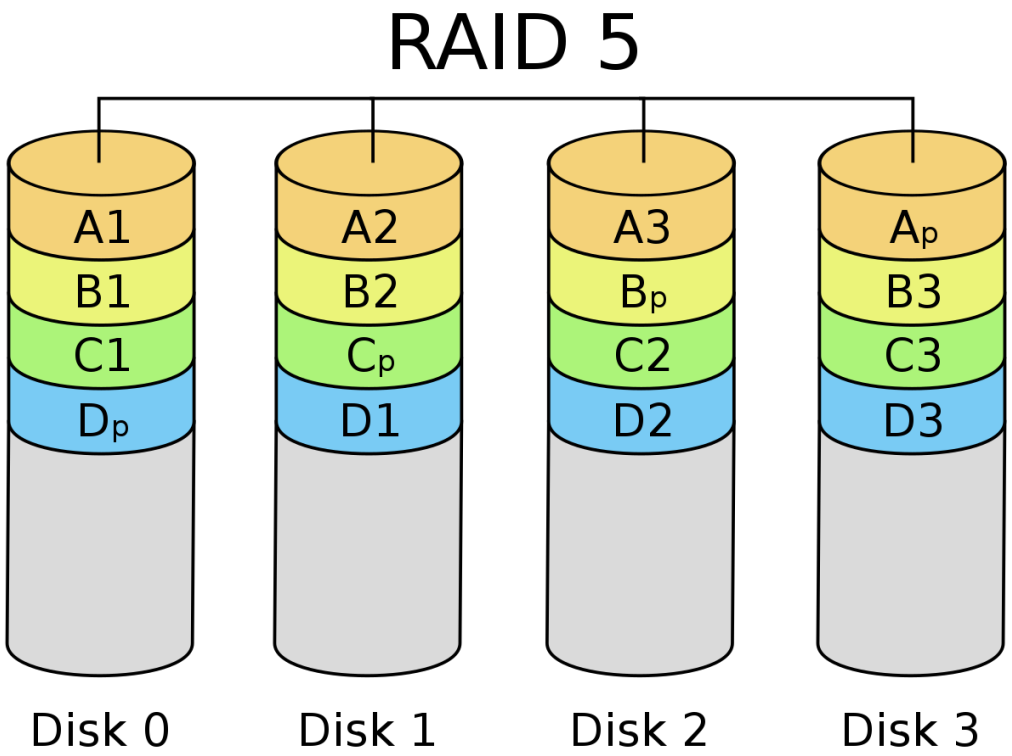
- “Disk mirroring”
- Elke datablok wordt op elke schijf weggeschreven
- 1:1 kopie

- Resultaat:
  - Lezen sneller
  - Schrijven niet sneller
  - Alle schijven buiten 1 mogen stuk gaan.

Raid 5

- Data wordt verdeeld in N-1 blokken.
- Van alle blokken wordt pariteitsblok berekent:
  - XOR van alle blokken

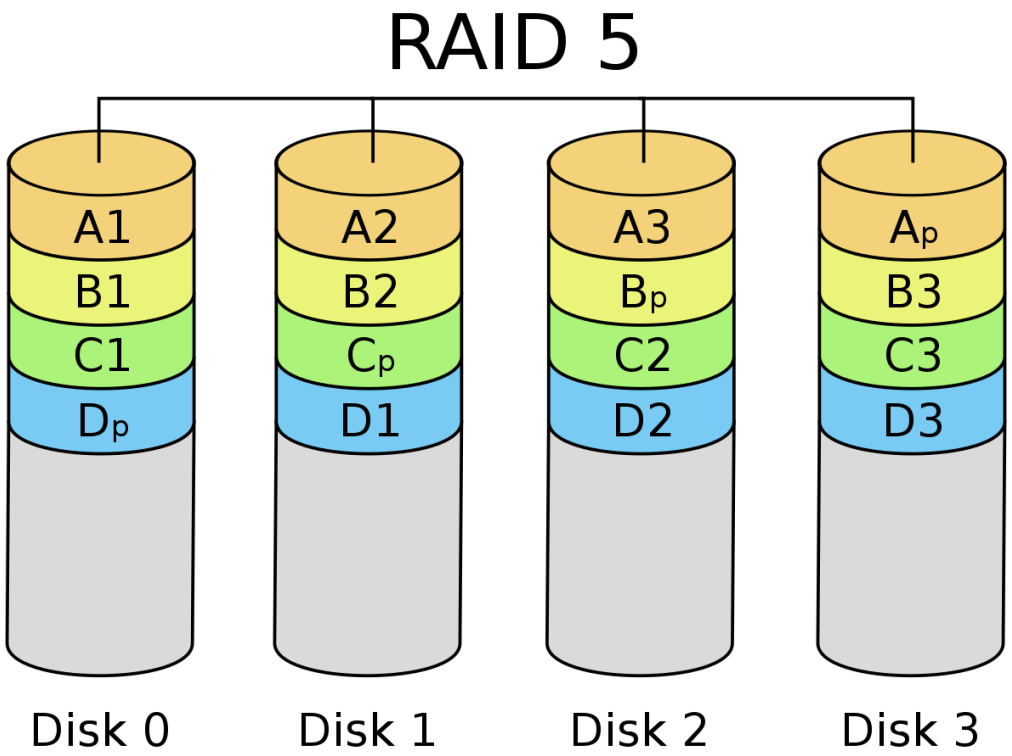
```
00101001 (byte 1)
10010101 (byte 2)
00101011 (byte 3)
————————————————XOR
10010111
```



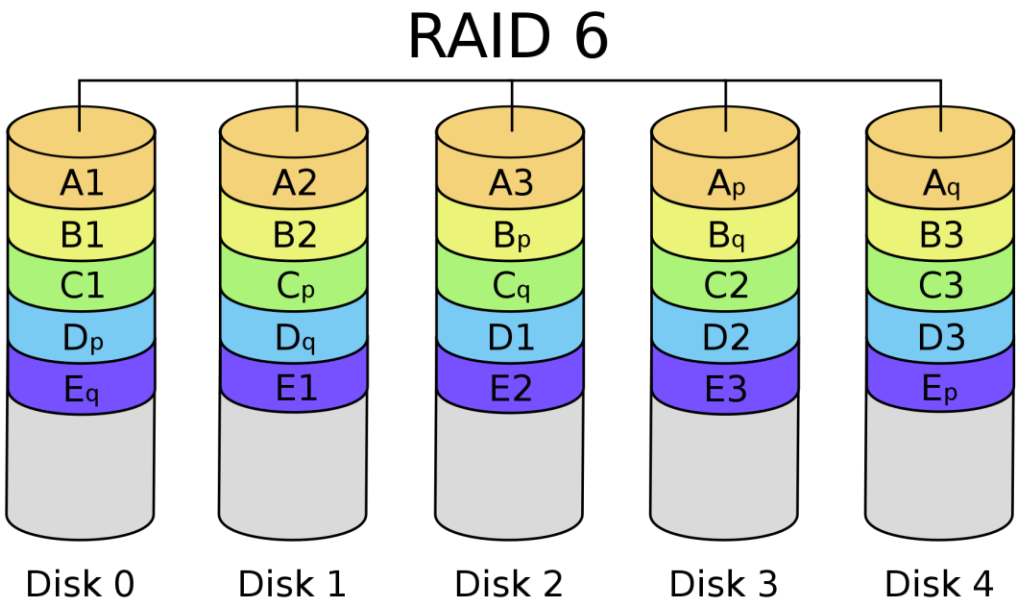
Raid 5

- Pariteitsblok wordt steeds op andere schijf geschreven.

- Resultaat:
  - Lezen en schrijven gaat sneller
  - Bij disk failure: geen data verloren (pariteitsblok)



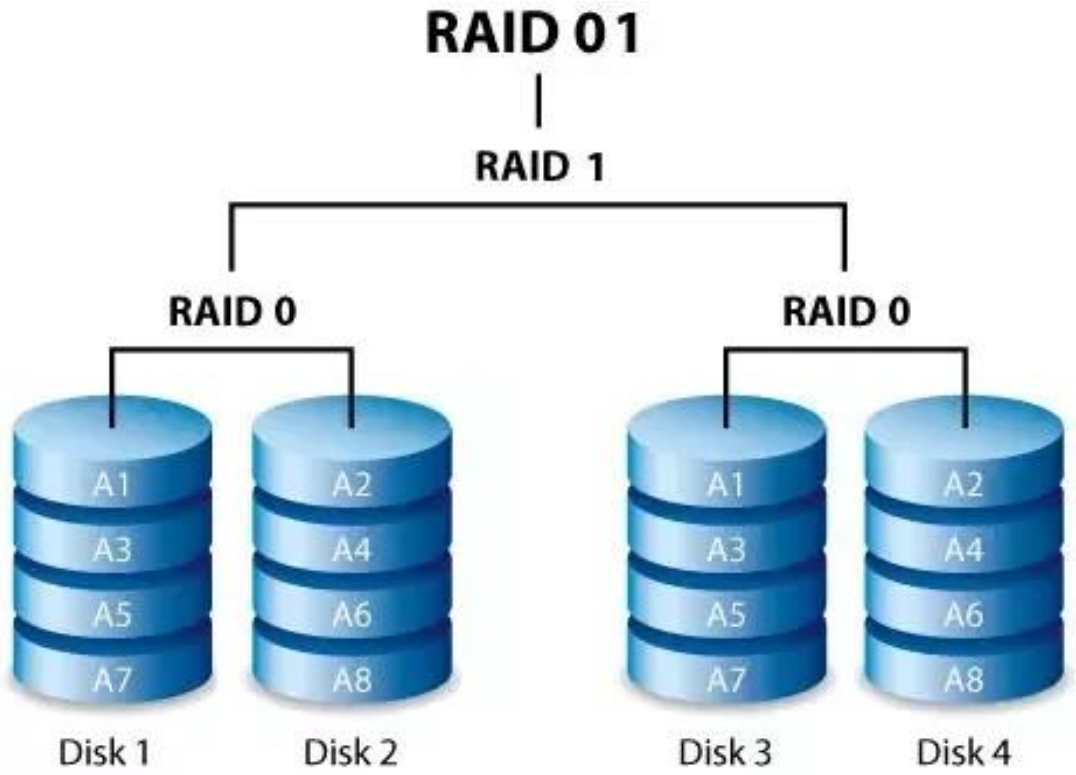
Raid 6

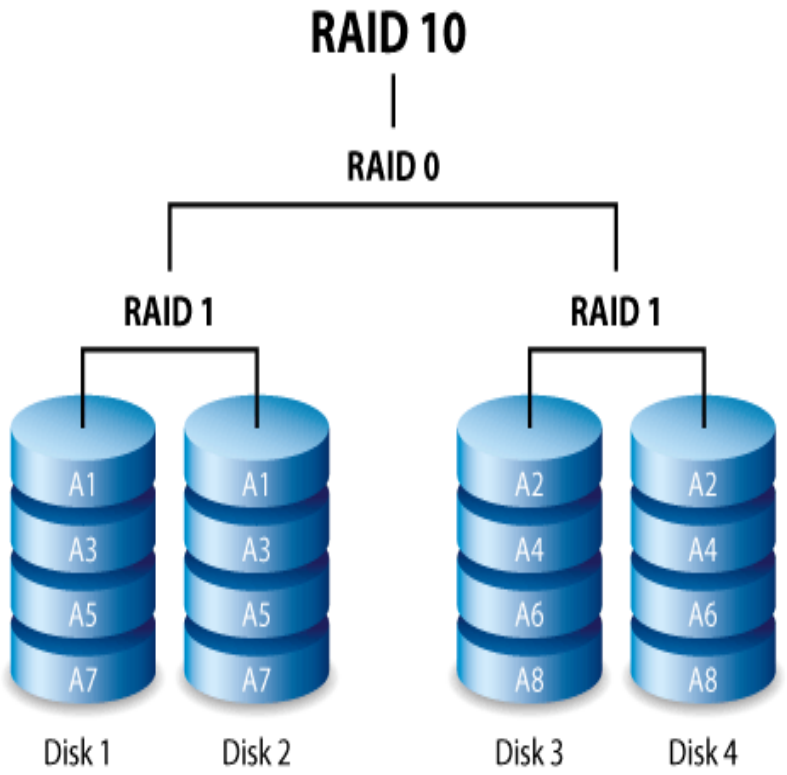


- Per groep blokken 2 pariteitsblokken
- Nadeel: bruikbare ruimte neemt af met twee schijven

- Resultaat
  - Lezen/schrijven sneller
  - Meerdere disk failures toegestaan (max 2 disks)

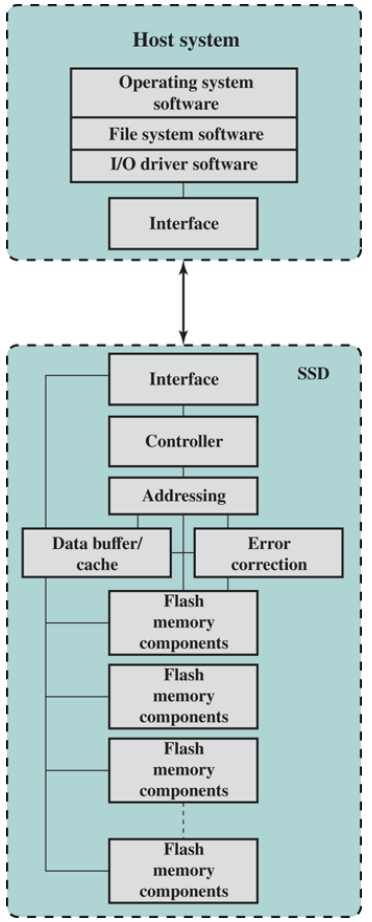
Combinatie mogelijk





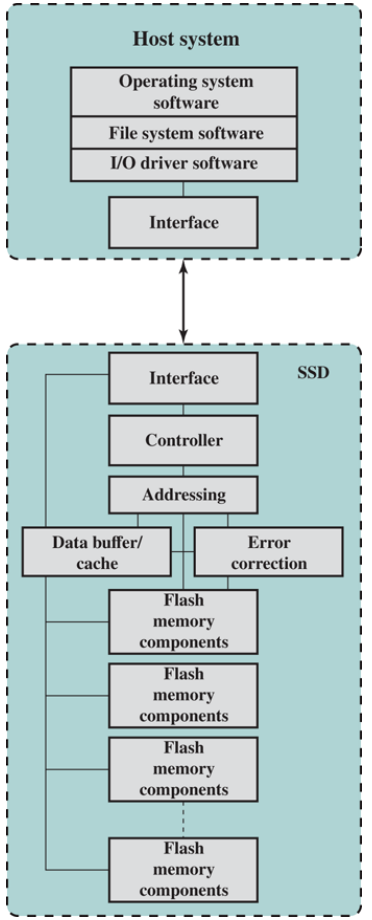
SSD

- HDD's traag (seektime, ….)
- SSD = "**RAM on steroids**"
- Maakt gebruik van zelfde DCU
- Opgebouwd uit meerdere NAND memory modules die slim samenwerken
- Exacte werking na basisbegrippen Memory



SSD componenten

- **Controller**
  - gebruikt specifieke firmware.
- **Addressing**
  - Omzetting van addressen OS naar aanspreking NAND flash chips.
- **Data buffer/cache**
- **Error correction**
  - Berekening error detection en correction
- **Flash memory components**
  - De individuele NAND flash chips.



SSD: Voordelen

- **Hoge IOPS** (input/output operations per second)
  - Een SSD haalt veel hogere lees en schrijfsnelheden.
    - Samsung 870 EVO 1TB heeft 560 MB/s aan leessnelheid.
    - WD Red Plus 1TB heeft 150 MB/s aan leesnelheid.

- **Duurzaam**:
  - Enkel elektronische deeltjes, geen mechanische
    - Geen invloed van schokken en vibraties

SSD: Voordelen

- Langere **levensduur**:
  - Geen mechanische slijtage.

- Lage **Power Consumption**:
  - SSD verbruikt minder energie
    - Samsung 870 EVO 1TB verbruikt 2W
    - WD Red Plus 1TB verbruikt 3,3W.

SSD: Voordelen

- Lagere toegangstijd en latency
  - 5 keer sneller aanspreekbaar dan HDD
    - Niet wachten op arm die op juiste plek staat

SSD: nadelen

- SSD wordt trager
  - Hoe meer men een SSD gebruikt
  - SSD maakt gebruikt van paging voor opslaan van data
    - Zeer slim gebruik, maar maakt SSD trager na verloop van tijd
    - Wordt verder in OPO grondig besproken

SSD: nadelen

- SSD heeft een eindig bestaan:
  - Wordt onbruikbaar na x aantal schrijfopdrachten
  - Uitgedrukt **T**erra **B**yte **W**ritten = **TBW**
  - Standaard SSD in laptops heeft TBW van 60 tot 150
    - 190GB schrijven per dag gedurende 1 jaar.
      - Berekening zou je ondertussen zelf moeten kunnen doen

GPT

- Wat als je 2 OS’en op 1 HDD/SSD wil installeren?

- Wat als je maar 1 HDD/SSD hebt en toch meerdere logische schijven wil?

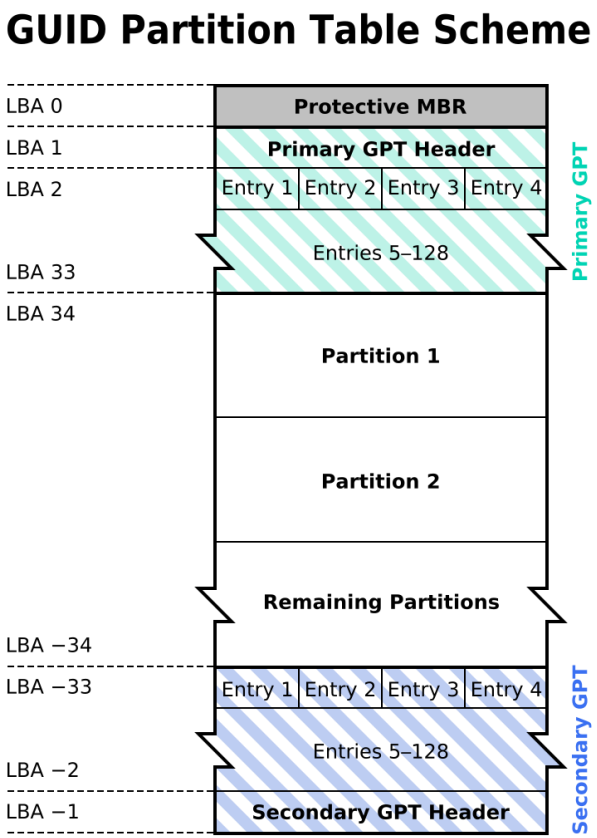
➔ Partities

➔ **G**UID **P**artition **T**able (GPT)

GPT: principe

- GPT = GUID Partition Table
- GUID = UUID = Universal Unique Identifier
  - 128 bit uniek label
  - Elke harde schijf krijgt UUID
  - Elke partitie krijgt UUID
  - Wordt door OS gebruikt om deel of gehele harde schijf aan te spreken
- HDD/SDD verdelen in logische blokken
  - Vrije keuze van grootte
  - Blokken hebben geen toegang tot elkaar
- Enkel mogelijk in UEFI (Legacy BIOS gebruikt MBR voor partities)

Partition Table



- GPT schema bestaat uit:
  - GPT header
  - GPT entries
- Staat steeds aan begin van HDD/SDD
- Altijd exacte kopie op einde van HDD/SDD ==> Backup voor faulty sectors

GPT Header

Offset	Length	Contents
0	8 bytes	Signature (“EFI PART”, 45 46 49 20 50 41 52 54)
8	4 bytes	Revision (For GPT version 1.0 (through at least UEFI version 2.3.1), the value is 00 00 01 00)
12	4 bytes	Header size in little endian (in bytes, usually 5C 00 00 00 meaning 92 bytes)
16	4 bytes	CRC32 of header (0 to header size), with this field zeroes during calculation
20	4 bytes	Reserved; must be zero
24	8 bytes	Current LBA (location of this header copy)
32	8 bytes	Backup LBA (location of the other header copy)
40	8 bytes	First usable LBA for partitions (primary partition table last LBA + 1)
48	8 bytes	Last usable LBA (secondary partition table first LBA – 1)
56	16 bytes	Disk GUID (also referred to as UUID on UNIXes)
72	8 bytes	Partition entries starting LBA (always 2 in primary copy)
80	4 bytes	Number of partition entries
84	4 bytes	Size of partition entry (usually 128)
88	4 bytes	CRC32 of partition array
92	*	Reserved; must be zeroes for the rest of the block (420 bytes for a 512-byte LBA)
LBA size	**Total**	

- Steeds op LBA 0
- Bevat alle GPT belangrijke info:
  - Signature (Steeds "EFI PART")
  - Current LBA (Locatie van GPT tabel)
  - Backup LBA (locatie van backup GPT info)
  - Aantal partities in de tabel
  - Grootte van item in partitietabel

GPT entry

GUID partition entry format

Offset	Length	Contents
0 (0x00)	16 bytes	Partition type GUID (mixed endian[7])
16 (0x10)	16 bytes	Unique partition GUID (mixed endian)
32 (0x20)	8 bytes	First LBA (little endian)
40 (0x28)	8 bytes	Last LBA (inclusive, usually odd)
48 (0x30)	8 bytes	Attribute flags (e.g. bit 60 denotes read-only)
56 (0x38)	72 bytes	Partition name (36 UTF-16LE code units)

- Opeenvolging van details over partities:
  - Partition type GUID
    - Vooraf bepaalde GUID
    - Type = boot, swap, root, home, ...
  - UUID van partitie
  - Start en laatste LBA van partitie
  - Attributen
  - Zelf gekozen naam van partitie

Bestanden

Fysische ordening

- Sector
  - Kleinste addresseerbare eenheid
  - 512 bytes
  - Heeft uniek adres = LBA

Logische ordening

- Filesysteem:
  - Bestand = basiselement
  - Slim gebruik van fysische sectors
  - OS gaat hier mee aan de slag
  - Vooraf gedefiniëerde gegevenstructuur

Blokken

- Kleinste bruikbare eenheid = sector (512 bytes)
- Filesysteem groepeert sectoren in grotere eenheid: blokken
  - Vb: blocksize van 4096 bytes = 8 * 1 sector
  - Voor OS is blocksize kleinste addresseerbare eenheid.

Filesystemen

- Mens gebruikt bestanden <=> computer gebruikt bits en logica
  - Elk bestand neemt X aantal blokken in
  - Bestandsomschrijving van elk bestand:
    - Naam
    - Aantal blokken, verwijzing naar correcte aantal blokken, … (elk Filesysteem anders)
    - Timestamps
    - Size
    - Rechten
    - …
- Meest gebruikte filesystemen:
  - FAT
  - NTFS
  - EXT

FAT

- File Allocation Table
  - File map: informatie van elk blok
    - Verschillende mogelijkheden
    - Onderdeel van bestand?
      - Adres van volgende blok
      - Laatste blok = EOF code in de fat
  - FAT12, FAT16, FAT32
    - Aantal bits die gebruikt worden in FAT entry

- USB sticks worden nog steeds standaard geformateerd met FAT32

FAT

- Enkel 'linked' lijst niet voldoende:
  - Weten enkel of blok gebruikt is of niet
  - Correlatie nodig met bestanden/directories en gebruikte blokken

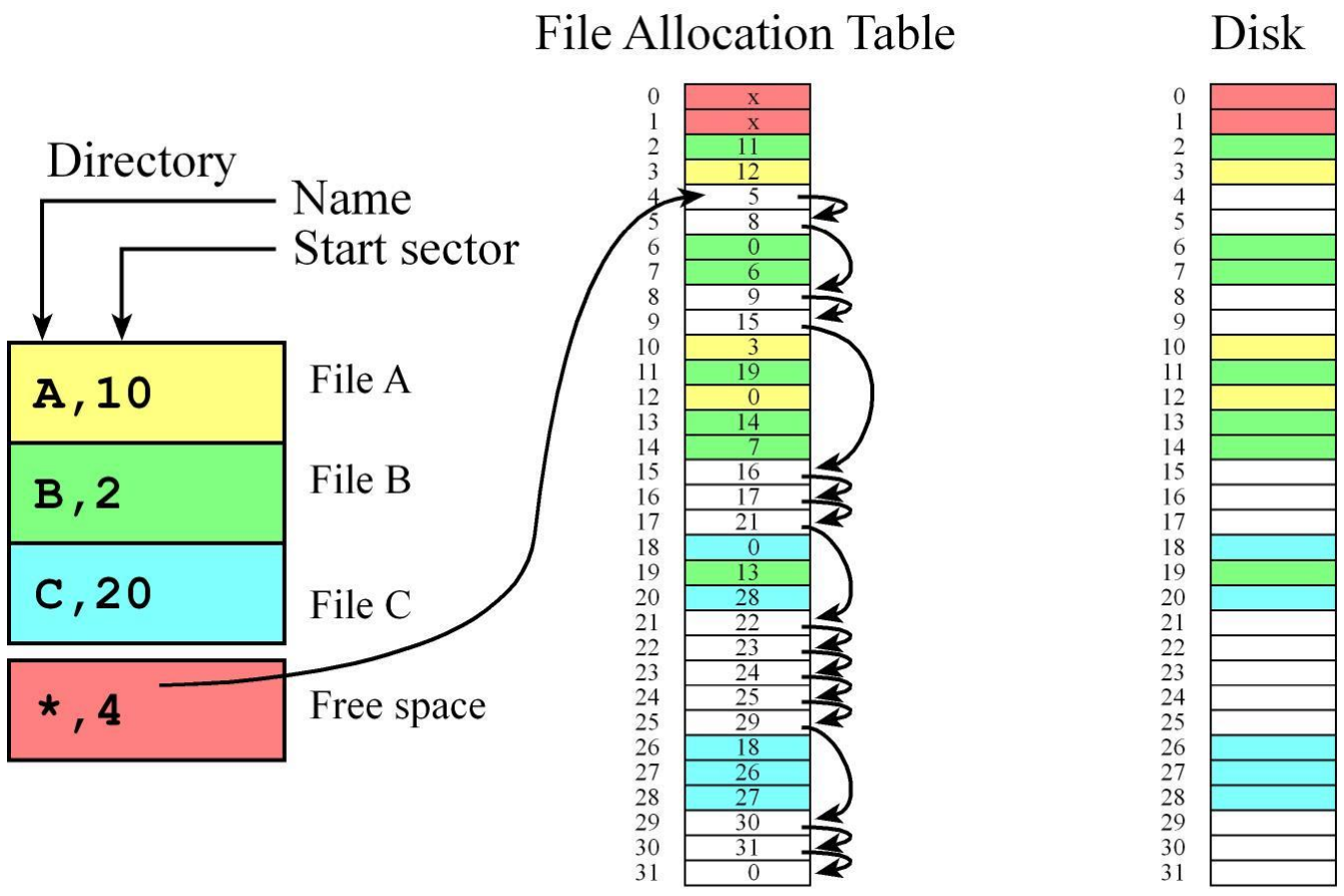
  ==> Directory Table

Directory Table

- Meerdere tables
- Bevat informatie over:
  - Naam bestand of directory
  - Extensie
  - Eerste blok van bestand of eerste blok van volgende directory table

Veld	Positie	Lengte
Naam	0	8
Extensie	8	3
Attributen	11	1
Tijdstip Creatie	12	1
Hoogste bytes startadres	20	2
Startadres (FAT32: laagste bytes)	26	2
Grootte	28	4

FAT


File Allocation Table
Disk
Directory
Name
Start sector
A,10
B,2
C,20
*,4
File A
File B
File C
Free space
0 x
1 x
2 11
3 12
4 5
5 8
6 0
7 6
8 9
9 15
10 3
11 19
12 0
13 14
14 7
15 16
16 17
17 21
18 0
19 13
20 28
21 22
22 23
23 24
24 25
25 29
26 18
27 26
28 27
29 30
30 31
31 0

NTFS

- New Technologie File System
- Ontwikkeld door Microsoft
- Standaard filesysteem vanaf WinXP
- Maakt gebruik van Master File Table

MFT

- Per bestand, 1 record in MFT
  - Initiëel 12,5% van HDD
  - Kan groter worden indien meer bestanden

- Overige 87,5 % van HDD voor data
  - Data ruimte vol?
  - MFT ruimte nog niet vol?

  ==> Data in MFT blok bewaren (niet aan te raden)

MFT

Header	Standard Information	Attributes	Filename	Data	...	Security Descriptor

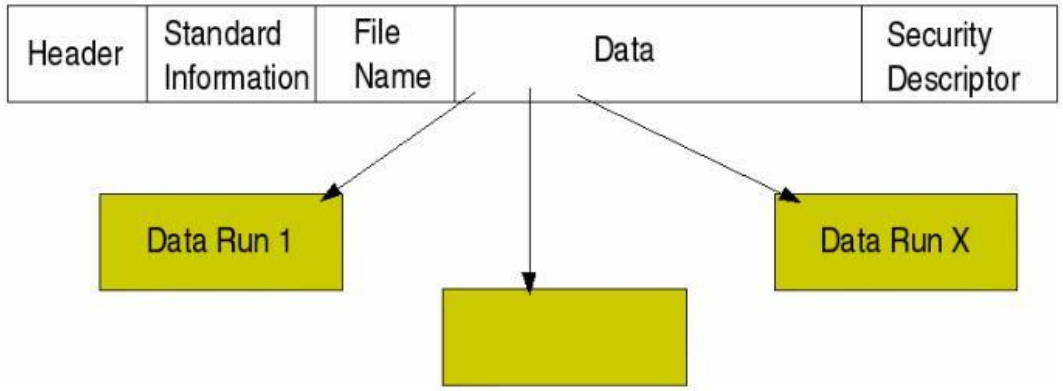
- Steeds vaste structuur:
  - 1024 bytes
  - **Header**
  - **Standard Info**: Bevat onder andere grootte, timestamps, …
  - **Attributen**: Bitmap voor attribute-file in begin van MFT tabel en extra attributen.

MFT

Header	Standard Information	Attributes	Filename	Data	...	Security Descriptor

- Steeds vaste structuur:
  - **Filename**
  - **Data**:
    - Bestand < 900 bytes, in MFT entry zelf
    - Bestand > 900 bytes, verwijzing naar datablokken van bestand
  - **Security descriptor**: Alle rechten op bestand

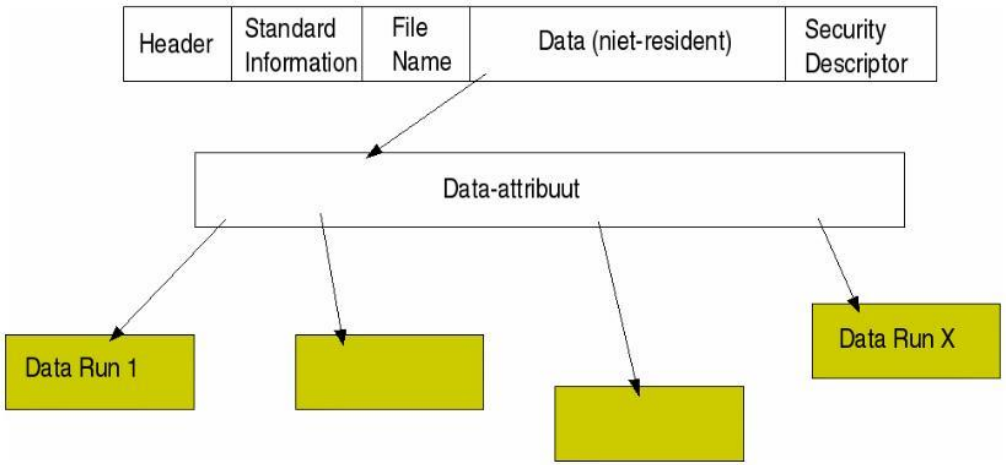
MFT: data



- Enkelvoudige verwijzing naar datablokken voor bestand

==> 'Data runs' = term van Microsoft

MFT: Data



- Te weinig plaats voor dataruns?
  - Verwijzing naar 'speciaal' datablok
    - Alleen maar data-attributen
    - Of verwijzing naar nog data-attributen blokken

==> Max filesize = 'Partitie grootte'

OS bepaalt zelf limiet

EXT

- Extended File System
- ext2, ext3, **ext4**
- Standaard filesystem voor linux
- Maakt gebruik van 4 standaardblokken:
  - Bootblok
  - Superblok
  - Inodeblokken
  - Datablokken

Ext

- Bootblok:
  - Eerste blok van schijf:
    - Geen functie in filesysteem
    - Enkel code die OS laadt en opstart

- Superblok
  - Globale gegevens
  - Algemene instellingen

- Inodeblokken
- Datablokken

Inodeblok

- Per bestand 1 Inode blok:
  - Alle metadata van bestand
  - Verwijzing naar datablokken die gebruikt worden voor bestand

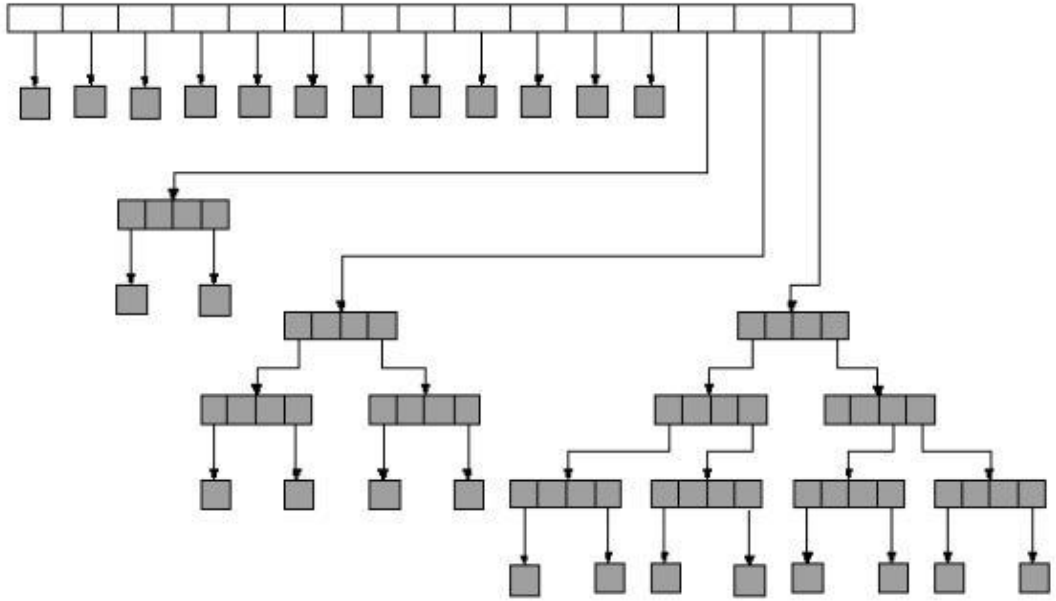
- Bestandsnaam staat **NIET** in de inode

- Vast aantal inodes
  - Wordt bepaald bij aanmaak bestandsysteem

  ==> max aantal bestanden

Inode

- Ruimte voor 15 adressen:
  - 12 directe adressen
  - 1 Indirect adres
  - 1 dubbel indirect adres
  - 1 driedubbel indirect adres



- Max file size = 16 TB (4K blocks)

Ext

- Filename?
  - Staat in directory entry

- Directory:
  - Is eigenlijk een file
  - Lijst (directory entries) met filename
  - Correcte verwijzing per file naar inode

Ext

- Welke inodeblok nemen bij nieuw bestand?
  - Superblok bevat lijst 100 lege inode blokken
  - Superblok bevat lijst lege datablokken
- Bestand verwijderen:
  - Inode en datablok adres toevoegen aan superblok lijst.
- Lijsten leeg in Superblok:
  - Kernel scant systeem voor lege inode blokken en datablokken
  - Vult superblok lijst aan