

# Computer Hardware

## Hoofdstuk 2



**DE HOGESCHOOL  
MET HET NETWERK**

Elfde-Liniestraat 24, 3500 Hasselt, [www.pxl.be](http://www.pxl.be)



# Inhoud

- 1. programmeertalen
- 2. onderdelen van een computer
  - moederbord
  - HDD/SSD, geheugen, USB
  - uitbreidingssloten (PCIe)
  - form factor
  - chipset
- 3. randapparatuur: DMA/IRQ
- 4. BIOS/CMOS/UEFI
- 5. voeding
- 6. processor
  - Architectuur
  - Instructiesets
  - hyperthreading & multicore
  - Onderdelen, registers en kloksnelheid
  - RISC en CISC

# Computerprogrammatuur

- Computerprogrammatuur kan men onderverdelen in **twee** belangrijke categorieën :
  - Het **besturingssysteem**, dat ervoor zorgt dat de hardware correct wordt geactiveerd, dat alle onderdelen van de computer kunnen aangesproken worden, en dat de computer kan worden klaargemaakt voor de gebruiker.
  - De **toepassingsprogramma's**, zoals tekstverwerkingsprogramma's, database-programma's, rekenbladen, fotobewerkingsprogramma's, enz.

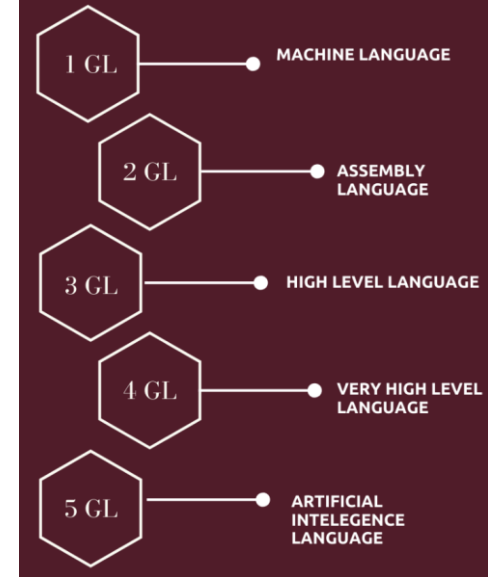
# Programmeertalen

- **Eerste** generatie : **machinetaal**

- Programma's van de eerste computers uit de jaren **1940**.
- Bestaat uit eentjes en nulletjes.
- **Machinetaal** kan onmiddellijk door de computer worden uitgevoerd.
- Grote technische kennis van de programmeur: mens-onvriendelijk

- **Tweede** generatie : **assemblertaal**

- **Vanaf** einde van de jaren **1940**.
- Mensen denken immers semantisch (=met woorden) i.p.v. met nulletjes en eentjes.
  - Assemblertaal loste dit probleem voor een groot deel op.
  - Engels gelijkende instructies.
- **Assembler** vertaalde de instructies naar de machinetaal => uit te voeren op computer.

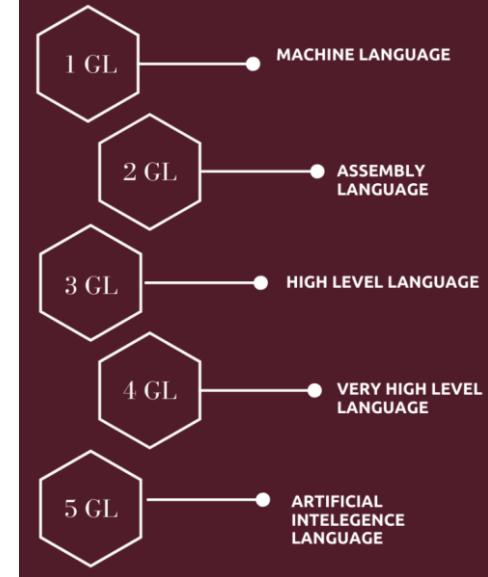


# Eenvoudig voorbeeld assembler

```
01 .MODEL SMALL
02 .STACK 100H
03 .CODE
04
05 MOV AX, 0x3C
06 MOV BX, 000000000000001010B
07 ADD AX, BX
08 MOV BX, 14
09 SUB AX, BX
10
11 MOV AH, 04CH
12 INT 21H
```

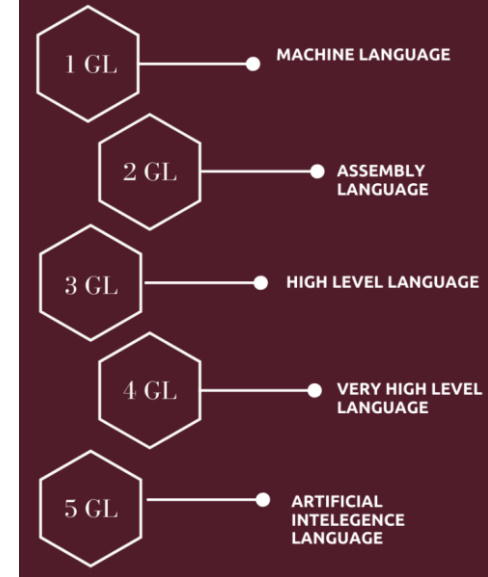
# Programmeertalen

- **Derde generatie : de hogere programmeertalen**
  - **einde** van de jaren **1950**: nieuwe technologische ontwikkelingen  
=> behoefte aan modernere en meer specifieke programmeertalen.
  - Instructies “op mensenmaat”
  - De instructies werden naar machinetaal omgezet d.m.v. een compiler (of interpreter voor BASIC).
  - Programmeren was eenvoudiger => meer computers werden verkocht
  - *De bekendste voorbeelden van deze programmeertalen:*
    - FORTRAN (*Formula Translator*) voor wetenschappelijke doeleinden
    - COBOL (*Common Business-Oriented Language*) voor economische en zakelijke toepassingen.
    - BASIC (*Beginners All-purpose Symbolic Instruction Code*) voor educatieve en recreatieve doeleinden.
    - PASCAL (*genoemd naar de natuurkundige Blaise Pascal*)
    - C voor wiskundige toepassingen.



# Programmeertalen

- **Vierde generatie : niet-procedurele en objectgeoriënteerde programmeertalen**
  - Vanaf het **begin** van de jaren **1980**
  - Hoger abstractieniveau
  - *Voorbeeld niet-procedurele taal: [SQL](#) (gevensverwerking).*
  - **Recenter**: programmeertalen waarbij objecten centraal staan, en niet zozeer instructies.
    - Objecten kunnen gegevens , keuzemenu's, invulvakken, formulieren of hele vensters zijn.
  - Bekende object-georiënteerde programmeertalen: [C++](#), [C#](#), [Visual Basic](#), [Java](#) en [XML](#).
  - Java en XML kunnen draaien op verschillende besturingssystemen.
    - Belangrijk voor toepassingen: internet of netwerk met verschillende OS'en
- **Vijfde generatie: Probleemoplossende talen.**
  - Programmeur specificeert geen algoritme maar het probleem zelf met een aantal bijbehorende beperkingen.
  - Toepassing: kunstmatige intelligentie.
  - *Voorbeeld: [Prolog](#).*





# Programmeertalen

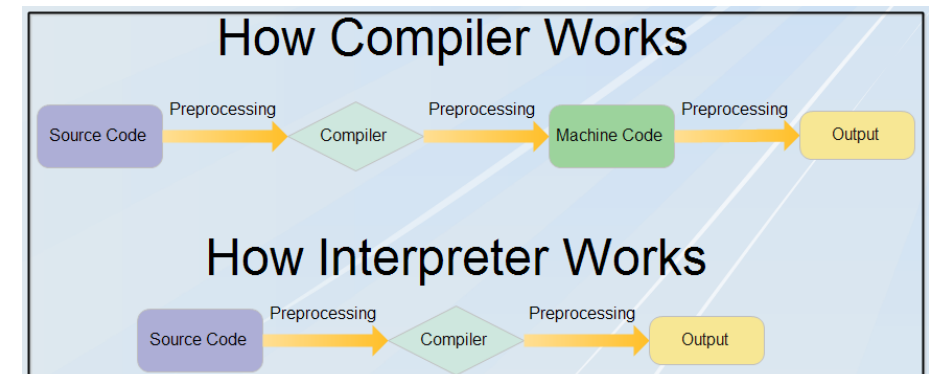
- Thuisopdracht : zelfstandig een **oefening maken** bij dit hoofdstuk.
- Waarom assembler? Zodat je begrijpt **hoe een PC werkt (via 2GL taal)**
  - Bijv **Java** werkt met een **interpreter** en geen compiler

<http://www.edu4java.com/en/concepts/compiler-interpreter-virtual-machine.html>

De opdracht : het programmeren in **assembler**

Zie "Bijlage A de microprocessor.pdf"

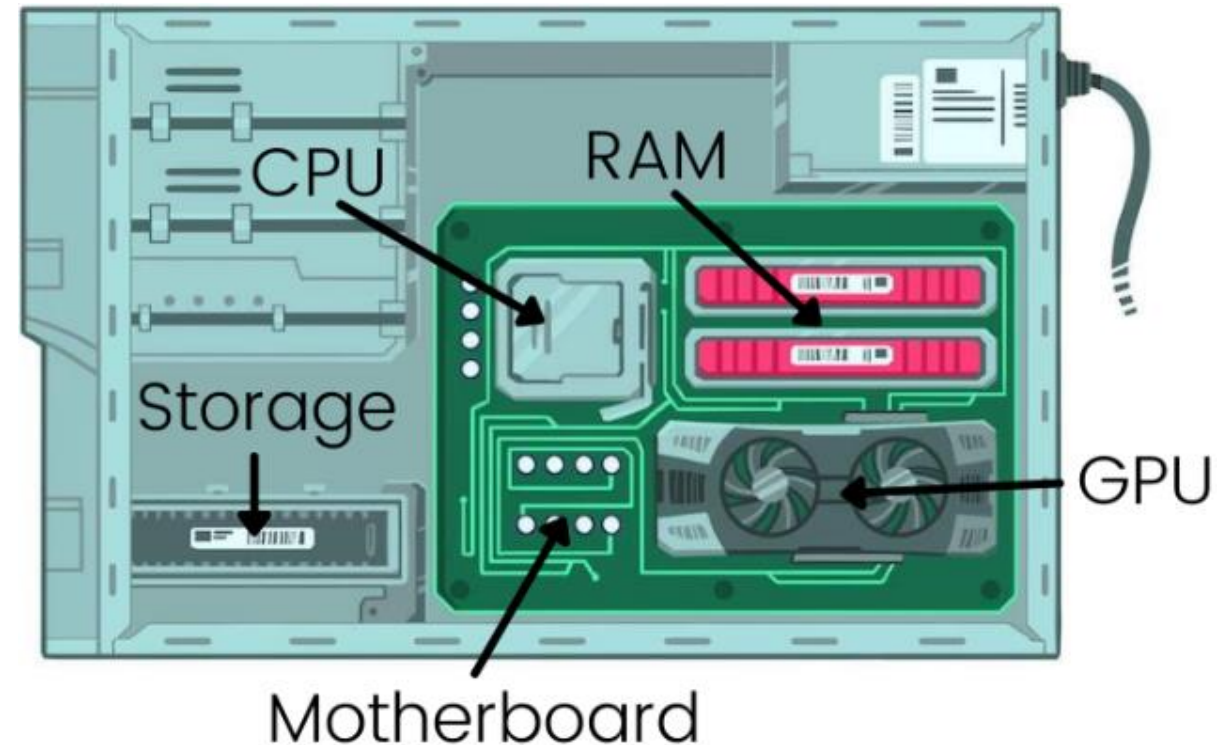
- 1. Installatie DOSBOX
- 2. Installatie TASM





# Onderdelen van een computer

- **Voeding**
- **Moederbord**
- Centrale verwerkingseenheid (**CPU**)
- Graphics Processing Unit (**GPU**), ook wel een videokaart genoemd
- Random Access Memory (**RAM**)
- Opslag: Solid State Drive (**SSD**) of harde schijf (HDD)

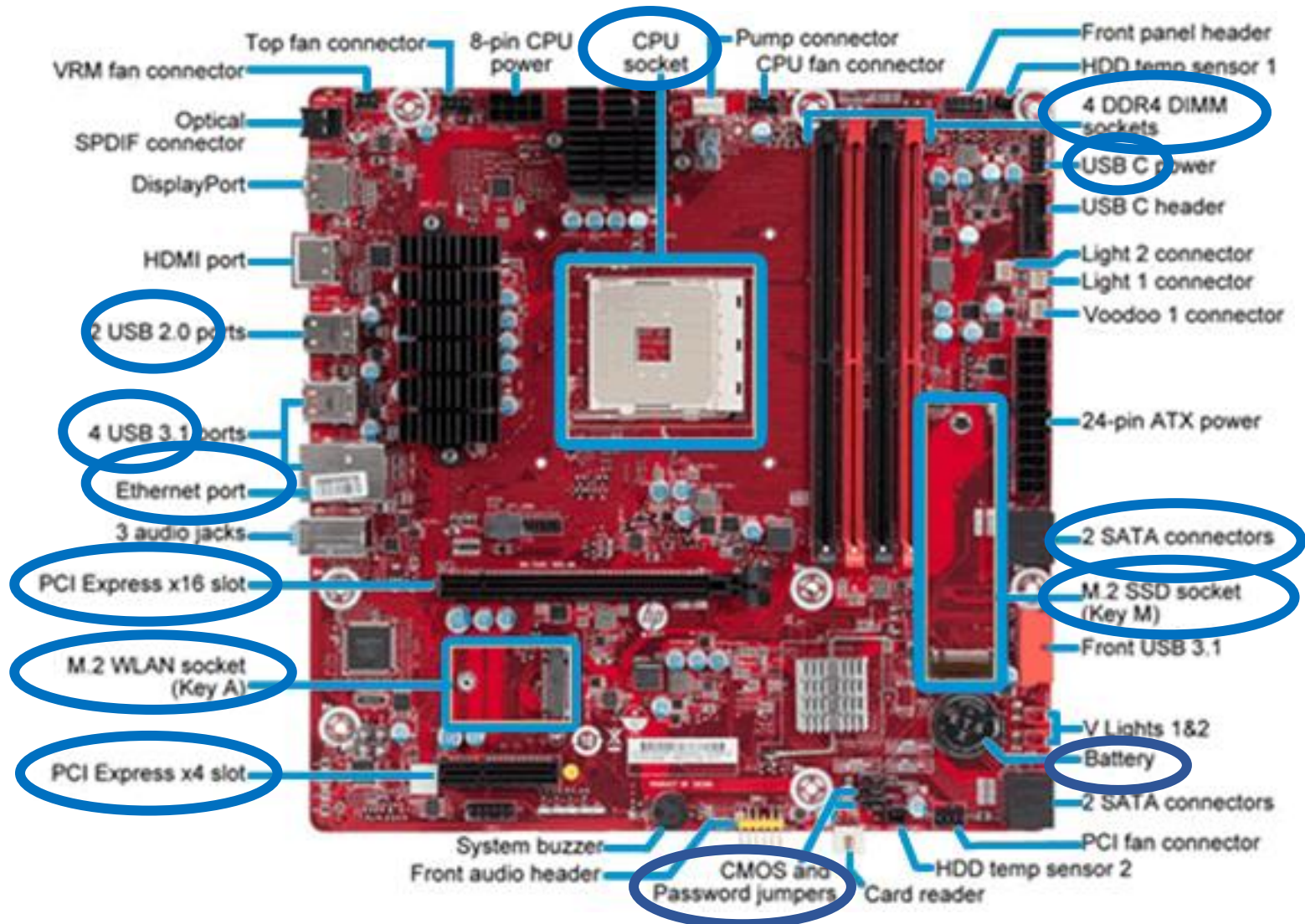


# Het moederbord

- Het moederbord is de **centrale printplaat** waarop alle belangrijke onderdelen zijn bevestigd
- Er zijn **uitbreidingsleuven** of **slots** voorzien voor netwerkkaarten enz.
- <https://rog.asus.com/nl/motherboards/rog-strix/rog-strix-z690-g-gaming-wifi-model/>



# Het moederbord



[https://support.hp.com/nl-nl/document/ish\\_2803821-2615302-16](https://support.hp.com/nl-nl/document/ish_2803821-2615302-16)

# Moederborden



[INTEL MOEDERBORDEN |  
HARDWARE | ALTERNATE.BE](#)



[AMD MOEDERBORDEN |  
HARDWARE | ALTERNATE.BE](#)



# HDD/SSD

	Thuis	Industrie
voeger	<del>IDE (P)ATA</del>	<del>SCSI</del>
nu	SATA	SAS

- Waarvan zijn SATA en SAS afkortingen?

- I.p.v. een normale SATA-aansluiting wordt voor SSD ook tegenwoordig gebruik gemaakt van m.2 (daarin bestaan er 2 onderliggende technologieën: SATA of PCIe).
- mSATA bestaat ook maar wordt weinig gebruikt.

# HDD/SSD



m.2 SATA SSD



2,5" SATA SSD



m.2 PCIe SSD

} SATA

= PCIe

## m.2

- Verschillende snelheden zijn mogelijk

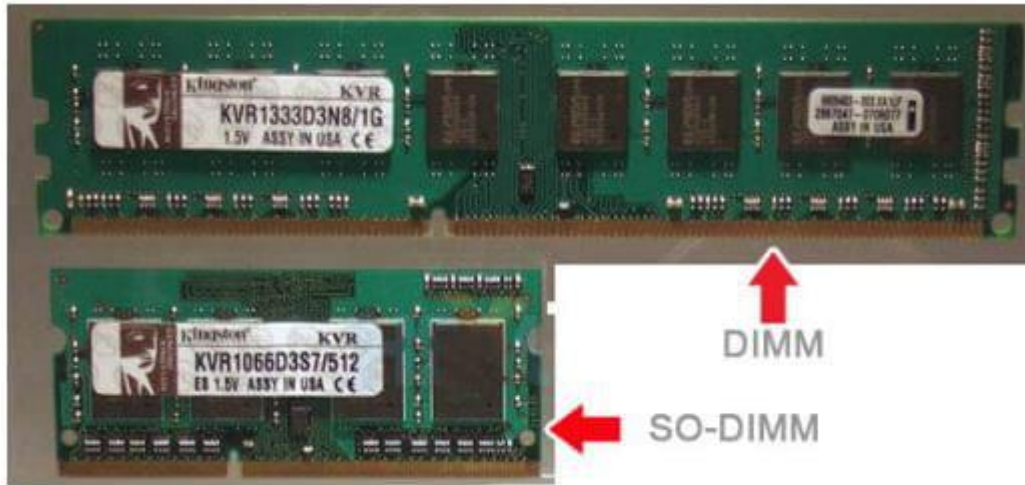
	Serial ATA		PCI Express	
	2.0	3.0	2.0	3.0
Link Speed	3Gbps	6Gbps	8Gbps (X2) 16Gbps (X4)	16Gbps (X2) 32Gbps (X4)
Effective Data Rate	~275MBps	~560MBps	~780MBps ~1560MBps	~1560MBps ~3120MBps

- PCI Express 4.0 zorgt nog eens voor een verdubbeling!
- [SSD prijzen](#)



# Geheugen

- Lay-out
  - DIMM: desktop
  - SODIMM: laptop
- DDR4 ↔ DDR5
  - Snelheid: DDR5 werkt altijd in dual channel mode
  - Spanning: DDR4 op 12 V en DDR5 op 11V
- Sockets voor DDR5 vs DDR4
  - DDR5-DIMM's passen niet in de sockets voor DDR4-modules.
  - Beiden 288 contacten, maar de inkeping zit op een andere plaats.



	DDR3	DDR4	DDR5
Voltage	1.3 / 1.5V	1.2V	1.1V
Max Data Rate	1.6 GB/s	3.2 GB/s	6.4 GB/s

Wat is het verschil tussen een DIMM en DDR4/DDR5?  
Waarvan is DIMM en DDR de afkorting?

# Aansluiting scherm

- HDMI, displayport of USB-C
  - USB-C: zie volgende dia's
- Vergelijking

Vergelijking hdmi en Displayport

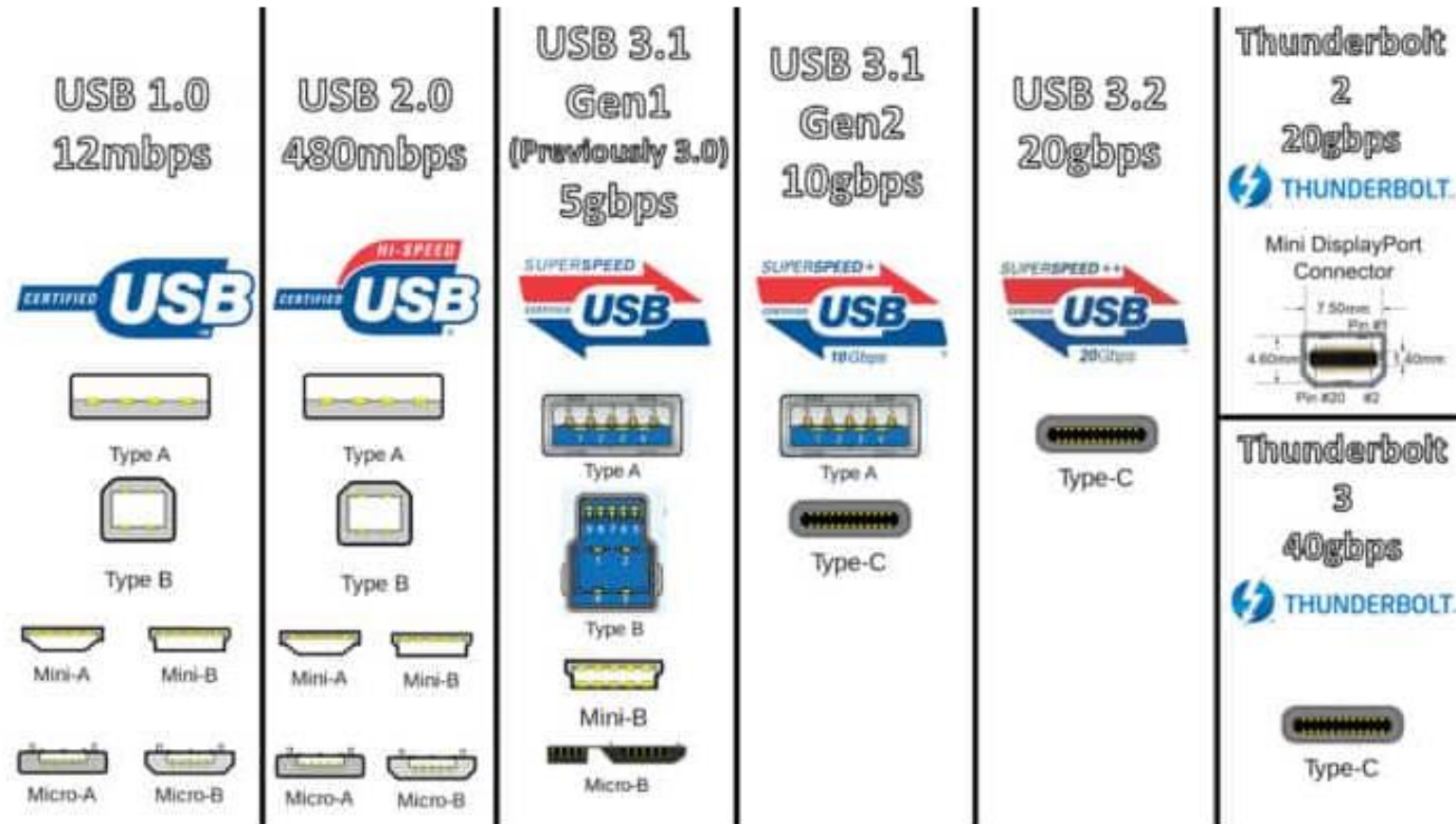
	Hdmi 1.4	Hdmi 2.0	Hdmi 2.1	DisplayPort 1.2	DisplayPort 1.3	DisplayPort 1.4	DisplayPort 2.0
Eén Full HD monitor	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja
Meerdere Full HD monitoren	Nee	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja
Eén 4K monitor	Nee	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja
Meerdere 4K monitoren	Nee	Nee	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja
Dvd of Blu-ray speler op tv aansluiten	Ja	Ja	Ja	Nee	Nee	Nee	Nee
Game console op tv aansluiten	Ja	Ja	Ja	Nee	Nee	Nee	Nee
Computer op een monitor aansluiten voor gaming	Nee	Nee	Nee	Ja	Ja	Ja	Ja
Bedrade internetverbinding maken	Ja	Ja	Ja	Nee	Nee	Nee	Nee
8K ondersteuning	Nee	Ja (30 Hz)	Ja (60 Hz)	Nee	Nee	Nee	Ja (120 Hz)
Dynamische verversingssnelheid voor gaming (PS5 en XSX)	Nee	Nee	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja

- Connector (links: HDMI)



Waarvan is HDMI de afkorting?  
Wat is het verschil tussen HD en 4k?

# USB



- Universal Serial Bus
- **USB = connector!**
  - USB-A, USB-C worden het meest gebruikt
- Er bestaat ook al thunderbolt 4

# USB-C

- **USB-C = connector**

- **USB 3.x** wordt gebruikt om externe opslag aan te sluiten
- **Thunderbolt** wordt gebruikt om een monitor, toetsenbord e.d. op aan te sluiten
  - Andere kabels nodig voor thunderbolt
  - Data, video, audio en stroomvoorziening in 1 kabel
    - Kan zelfs stroom voorzien voor laptop (USB-C monitor)  
<https://www.dell.com/nl-be/shop/dell-27-usb-c-monitor-s2722dc/apd/210-bbrr/monitors-en-monitoraccessoires>  
=> USB-C upstream/DisplayPort met stroomtoevoer (DisplayPort 1.2 mode / power up to 65W)
- Let goed op de symbolen!



Thunderbolt 3  
40Gb/s



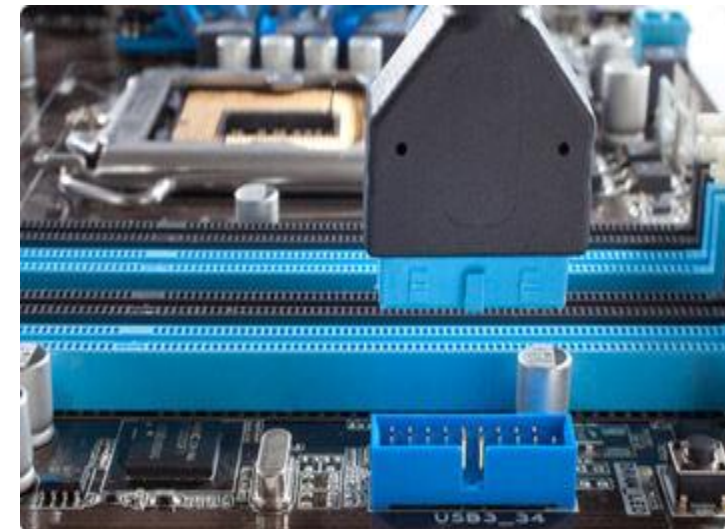
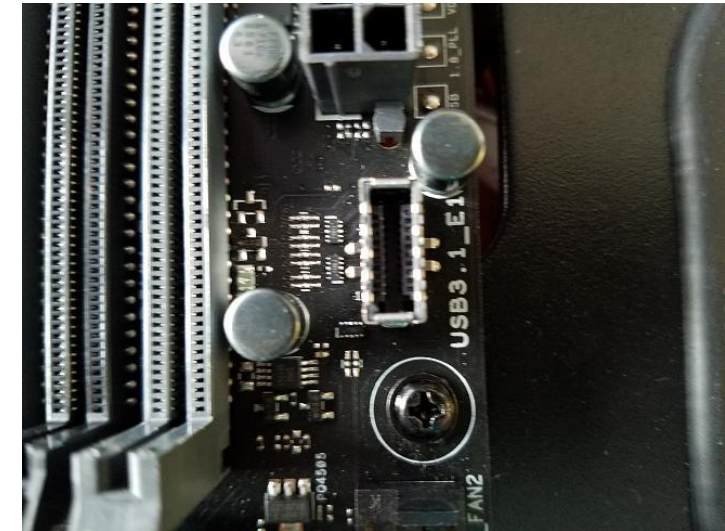
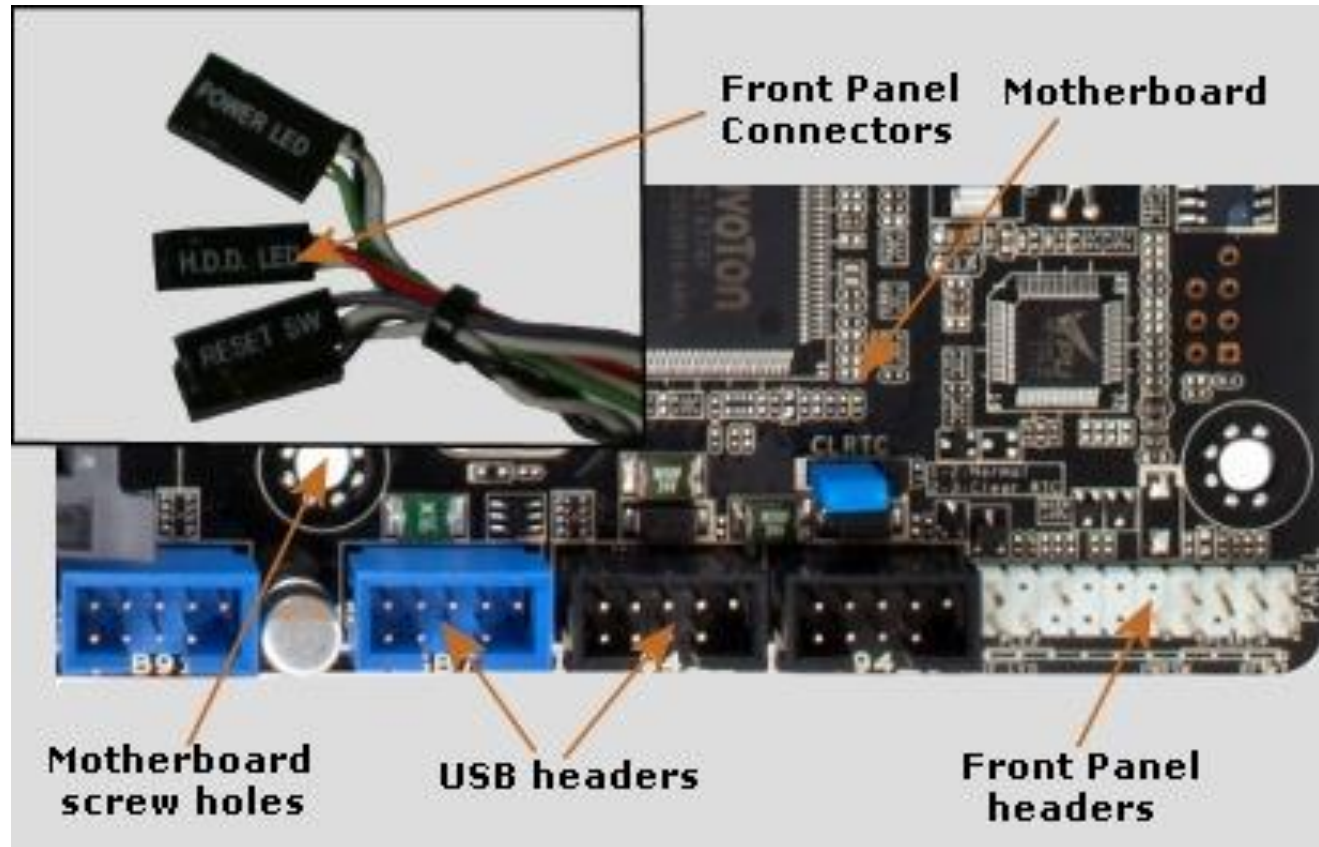
USB 3.1 Gen 2  
10Gb/s



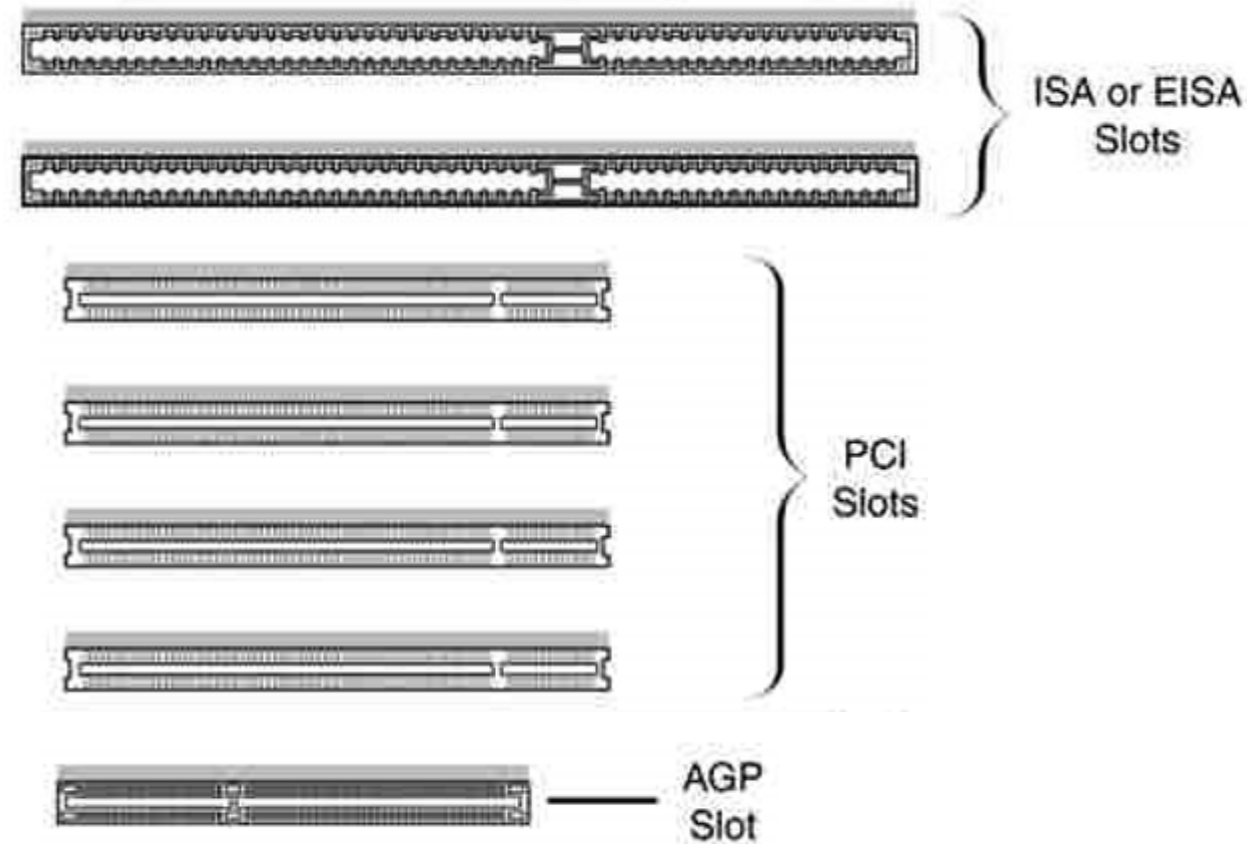
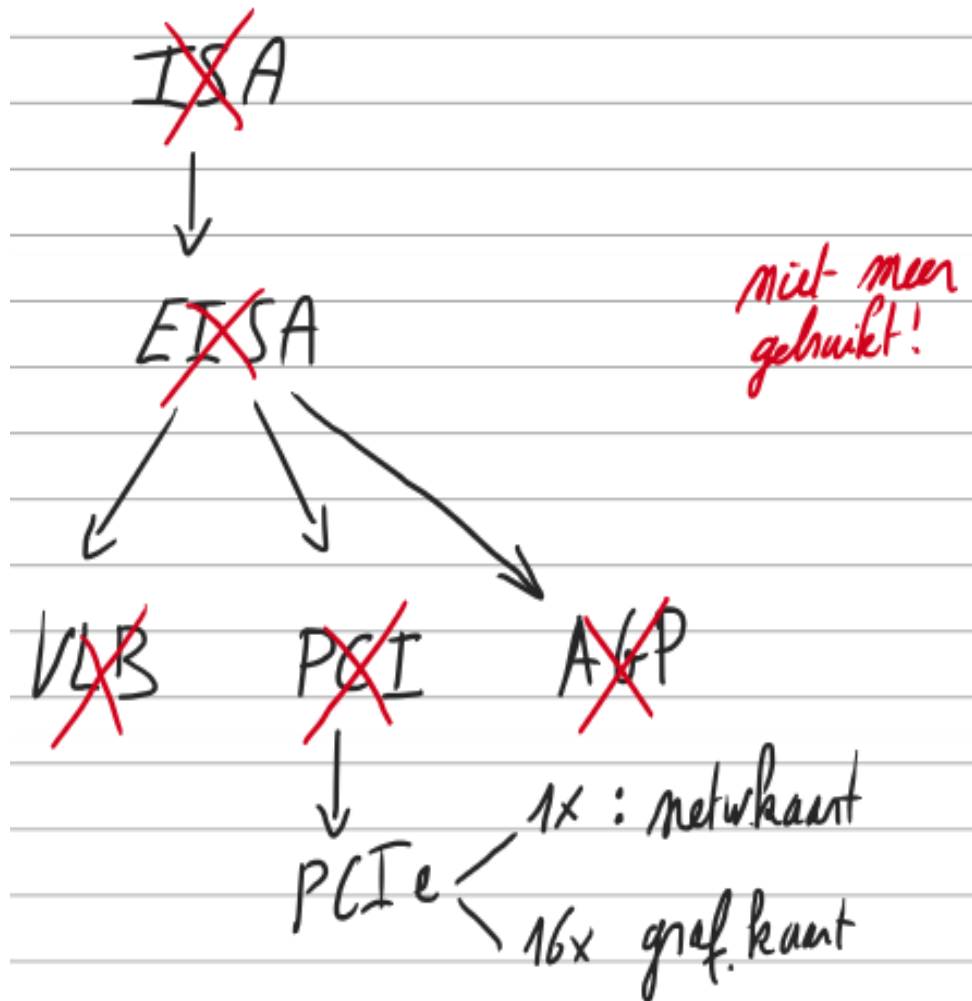
USB 3.1 Gen 1  
5Gb/s



# Frontpanel connector



# Uitbreidingssloten



Zoek de **afkortingen** van de verschillende uitbreidingssloten op.

Geef het **toepassingsgebied** aan van de verschillende uitbreidingssloten.

# Uitbreidingsloten

- Tegenwoordig is alles PCIe
- [PCI Express deel 1](#)
- [PCI Express deel 2](#)
- [PCI Express deel 3](#)
- [PCI Express deel 4](#)



# PCI Express

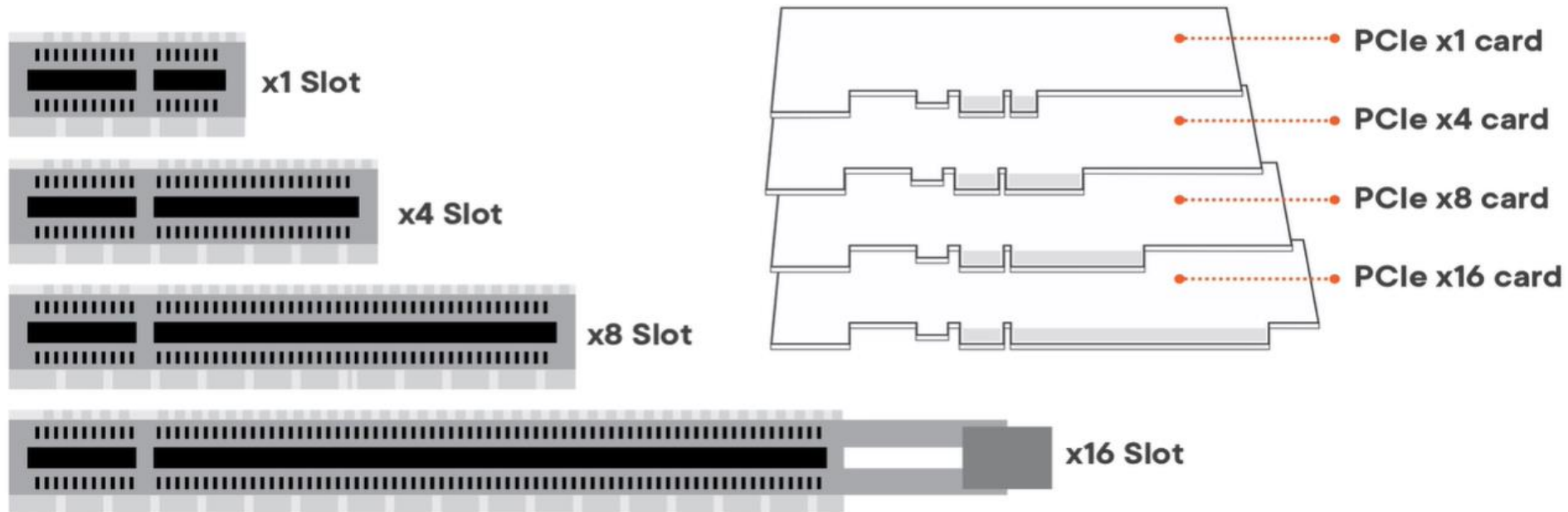
- Eerste versie in 2003
- Maakt gebruik van seriële communicatie
  - Wat is het verschil tussen seriële en parallelle communicatie?
  - Waarom wordt tegenwoordig gebruik gemaakt van seriële dataoverdracht?
- Ondersteunt hot-plugging
- [https://en.wikipedia.org/wiki/PCI\\_Express](https://en.wikipedia.org/wiki/PCI_Express)

# PCI Express

- **Dedicated bus per device**
  - Point-to-point communication
  - **Full duplex**
    - Wat is het verschil met Half duplex en simplex?
  - Andere geïnstalleerde kaarten hebben geen invloed op de snelheid
  - Alle kaarten kunnen tegelijk communiceren
- Lanes
  - **1, 4, 8 of 16 lanes**
  - Meer lanes
    - Meer snelheid (16 lanes is bijvoorbeeld 16 keer zo snel als 1 lane)
    - Langer slot bij meer lanes
  - Een lane zorgt voor een communicatiepath in 2 richtingen

# PCI Express

- Slots zijn backward compatible



- Moederbord bepaalt hoeveelheid en type uitbreidingsloten
- In BIOS kan x16 slot toch x8 slot zijn...

# PCI express

- Elke versie definieert **GT/s** (**gigatransfers per seconde**)
  - = aantal data transfers per seconde
  - Standaard is niet gebaseerd op bits/seconde
- Versies
  - 1: Created in 2003, 2.5 GT/s
  - 2: Created in 2007, 5 GT/s
  - 3: Created in 2010, 8 GT/s
  - 4: Created in 2017, 16 GT/s
  - 5: Created in 2019, 32 GT/s
  - 6: Created in 2021, 64 GT/s

Versies zijn backward compatible!

# PCI express

- Waarom is de PCIe versie en het slot type belangrijk?
  - Stel dat u een netwerkkaart van 40 Gbps wilt toevoegen aan een server.
  - Wat moet u dan weten over het moederbord?

- Wat is de **PCIe-busversie**?
- **Welk type PCIe-slots** zijn er beschikbaar?

=> Hierdoor kan je bepalen welke **bandbreedte** voorhanden is

Stel voorbeeld aan dat de bus (en kaart) **PCIe 4.0**.

- Hoeveel **lanes** heb je nu nodig voor een **40 Gbps** netwerkkaart?

# PCI express

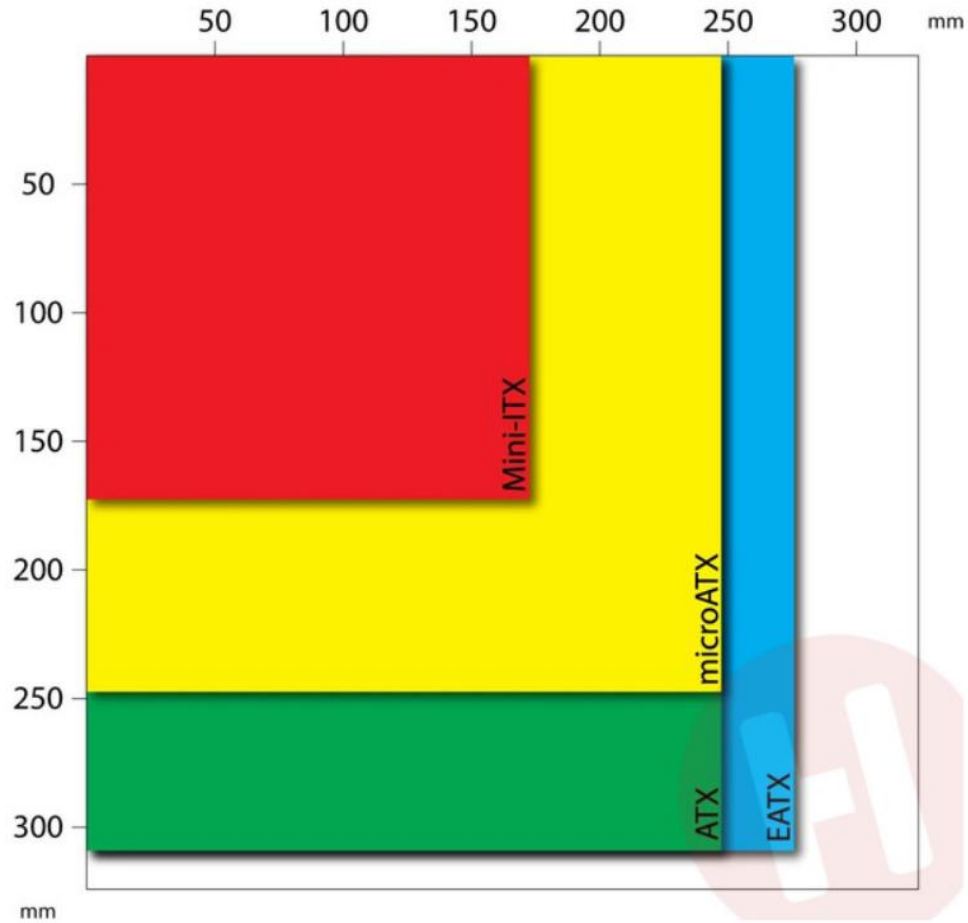
PCIe Version	Transfer Rate	PCIe Slot type (Number of PCIe Lanes)			
		x1	x4	x8	x16
PCIe 1	2.5 GT/s	2.00 Gbps	8.00 Gbps	16.00 Gbps	32.00 Gbps
PCIe 2	5.0 GT/s	4.00 Gbps	16.00 Gbps	32.00 Gbps	64.00 Gbps
PCIe 3	8.0 GT/s	7.88 Gbps	31.50 Gbps	63.02 Gbps	126.03 Gbps
PCIe 4	16.0 GT/s	15.76 Gbps	63.02 Gbps	126.03 Gbps	252.06 Gbps
PCIe 5	32.0 GT/s	31.50 Gbps	126.03 Gbps	252.06 Gbps	504.12 Gbps
PCIe 6	64.0 GT/s	63.02 Gbps	252.06 Gbps	504.12 Gbps	1.008 Tbps

# Form factor van moederbord

- **Fysieke specificaties** van het moederbord
  - Grootte
  - Locatie van de gaten voor het bevestigen
  - Grootte van back panel
  - Voeding
- **Genormaliseerd** voor desktop computers
- De bekendste vormfactor is wellicht **ATX**.
- Verdere verkleining vindt vooral zijn limiet bij de huidige **voedingstechnologie**.



# Form factor



De meest gangbare formfactoren op elkaar gelegd. Van groot naar klein e-atx (305 x 257-272 mm), atx (305 x 244 mm), micro-atx (244 x 244 mm) en mini-itx (170 x 170 mm).

# Form factor

- **ATX-moederbord:** 305mm lang en 244mm breed (12" lang en 9.6" breed).
- De gaatjes zitten op vaste plaatsen, zodat het plaatsen in een kast uniform blijft.
- ATX afgeleiden: **Extended-ATX, Mini-ATX, Micro-ATX, DTX, FlexATX, Mini-DTX en Mini-ITX.**
- In 2003 bracht Intel versie 2.2 van ATX uit, dat de 4 extra voedingspinnen heeft om zo nog meer vermogen te kunnen leveren.
- BTX werd na ATX gelanceerd (2004)
  - Betere warmte-afvoering.
  - **BTX** werd **overbodig** doordat processors en koelingen efficiënter werden bij ATX.

# Form factor



Standard-ATX



Micro-ATX



Mini-ITX



Nano-ITX



Pico-ITX



- [Voorbeeld moederborden](#)

# Peripherals op moederbord

- Moederborden: standaard uitgerust met een ingebouwde **geluidskaart, netwerkkaart**.
  - Het voordeel is dat je daardoor geen aparte uitbreidingskaarten meer moet kopen.
- De **kwaliteit** van de **ingebouwde functies** is erg elementair:
  - Voldoende voor eenvoudig gebruik => gebruik uitbreidingsslots

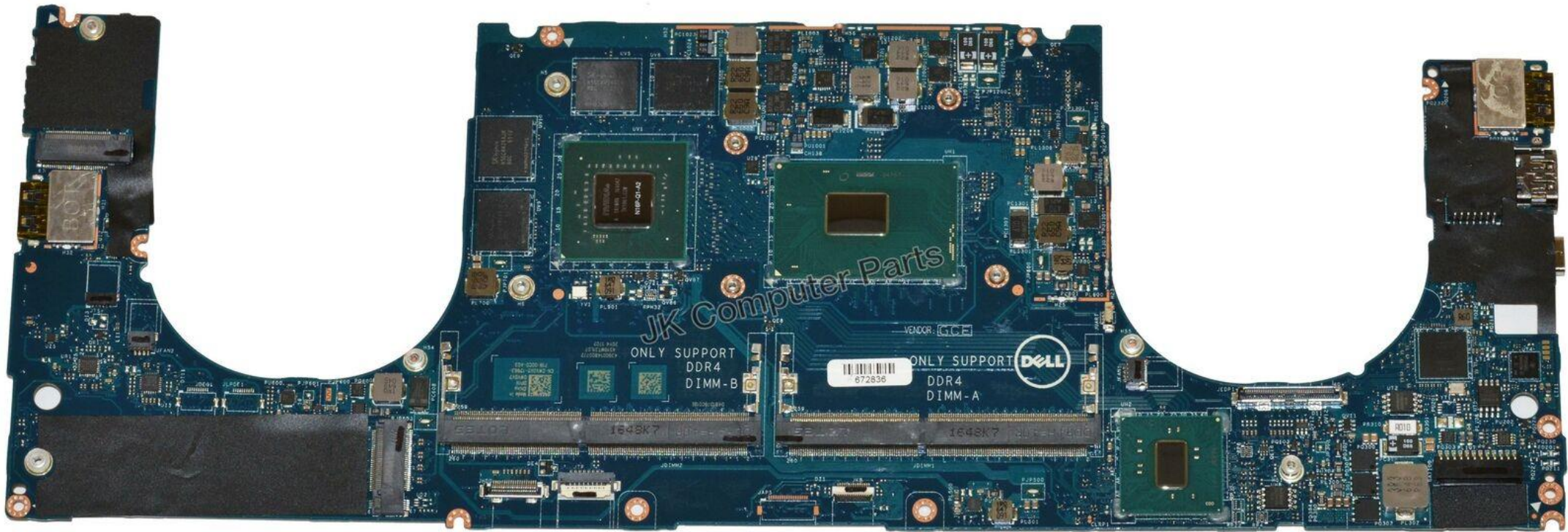


# Moederborden voor laptops

- Geen standaard betreffende **vorm** en **voeding**
  - Compactheid is belangrijkste
- **Wel standardisering: RAM en SSD** (m.2 en sata)
- Moederborden voor laptops hebben vaak een erg grillige vorm, omdat ze netjes rond onderdelen werden ontworpen.
- Minder aansluitingen dan desktop
- Herstelling is vaak duur => enkel bij de fabrikant zelf



# Moederborden voor laptops

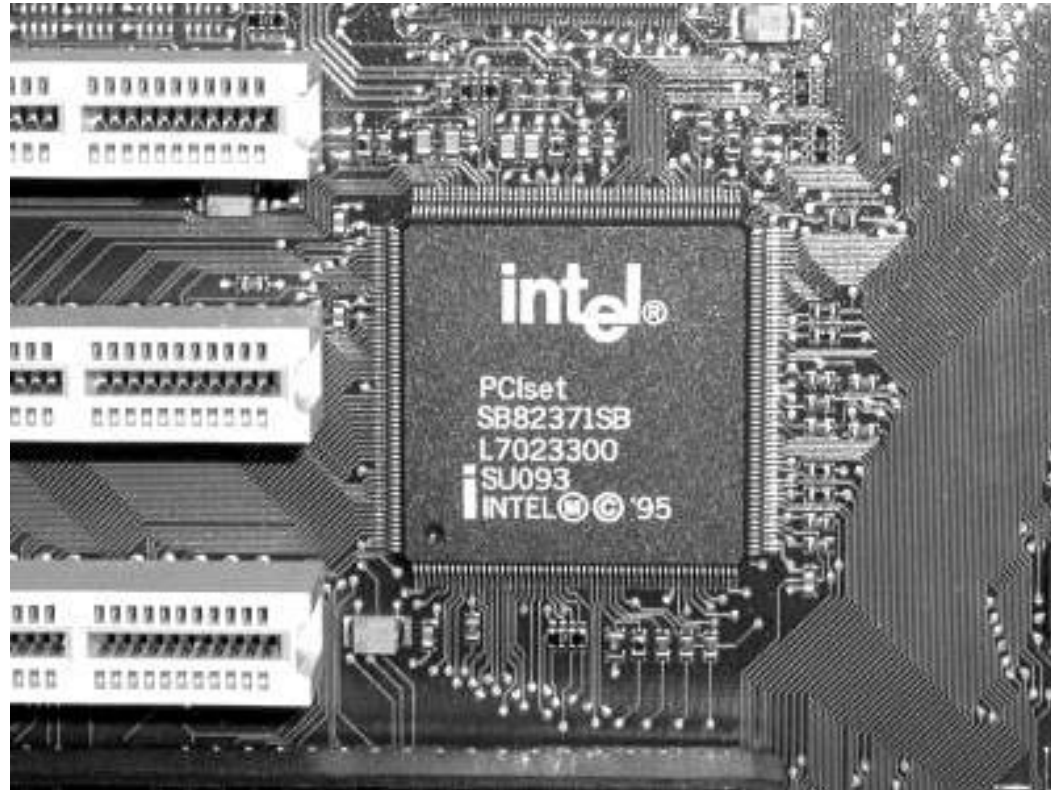


[www.ifixit.com](http://www.ifixit.com)

<https://happybytes.nl/product-categorie/laptop-onderdelen/laptop-moederborden/>

<https://nl.ifixit.com/Guide/Microsoft+Surface+Pro+4+Vervanging+van+het+moederbord/146069>

# De chipset





# Chipset

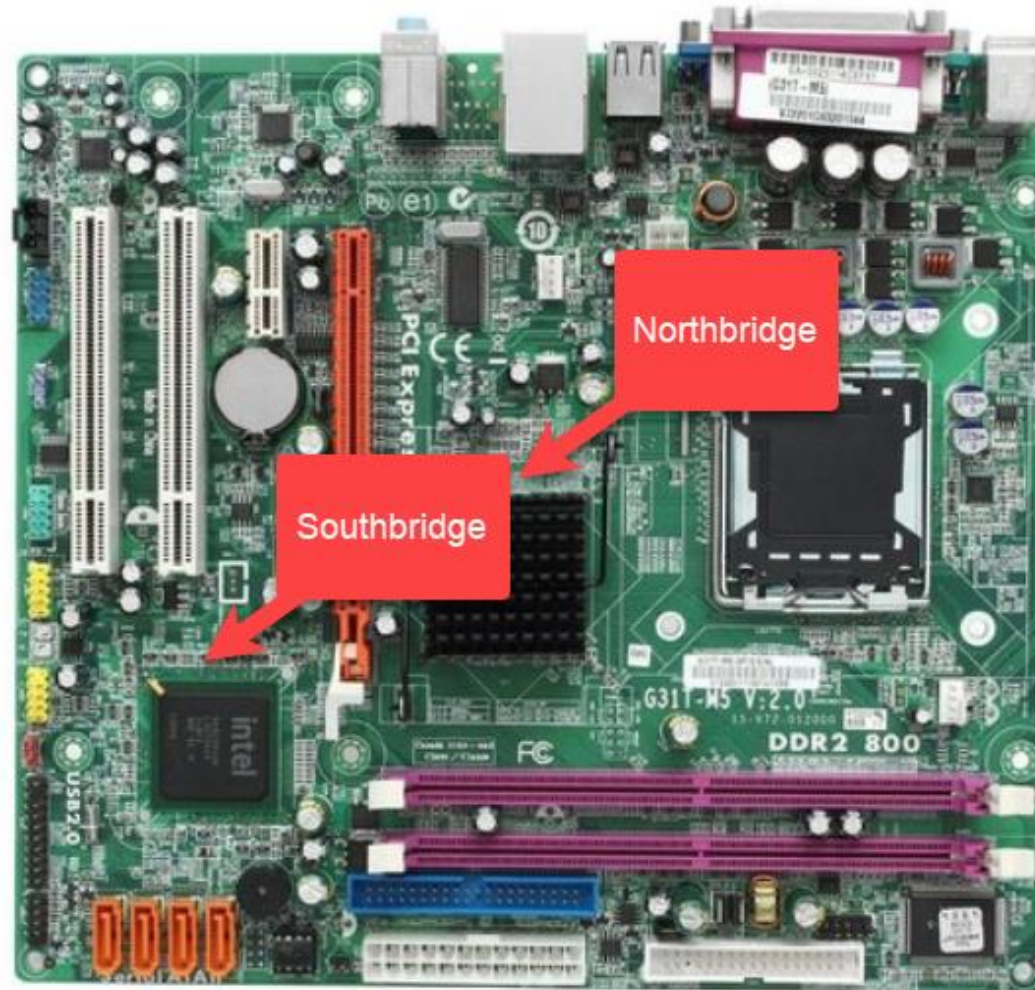
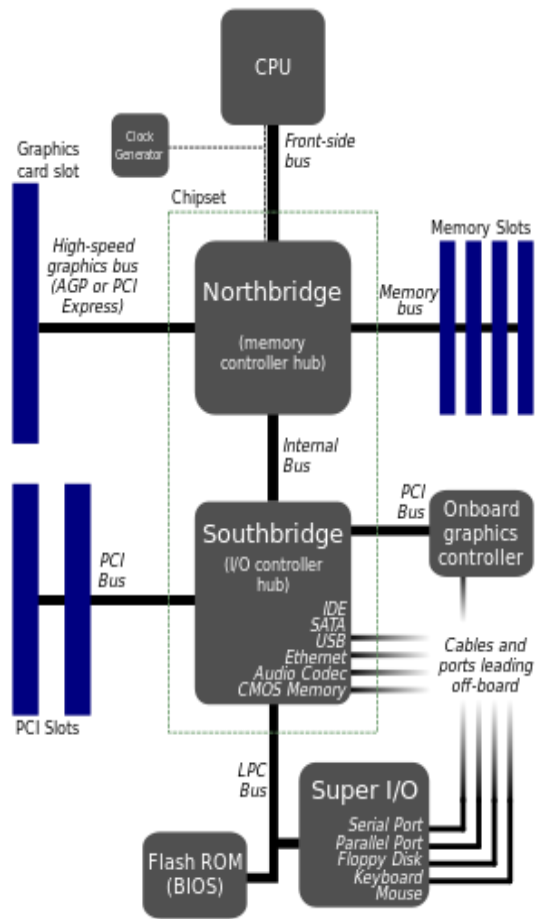
= **geïntegreerde schakelingen** die in samenwerking met de processor worden gebruikt op een moederbord.

- Normaliter ontworpen voor bepaalde serie processoren.
- De chipset draagt zorg voor de **communicatie** tussen de processor en de **rest van de computer** (randapparatuur, geheugen).
  - Meestal **vroeger** 2 aparte chips:
    - **Northbridge**
      - **snelle** verkeer tussen de processor en het geheugen en de grafische kaart (via de AGP of PCI-E).
    - **Southbridge.**
      - Communicatie met de **tragere** componenten van de pc: de harde schijf, diskettestation, toetsenbord, USB en de andere PCI-slots (sleuven) naast de grafische sleuven (AGP of PCI-E).

# Chipset

- **Later** werden deze **verbonden** door middel van de Interlink Dedicated Bus of Interlink Bus en later **DMI**.
- Nu wordt DMI (direct media interface) nog altijd gebruikt voor de verbinding tussen de microprocessor en de chipset.
- [https://en.wikipedia.org/wiki/Direct\\_Media\\_Interface](https://en.wikipedia.org/wiki/Direct_Media_Interface)

# Oude chipset met north- en southbridge



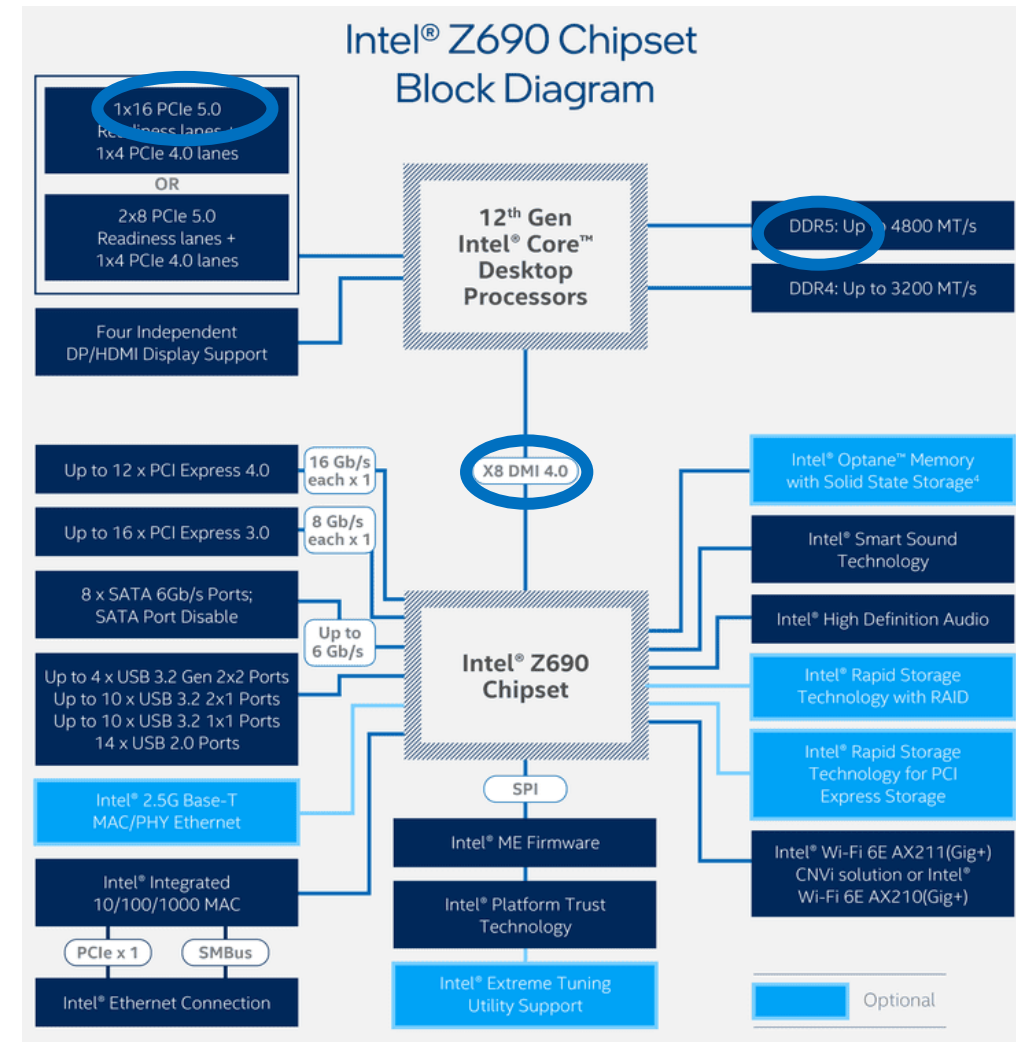
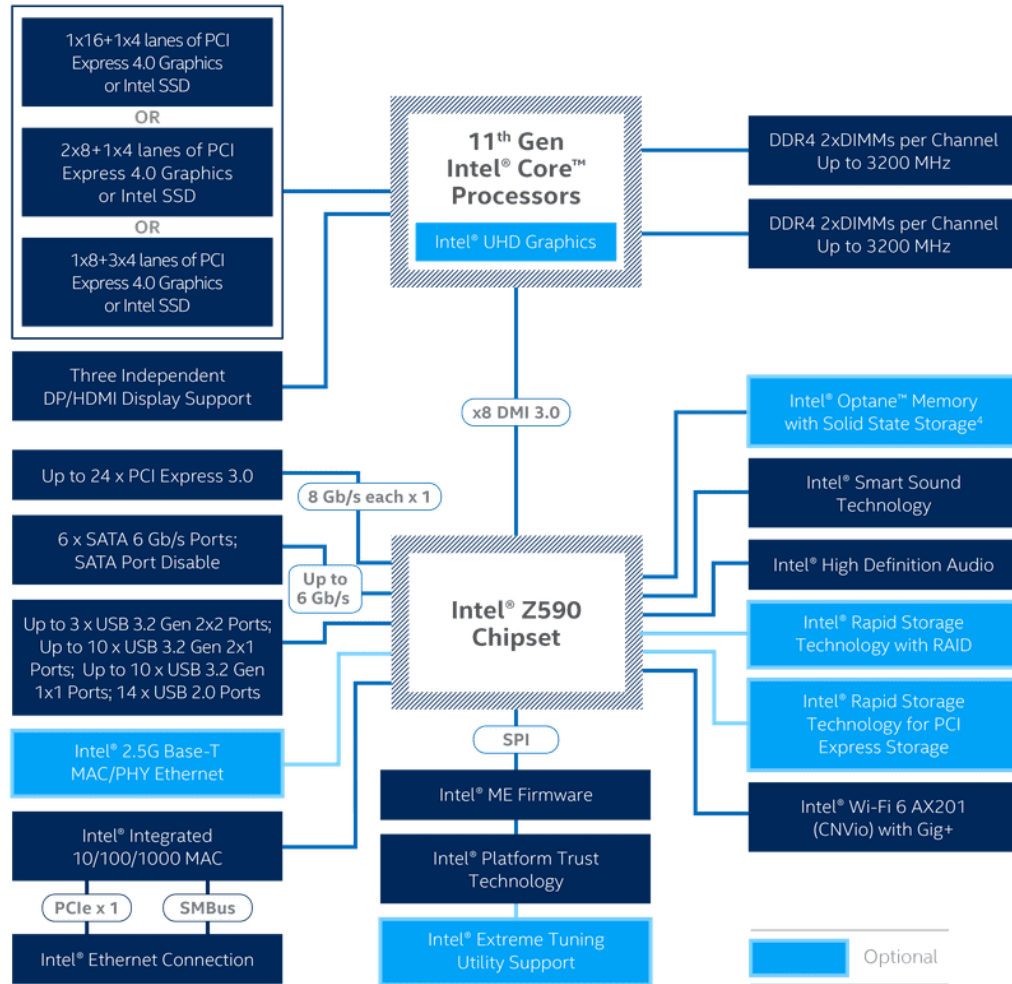
# Chipset

- Bekende fabrikanten van chipsets zijn **Intel** en **AMD**.
  - Intel → chipsets voor Intel-processoren.
  - AMD → chipsets voor AMD processoren.
- Chipset bepaalt
  - Mogelijkheden van een PC
  - Maximum grootte van het werkgeheugen
  - Maximum snelheid van de systeembus
  - Aantal en soort uitbreidingsslots
  - ...
- Chipset controleert de temperatuur van de processor, ...
- Chipset bepaalt ook welk type werkgeheugen (DDR4-SDRAM) en welke type processor (Intel of AMD processor) zal kunnen gebruikt worden.
- Nieuwe technologieën zoals Thunderbolt en m.2 moeten ondersteund worden door de chipset om te kunnen worden gebruikt.

# Chipset

- **Chipsets dient compatibel te zijn met de processor** (AMD of Intel hebben andere chipsets)
- De chipset heeft 3 belangrijke functies :
  - **System controller**
    - Kloksnelheid van de processor (timer of klokgenerator → tegenwoordig in microprocessor zelf).
    - Onderbreken van programma's voor prioritaire taken (interrupts).
    - Gegevenstransport naar het intern geheugen (DMA-controller).
    - Energiebeheer.
  - **Peripheral controller**
    - Businterface voor de uitbreidingskaarten
    - Interface voor de harde schijven (SATA), SSD's (SATA en m.2) en de optische stations (SATA)
    - Toetsenbordcontroller
    - I/O (input/output) poort controller voor de aansluitingen van randapparatuur.
  - **Memory controller** (toen er nog 2 ic's waren voor de chipset)
    - besturing van het werkgeheugen.
- Tegenwoordig bestaat de chipset **meestal maar uit 1 IC**.

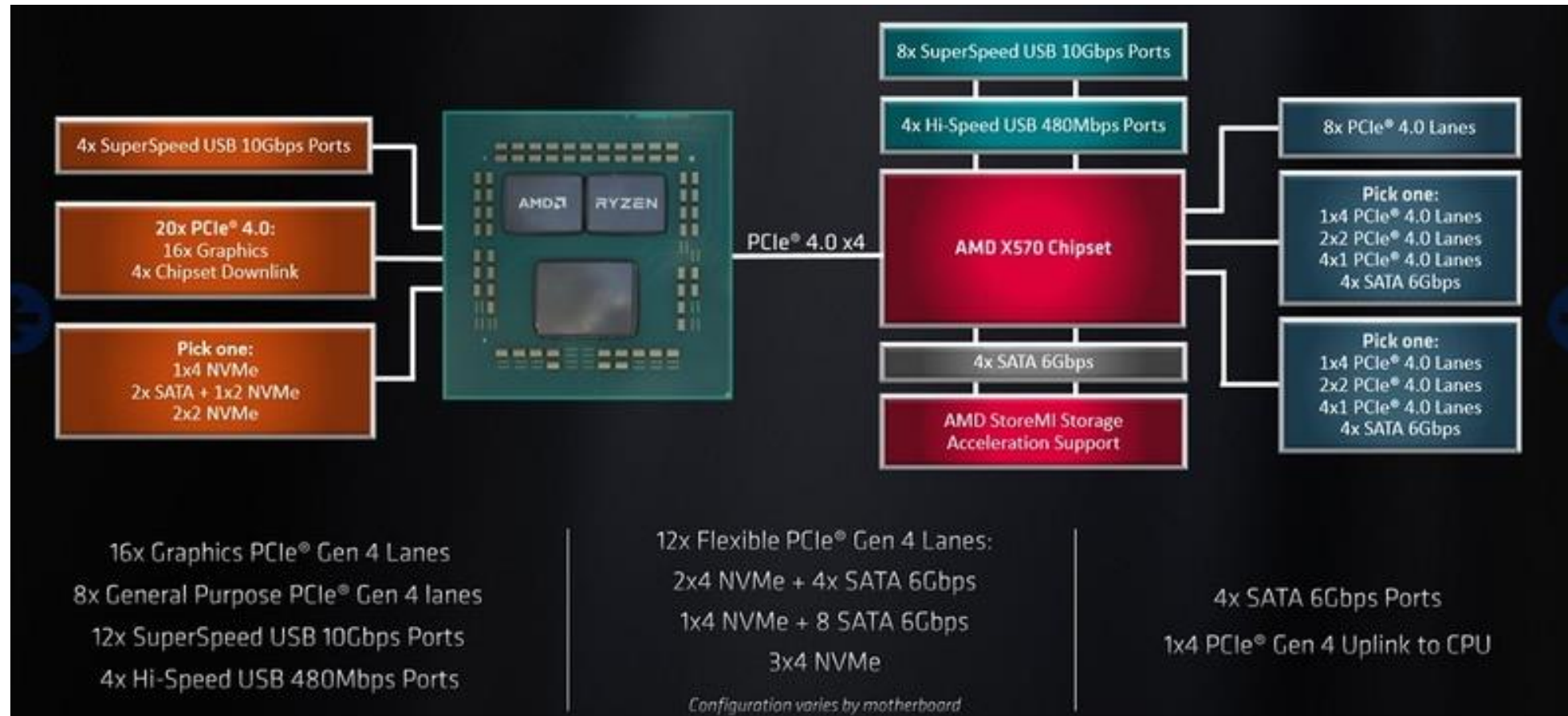
# Chipset



<https://tweakers.net/reviews/9558/intel-z690-moederborden-met-ddr4-alder-lake-zo-betaalbaar-mogelijk.html>



# Chipset



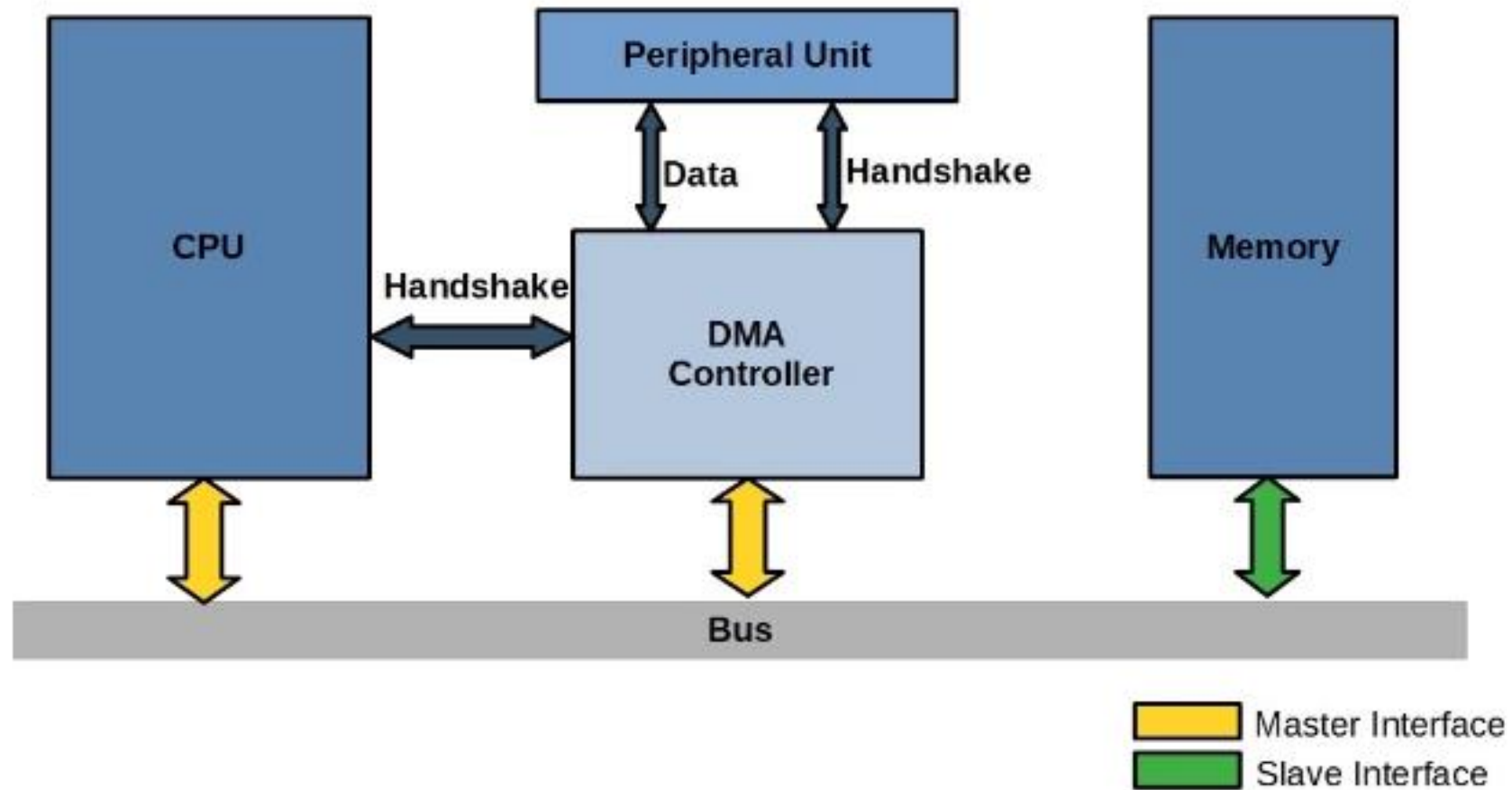
<https://www.amd.com/en/products/chipsets-am4>

Meer info: <https://www.youtube.com/watch?v=h9CmdPt30v8>

# DMA-controller

- **Direct Memory Access**
- Snelle overdracht tussen een randapparaat en het werkgeheugen **zonder tussenkomst van de processor.**
- DMA wordt gebruikt voor apparaten zoals schijfcontrollers en netwerkkarten.
  - De schijfcontroller kan de **DMA-controller**, die **deel uitmaakt van de chipset**, met een DMA-request verzoeken gegevens direct naar het geheugen te schrijven of uit het geheugen te lezen.
  - Bijvoorbeeld leesopdracht: gegevens gaan dan niet meer eerst van het geheugen naar een register in de processor en vandaar naar het randapparaat, maar direct via de DMA-controller.
  - Dit gaat niet alleen sneller, maar ontlast ook de processor.
  - Terwijl de DMA-controller het datatransport afhandelt, kan de processor dan andere bewerkingen uitvoeren.

# DMA-controller



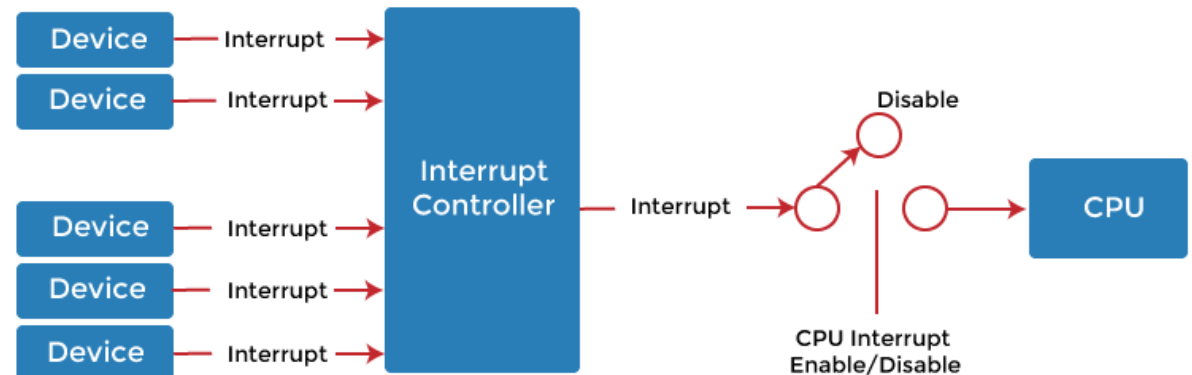
# IRQ

- Een processor krijgt vaak vele verzoeken van devices.
  - De chipset bepaalt de volgorde waarin die verzoeken worden uitgevoerd door middel van IRQ's (Interrupt requests – letterlijk vertaald: onderbrekingsverzoeken).
- Wanneer je bijvoorbeeld een **toets indrukt**, terwijl je ondertussen naar een online **radio** luistert, moet de ingegeven letter op het scherm verschijnen.
  - Een IRQ zal het afspelen van de radio heel eventjes onderbreken om voorrang te geven aan het plaatsen van de letter op het scherm. Gelukkig worden de gegevens van de online radio **gebufferd** en zijn processoren tegenwoordig zo snel dat je de onderbreking niet hoort.
- Vroeger: beperkt aantal interrupts in PC
  - **16 interrupts IRQ** adressen (Interrupt Request (zie volgende slide)).
  - Momenteel is dit probleem verholpen (**IRQ sharing** en **meer IRQ adressen**)

# Interrupt requests

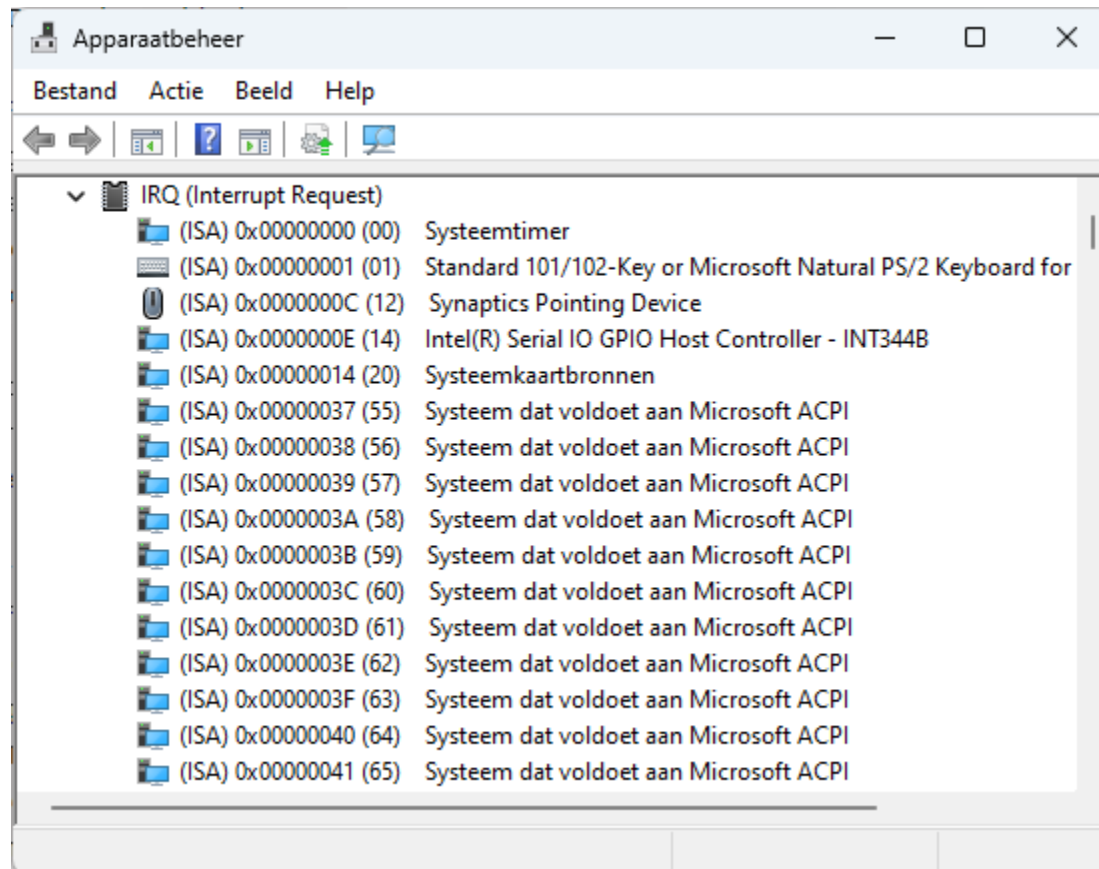
- Toekennen van IRQ-adressen gebeurt door de **interrupt controller**, die **deel** uitmaakt van de **chipset**.

IRQ 0	klok timer
IRQ 1	toetsenbord
IRQ 2	cascade van IRQ 9
IRQ 3	seriële poort 2 en 4 , en ev. netwerkkaart
IRQ 4	seriële poort 1 en 3
IRQ 5	parallele poort 2, geluidskaart
IRQ 6	floppy disk
IRQ 7	parallele poort 1
IRQ 8	real time clock
IRQ 9	EGA/VGA beeldschermadapter
IRQ 10	gereserveerd
IRQ 11	gereserveerd
IRQ 12	PS/2-muis
IRQ 13	coprocessor
IRQ 14	harddisk controller 1
IRQ 15	harddisk controller 2



# Interrupt requests

- Je kan in Windows nagaan welk apparaat welke IRQ heeft gekregen (demo)





# BIOS

- **Basic Input & Output System**
- Kan uitgebreid worden met BIOS extensions.
- Het BIOS is niets meer dan een computerprogramma, dat zich echter onderscheidt van andere computerprogramma's:
  - De **eerste code** die gestart wordt als je een computer **opstart**.
  - De manier waarop ze bewaard wordt :
    - Vroeger : op een **EPROM / EEPROM-chip**
    - Nu : Op **Flash-geheugen**
  - Het flash-geheugen waarop het BIOS zich bevindt, maakt deel uit van de **chipset** van een computer.
    - Vroeger: aparte IC voor BIOS



# BIOS

- De functies die ze vervult :
  - **Power-On-Self-Test (POST)**
    - Hardwaretest van alle belangrijke onderdelen van de computer (bussen, werkgeheugen, toetsenbord- en muiscontroller, ... enz.).
      - Indien dit niet ok => computer start niet op en geeft eventueel een geluidssignaal of een foutmelding op het scherm of moederbord.
    - De POST wordt enkel uitgevoerd bij een zgn. “**koude start**” – dwz. wanneer je de computer gewoon opstart of herstart met de “reset”-knop op je computer.
    - Bij een “warme start” – dat is een herstart van het computersysteem– wordt de POST-routine niet uitgevoerd.
      - De test is dan immers al uitgevoerd geweest.

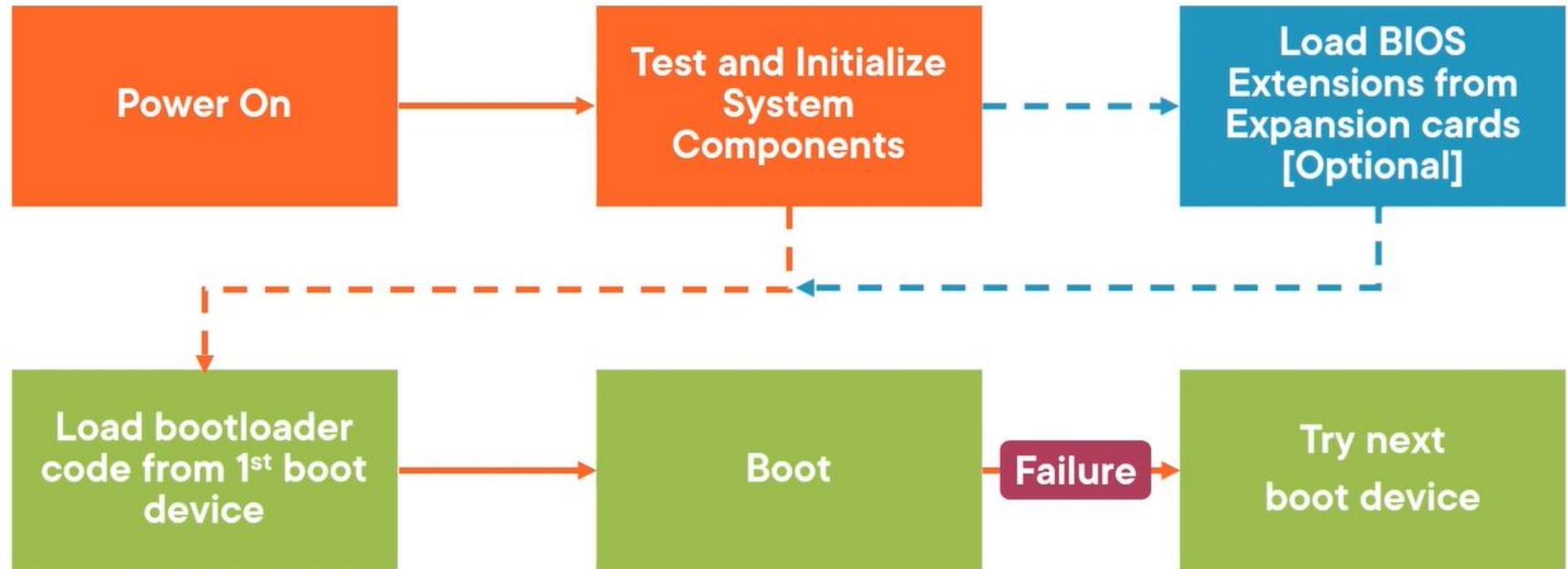
# BIOS

- De functies die ze vervult :
  - **Initialiseren van de bootstrap loader**, het programma in het **ROM** dat de computer doet **opstarten**. Concreet gaat het dan om een routine, die verwijst naar de bootsector van de SSD of USB-stick waarop de eerste instructie van het besturingssysteem staat.
  - **Scannen van het werkgeheugen** op eventuele fouten en andere componenten.
  - **Aansturing van hardware-onderdelen**.
    - Daarvoor werkt het BIOS samen met de interrupt controller in de chipset.
  - **Bewaren van de systeeminstellingen** van de computer en de randapparaten (bijvoorbeeld de systeemtijd) gebeuren in het **CMOS-geheugen**.

# BIOS

- BIOS-programma wordt bewaard in **FLASH-geheugen**
  - Flash-geheugen is een technologie die ernaar vaak wegschrijven niet overleeft...
- Gegevens zoals de systeemtijd (de BIOS-instellingen) worden bewaard in **CMOS-geheugen**.
  - CMOS wordt door BIOS aangesproken.
  - CMOS-geheugen is erg klein (slechts 100 tot 200 bytes), maar dat is voldoende voor het bewaren van de meest essentiële veranderlijke gegevens van het BIOS.

# BIOS Boot Process



# CMOS

- CMOS = Complementary Metal-Oxide Semiconductor  
= specifieke transistor-technologie.
  - Deze benaming moet je niet van buiten leren.
- Bewaart de **instellingen** van de **BIOS/UEFI** (zie verder)
- Een kleine **lithium-batterij** op het moederbord houdt CMOS-geheugen onder spanning
  - Zonder spanning verliest CMOS zijn gegevens.
  - Soms is de batterij ook “ingebouwd” is in de behuizing van de CMOS-chip.
  - Gaat 2 tot 10 jaar mee.





# CMOS

- BIOS-instellingen bekijken: tijdens het opstarten van de PC op een toets drukken.
- Welke **toets (ESC, DEL, F2)** precies is wordt doorgaans eventjes bij het opstarten getoond en is verschillend van het ene tot het andere BIOS.

**Acer:** F2 or DEL

**ASUS:** F2 for all PCs, F2 or DEL for motherboards

**Dell:** F2 or F12

**HP:** ESC or F10

**Lenovo:** F2 or Fn + F2

**Lenovo (Desktops):** F1

**Lenovo (ThinkPads):** Enter + F1.

**MSI:** DEL for motherboards and PCs

**Microsoft Surface Tablets:** Press and hold volume up button.

**Origin PC:** F2

**Samsung:** F2


**Sony:** F1, F2, or F3

**Toshiba:** F2

Of vanuit Windows via instellingen => systeem =>  
geavanceerde opstartopties

# CMOS

← Instellingen



**Stijn Jacobs**  
stijn.jac@outlook.com

Instelling zoeken

Systeem

Bluetooth en apparaten

Netwerk en internet

Persoonlijke instellingen

Apps

Accounts

Tijd en taal

Gaming


Toegankelijkheid

Privacy en beveiliging


Windows Update

Systeem > Systeemherstel


Als u problemen ondervindt met uw pc of deze opnieuw wilt instellen, kunnen deze herstelopties helpen.

 Problemen oplossen zonder uw pc opnieuw in te stellen  
Het opnieuw instellen kan even duren. Probeer problemen op te lossen door een probleemoplosser uit te voeren


Herstelopties

 Deze pc opnieuw instellen  
Kies of u uw persoonlijke bestanden wilt behouden of verwijderen, installeer vervolgens Windows opnieuw

Pc opnieuw instellen


 Downgrade  
Als deze versie niet werkt, kunt u proberen de laatste update te verwijderen

Terug

 Geavanceerde opstartopties  
Start uw pc nu opnieuw op om de opstartinstellingen te wijzigen, inclusief het starten vanaf een schijf- of USB-station

Nu opnieuw opstarten

Verwante ondersteuning

 Hulp bij Systeemherstel

Een herstelstation maken

Assistentie

Feedback geven

# BIOS updates

- Soms nodig: bijvoorbeeld **ondersteuning nieuwe hardware**.
- Afhankelijk van het type van BIOS, kan een upgrade vrij eenvoudig zijn.
  - Via het internet.
  - Via programma te downloaden van website moederbord.
  - Via USB-stick.
- Meer info: handleiding van je moederbord/laptop (internet).

# BIOS-instellingen wijzigen

- Sterk afhankelijk van het soort BIOS
- Meestal door te drukken op ESC, DEL of F2 ...
  - Opstartvolgorde wijzigen
    - **Boot Sequence**
  - POST verminderen
    - **Quick Boot : Enabled of**
    - **Quick Power On Self Test : Enabled**
  - **Legacy modus on**
    - Zorgt ervoor dat je OS niet gaat werken met UEFI => klassieke partitieindeling (MBR)
  - Virtualization activeren.
    - **Virtualization on**

# BIOS-instellingen wijzigen

- sommige BIOS-versies: **anti-virusoptie**.
  - Geen vervanger antivirusprogramma in het besturingssysteem.
  - De antivirusoptie in het BIOS zoekt enkel naar bootsectorvirussen, maar is eigenlijk overbodig als je een modern antivirusprogramma gebruikt.
  - Je moet dit uitzetten als je een OS installeert.
  - **Virus Warning : Disabled**
- BIOS beveiligen met een **wachtwoord**.
  - Dit is geen afdoende beveiliging (je kan immers het wachtwoord verwijderen)!
- [BIOS settings](#)
- [Lenovo BIOS Simulator](#)
  - Zoek bijvoorbeeld naar 100-14IBD (80RK)

# BIOS-instellingen wijzigen

- Paswoord van BIOS resetten:
  - Verwijder de **CMOS (reset) jumper** op het moederbord (best met handleiding van je moederbord erbij)
    - Je bent erna alle instellingen van je CMOS-geheugen kwijt.
  - Maak de **voedingskabel los** en **verwijder** de **CMOS-batterij** een korte tijd uit het moederbord.
    - Doordat de CMOS-chip even alle elektrische spanning verliest, verdwijnen alle zelf opgeslagen gegevens uit het CMOS-geheugen.
    - Hierna kan je jouw instellingen opnieuw wijzigen.



# BIOS Updates

- Redenen
  - **Bugfixes.**
  - Ondersteuning **nieuwe hardware** (bijvoorbeeld een nieuwe processor).
- Upgrade: tegenwoordig meestal vrij eenvoudig.
  - Afhankelijk van **fabrikant BIOS**.
  - “Flash geheugen” kan eenvoudig worden geherprogrammeerd.
- Best **BIOS flashen** vooraleer je een andere systeem-upgrade uitvoert.
- De meeste flash BIOS upgrades zijn gratis en te downloaden van de website van de BIOS-fabrikant.

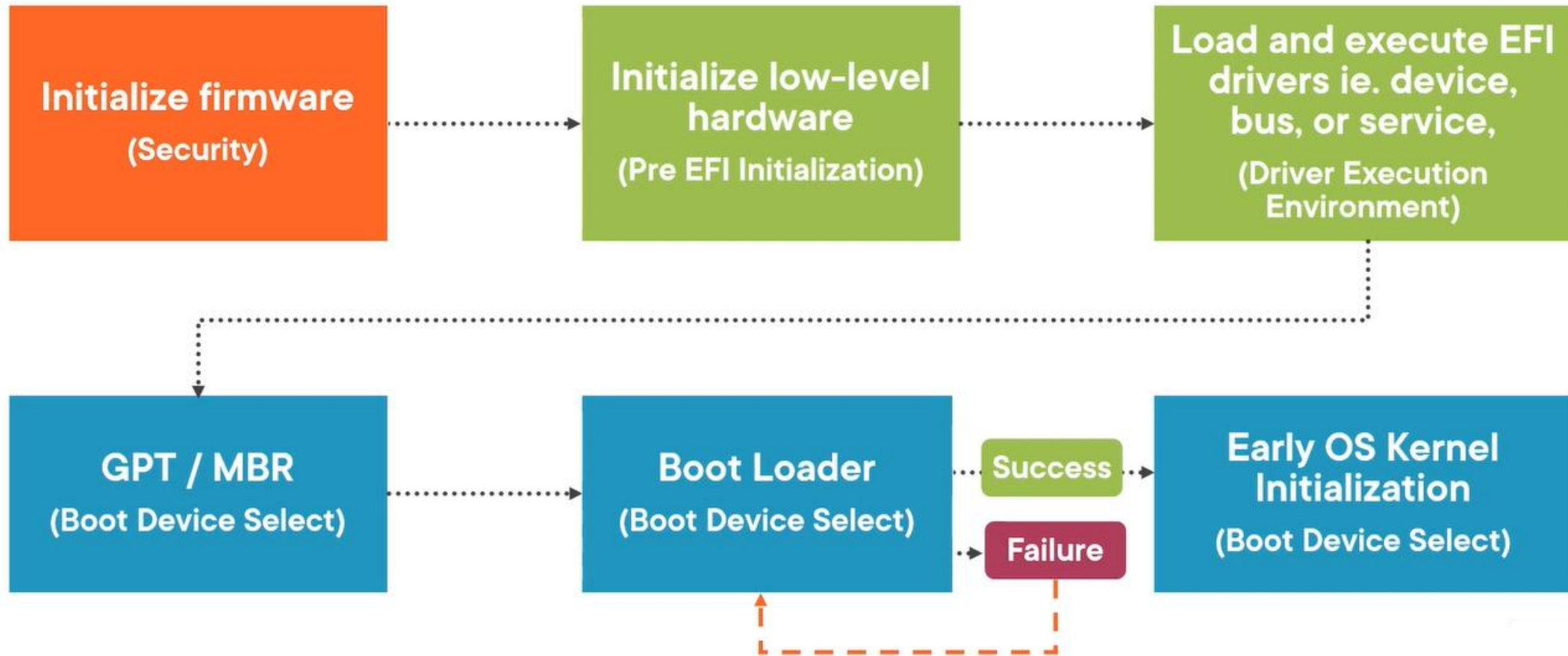
# UEFI

- BIOS = overblijfsel van de **allereerste PC**.
  - Ontwikkeld begin jaren 1980.
  - Computers zijn nu complexer, hebben **meer gesofisticeerde componenten** en randapparaten.
    - BIOS-fabrikanten hebben hun BIOS-systemen steeds complexer moeten programmeren.
    - BIOS-programma's werden daardoor zo onoverzichtelijk en ingewikkeld.
- **Unified Extensible Firmware Interface**
  - Is backwards compatibel (legacy mode)
  - Kan **secure opstarten**
    - D.m.v. **cryptografie**
    - Gelinked aan TPM (Trusted Platform Module) in servers (bewaard **keys**)

# UEFI

- Eind jaren 1990: Intel => **opvolger** voor het klassieke **BIOS**: EFI.
  - Net als het BIOS wordt EFI bewaard op een **Flash ROM-chip**.
  - Programmastructuur werd veel eenvoudiger gemaakt.
  - Aangepast aan de nieuwste technologieën.
- EFI: het besturingssysteem moet dat **ondersteunen**.
  - Anders in compatibiliteitsmodus draaien.
  - Windows en Linux ondersteunen nu uiteraard UEFI

# UEFI Boot Process



GPT/MBR wordt later nog besproken...

# UEFI

- Voordelen EFI

- BIOS is tekstgebaseerd, EFI-gebruikersinterface is vaak **grafisch** opgebouwd.
- **Schereweergave** is niet meer beperkt tot VGA-standaard (640 x 480 pixels).
- Dankzij **PXE** (Preboot Execution Environment)
  - => instellingen vanop afstand – op een andere computer in het netwerk – wijzigen.
- Makkelijker om zogenaamde **pre-boot applicaties** te draaien, zoals diagnosetools, partitioneringsprogramma's of image-tools.
  - Tot nog toe: opstarten via CD-ROM's/USB.
  - EFI maakt het mogelijk dat dat soort programma's vanaf de **harde schijf of SSD** kunnen worden opgestart, voor het besturingssysteem actief wordt (handiger en sneller).

# BIOS en EFI

- [UEFI EN BIOS deel 1](#)
- [UEFI EN BIOS deel 2](#)
- [UEFI EN BIOS deel 3](#)

# De voeding

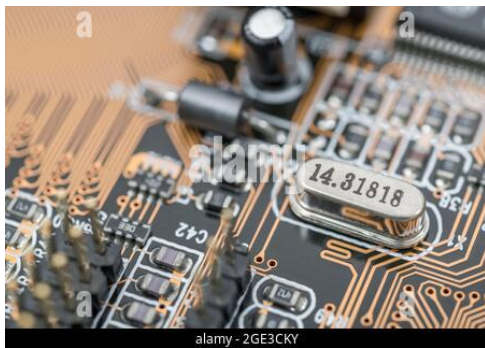
- Elektronica (zoals PC) = **laagspanning**.
  - Het voltage dat de computer nodig heeft hangt af van het onderdeel :
    - Processor : **3,3 volt**
    - Moederbord : **5 volt**
    - Harde schijf : **12 volt**
  - <https://www.alternate.be/Voedingen>
- = Power Supply Unit
- **PSU**
  - Vermogen in Watt (W)
    - Afhankelijk van componenten
  - Form Factor: ATX, Flex ATX





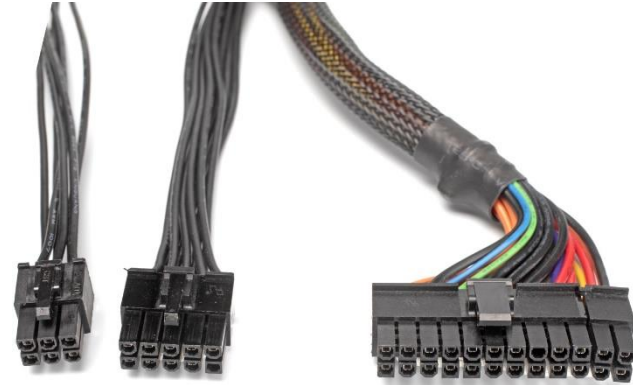
# De voeding

- Verschillen met **netspanning** stopcontact
  - 230 V vs laagspanning.
  - Wisselstroom vs gelijkstroom PC.
- Computervoeding: “**wisselstroom-gelijkstroom-adapter**” die de spanning reduceert.
  - Op het moederbord wordt door o.a. een quartzkristal deze gelijkspanning omgezet naar wisselspanning met een hoge frequentie.



# De voeding

- Connector voor moederbord
  - ATX12V 2.x: 24-pins connector
  - ATX: 20-pins connector (oude standaard)
  - ATX12VO: leveren alleen 12 V (10 en 6 pennen)
- Connector voor SATA-SSD/HDD



- 6/8 pin PCI-Express voor grafische kaart



- [Uitleg ATX12VO](#)
- [Voorbeelden voedingen](#)
- [Voedingen](#)

# De processor

- Processor
  - = CPU = Central Processing Unit
  - CVE = Centrale Verwerkingseenheid

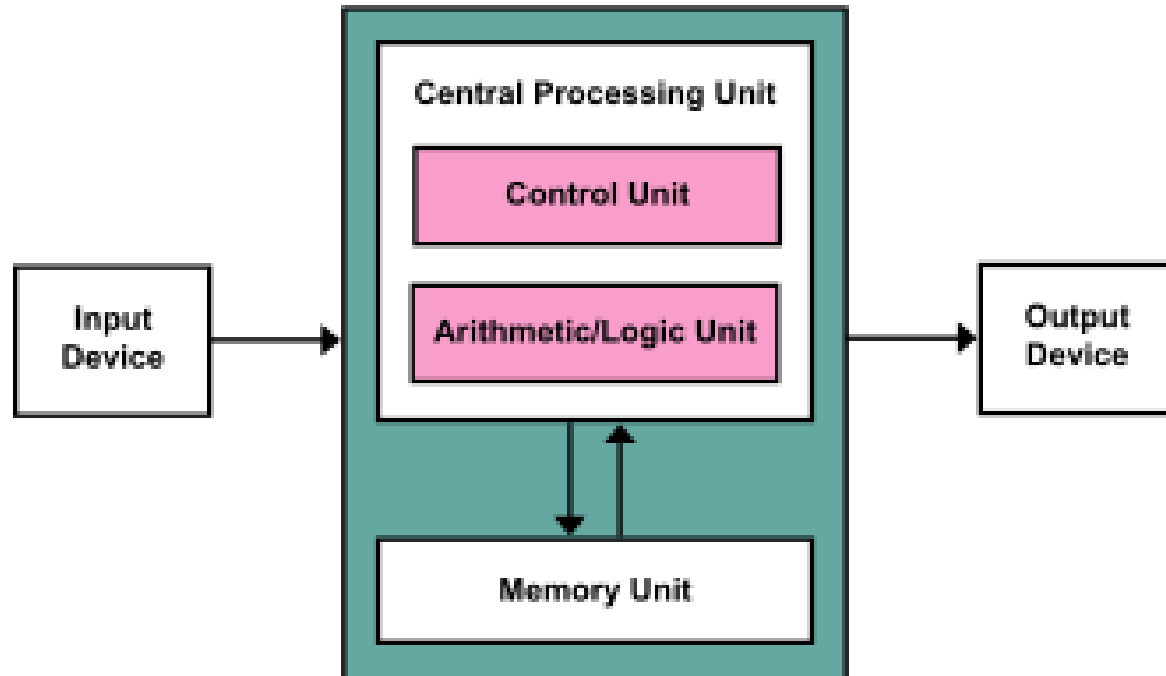
# De Von Neumann-architectuur



- John von Neumann (1903 – 1957): Hongaar van geboorte, later Amerikaan.
- Processorverwerking dat von Neumann uitdacht, leeft voort in hedendaagse computers.
  - Processor (cpu) staat centraal.
  - De cpu communiceert met het werkgeheugen.
  - Externe invoer en uitvoer stuurt de cpu naar de randapparatuur.

WERKGEHEUGEN ↔ CPU ↔ RANDAPPARATUUR

# De Von Neumann-architectuur



# De Von Neumann-architectuur

- Instructies worden **één voor één** opgehaald en uitgevoerd.
- Randapparaten (van vroeger) zijn bijvoorbeeld:
  - een ponskaartlezer
  - een printer
  - een magneetband
  - een magneetschijf
  - een toetsenbord
  - een beeldscherm
  - een optische schijf.
- Alle hedendaagse computers voor algemeen gebruik werken volgens de Von Neumann-architectuur.

# De Harvard-architectuur



- Embedded computers zijn vaak opgezet met een Harvard-architectuur.
- Harvard-architectuur
  - Gescheiden bussen (en adresruimtes) heeft voor data en instructies ( $\Leftrightarrow$  Von Neumann).
  - Hierdoor snellere processor
    - Ophalen van de volgende instructie en het wegschrijven van het resultaat van de laatste instructie kan **gelijktijdig**.
  - Data- en instructiegeheugens moeten niet dezelfde woordbreedte hebben (bespaart opslagruimte).
  - Sommige bewerkingen zijn onmogelijk of ingewikkelder.
- Harvard-architectuur: toegepast in microcontrollers en DSP's.
- **"Normale" processoren:** Von Neumann-architectuur.



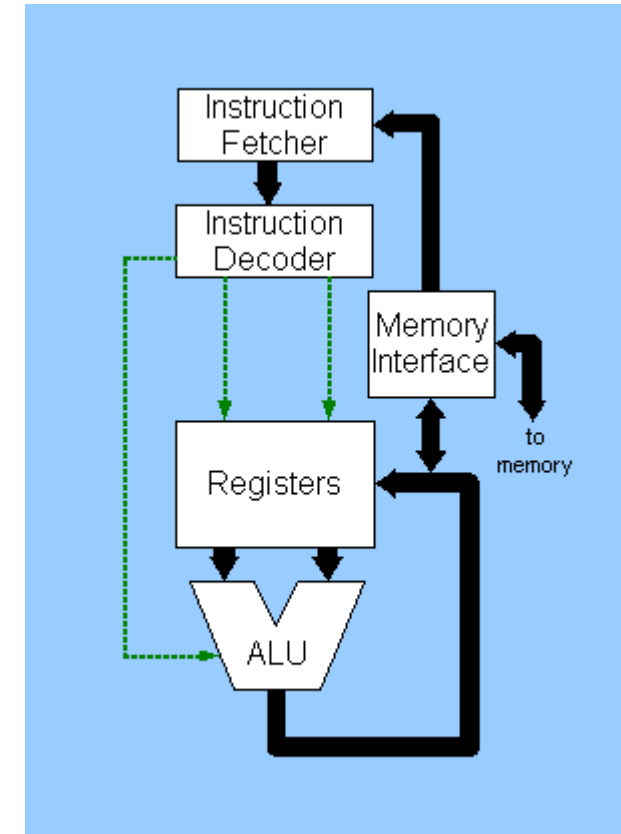
# Instructieset

= **verzameling** van **alle mogelijke machinecodes** die een **processor** kan **verwerken**.

- Instructies worden als binaire codes in het geheugen gezet
- Programmeren gebeurt in Assembleertalen of (meestal) hogere programmeertalen.
- Elke **Processorfamilie** heeft **eigen instructieset**
  - Niet uitwisselbaar met andere.
  - Programma's die voor een bepaald processortype gemaakt zijn niet zonder meer op een ander type kunnen werken (soms zijn programma's te hercompileren).
- Voorbeelden
  - **x86-instructieset**: Intel 8086/8088-processor en **AMD**
    - Instructieset wordt uitgebreid bij nieuwere generaties.
  - **ARM-instructieset**: van mobiele telefoons en PDA's tot printers of harde schijven.

# Instructieafhandeling

- Samengevat kan gesteld worden dat elke instructie in feit een **cycl**us is, die bestaat uit **drie fasen** :
  - Prefetch : Het ophalen van de instructie uit het inwendig geheugen.
  - Decode : Het omzetten van de instructie naar een voor de processor verstaanbare opdracht.
  - Execute : Het uitvoeren van de instructie.



# Instructieafhandeling

- **Instructieset van de 8086-processor** = algemene standaard
  - Beginjaren
    - IBM ontwikkelde de PC (enige chip die ze zelf maakten was de BIOS)
    - Besturingssysteem was MS-DOS, ontwikkeld door Microsoft
  - “IBM-compatible” computer
    - Kloon van IBM-PC
      - Andere BIOS: ASUS BIOS, Gigabyte BIOS, MSI BIOS, HP BIOS ...
        - IBM had namelijk copyright op zijn BIOS
  - Huidige situatie
    - IBM is allang weggeconcentreerd.

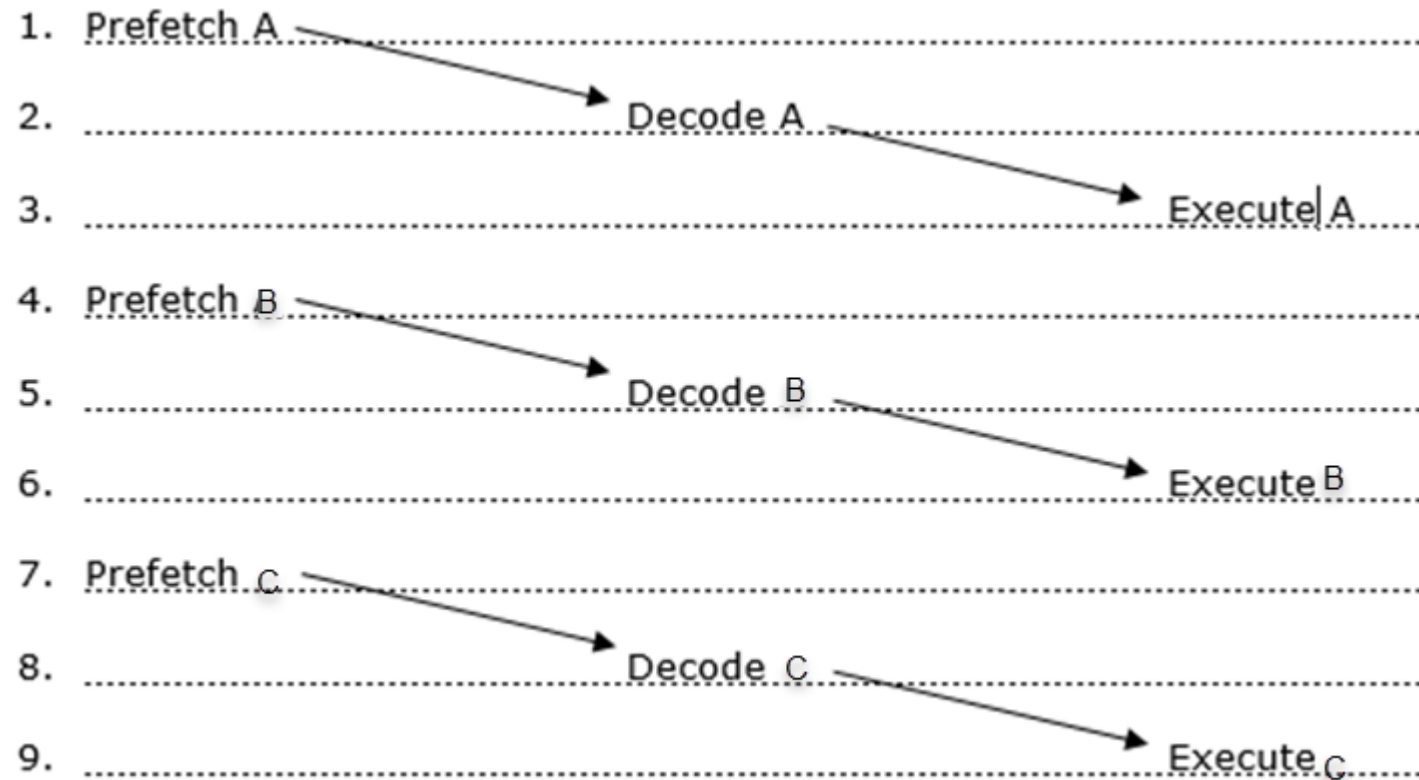


# Instructieafhandeling

- **Instructie-afhandeling** is in de loop der tijd **versneld** door:
  - Pipelining
  - Dynamic Branch Prediction
  - Out of Order Execution
  - Hyper Threading
  - Multicore Processoren

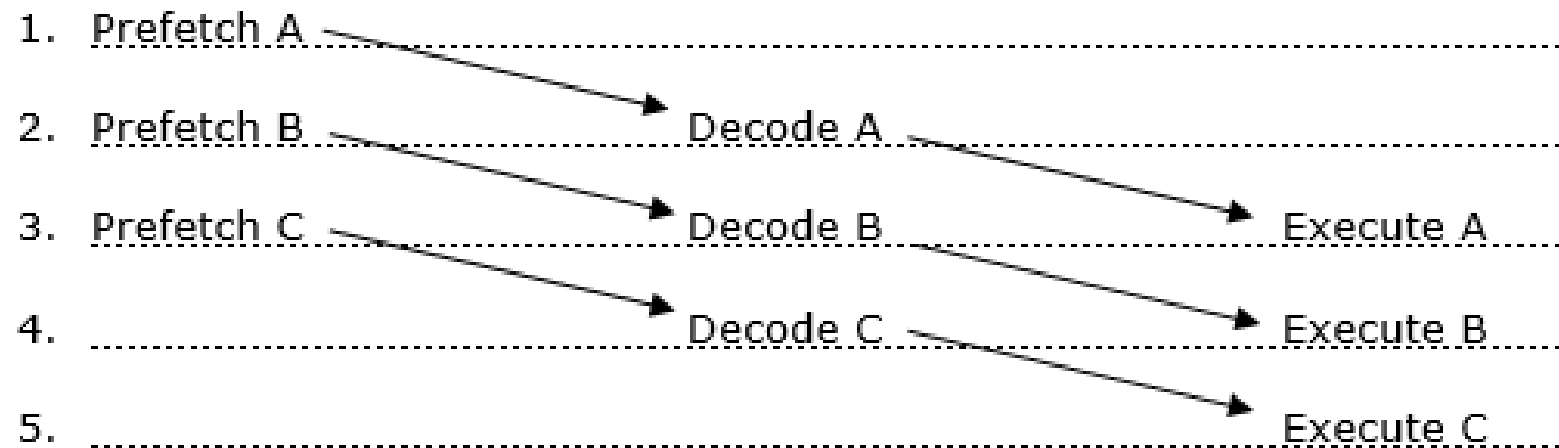
# Pipelining

- Volgens het originele von Neumann-principe verloopt de afhandeling van drie opeenvolgende instructies zo :



# Pipelining

- Vorige dia: **von Neumann flessenhals** (bottleneck).
- **Pipelining** zorgt ervoor dat een aantal instructiefases gelijktijdig worden afgewerkt:



# Pipelining

- Pipelining: **vanaf de Pentium I.**
- Werkt niet altijd
  - Stel dat voor prefetch van cyclus B het resultaat van Execute A noodzakelijk is.
    - Daardoor ontstaat weer vertraging.



# Dynamic Branch Prediction

- Bij een **selectie-instructie** moet de microprocessor bepalen welke instructie wordt uitgevoerd.

- Voorbeeld : *Als A == true*

*dan Voer instructie B uit*

*Zo niet Voer instructie C uit*

- Instructie **A** moet in principe eerst **volledig** worden **afgehandeld** voor instructie B of C wordt uitgevoerd.
- Dynamic Branch Prediction
  - **Processor “voorspelt”** welke van de twee instructies **B of C** zal moeten worden uitgevoerd
    - => die instructie in pipeline.
  - Indien verkeerd gegokt => Andere instructie wordt dan uitgevoerd.
- Voorspelling
  - De processor houdt **tabel** bij met de **laatste keuzes** in vergelijkbare instructies, en zal de **instructie kiezen** die het **vaakst** in de tabel **voorkomt**.
    - In de meeste gevallen is de voorspelling correct.

# Out of Order Execution (OOO-Execution)

- Stel volgende vier instructies:

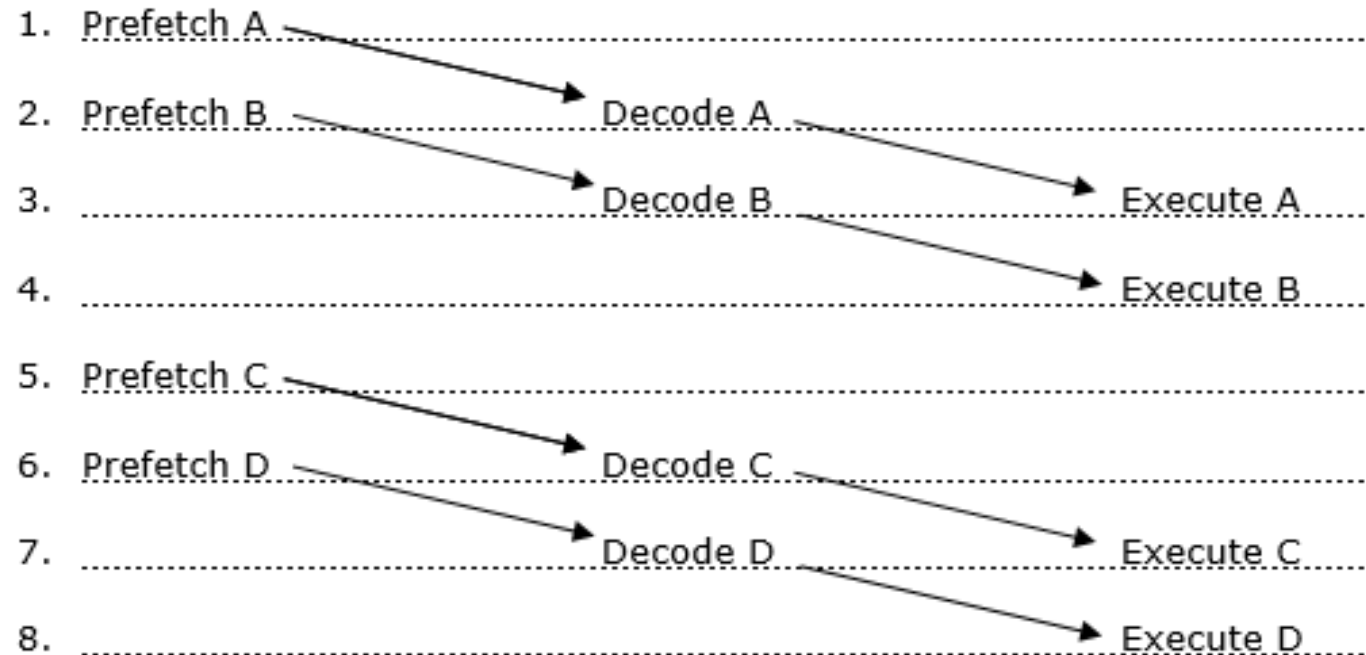
*Instructie A:*  $A \leftarrow 1$

*Instructie B:*  $B \leftarrow 2$

*Instructie C:*  $C \leftarrow A + B$

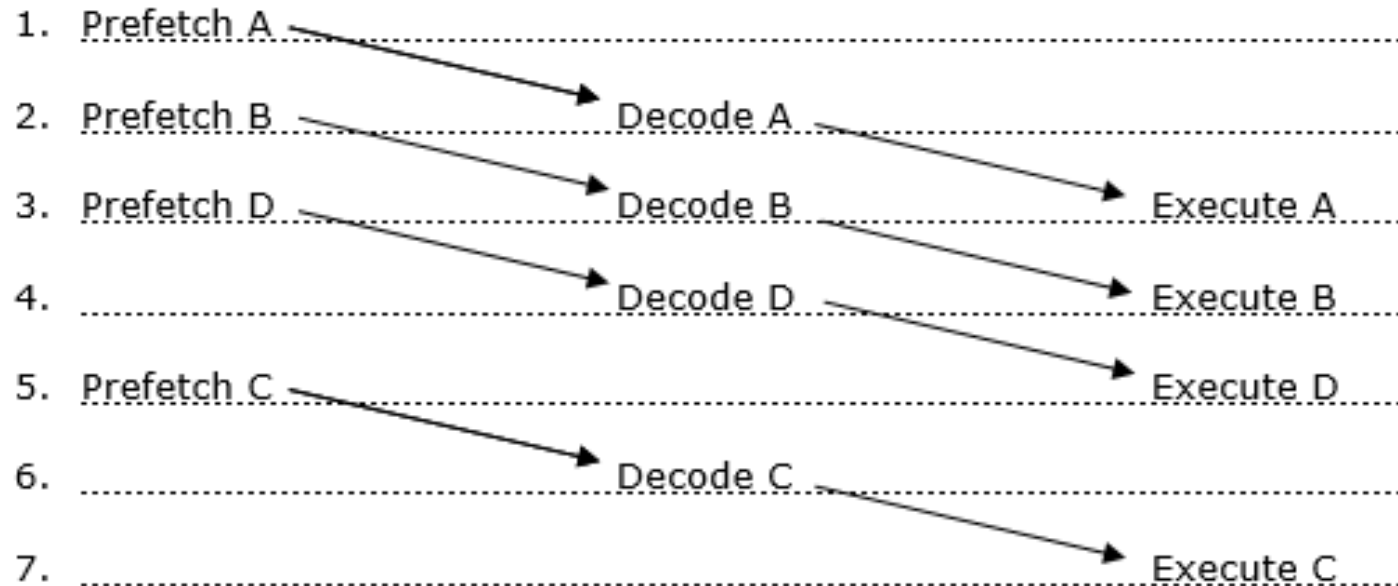
*Instructie D:*  $D \leftarrow 4$

# Out of Order Execution (OOO-Execution)



- **Instructie D is niet afhankelijk** van de uitvoering van de instructies A en B => **vroeger** in de pipeline plaatsen.

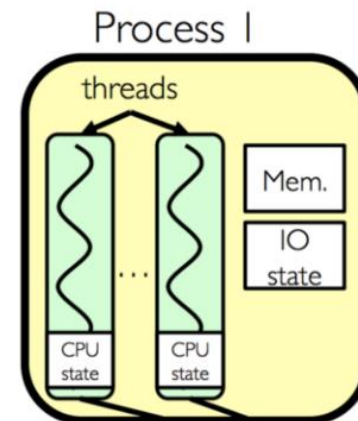
# Out of Order Execution (OOO-Execution)



- **1 kloktel winst.**
- Vanaf de **Pentium Pro** en de **AMD K6**.

# Hyper Threading

- Door **Intel** eerst op de markt gebracht (2001).
- Eén enkele processorkern bevat  **twee logische processors**  die de **cache en externe interfaces** delen.
  - In de meeste gevallen wordt het hierdoor mogelijk dat de processorkern twee threads tegelijk uitvoert.
- **Thread** is de kleinste reeks geprogrammeerde instructies die onafhankelijk kan worden beheerd.

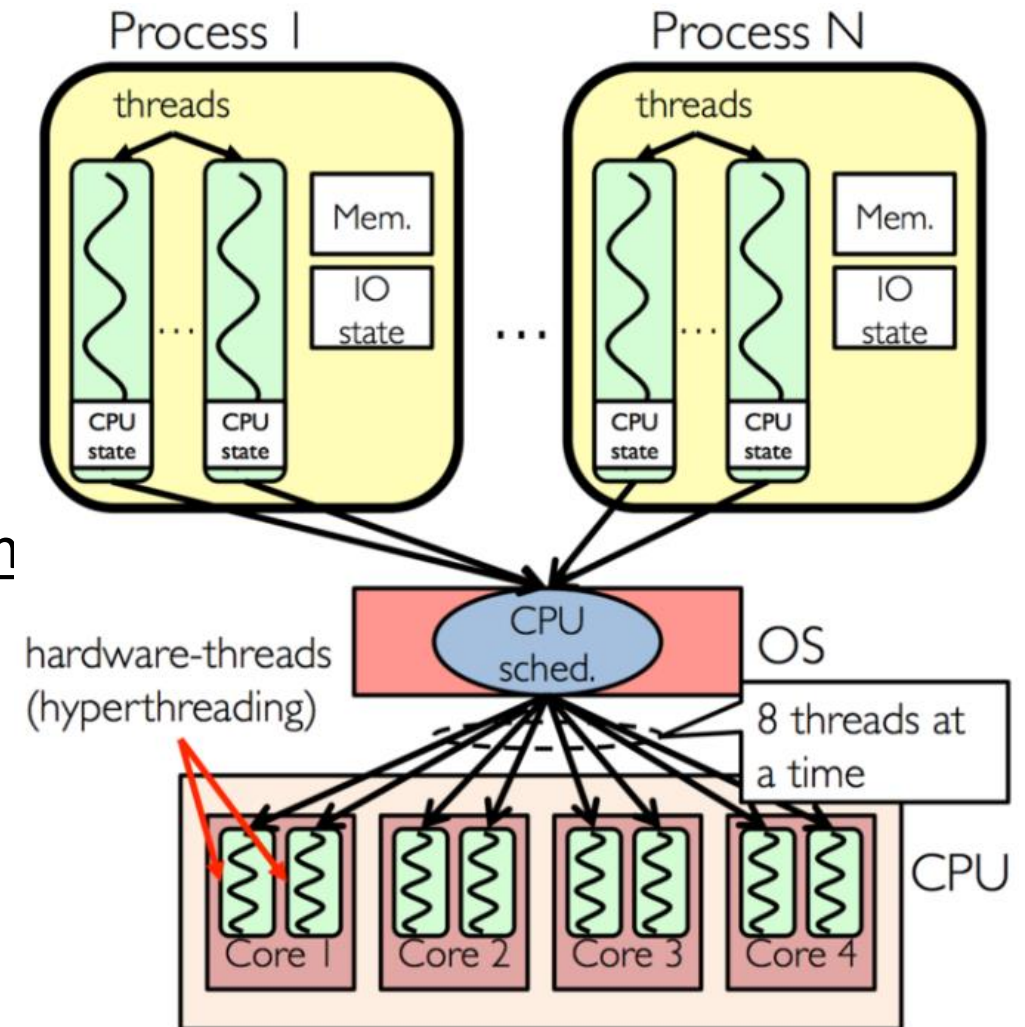


# Multicore-processoren

- Processoren met **twee afzonderlijke processorkernen** (2005)
  - **Dual core processoren.**
  - Werken volledig onafhankelijk
    - Eigen **level1- en level2-cachegeheugens** (zie verder).
    - Geen enkele verbinding tussen kernen.
- **Software** moet **aangepast** zijn aan de multicore-technologie om ervan te kunnen profiteren.
  - Oudere software => prestatieverlies
    - Kloksnelheden van multicore processoren lager liggen.

# Multicore processoren

- **Quad-core** (2007)
  - 4 kernen
- **Octa-core**
  - 8 kernen
- Multicore-technologie
  - In toekomst honderden of duizenden kernen





# Twaalfde generatie Intel processoren

- Vanaf 2022
- Twee verschillende soorten cores.
  - **Core i9 12900K**
    - Acht **snelle**
    - Acht **zuinige** cores
  - Goedkopere varianten gebruiken andere combinaties.

⇒ Betere multithreaded-prestaties binnen dezelfde tdp dan wanneer er meer snelle cores waren toegevoegd.

PS tdp = thermal design power

# Multicore processoren

Processor Number	Processor Cores (P+E) <sup>3</sup>	Processor Threads <sup>4</sup>	Intel® Smart Cache (L3)	Total L2 Cache
Socket LGA 1700 Performance				
i9-12900K	16 (8P + 8E)	24	30MB	14MB
i9-12900KF	16 (8P + 8E)	24	30MB	14MB
i7-12700K	12 (8P + 4E)	20	25MB	12MB
i7-12700KF	12 (8P + 4E)	20	25MB	12MB
i5-12600K	10 (6P + 4E)	16	20MB	9.5MB
i5-12600KF	10 (6P + 4E)	16	20MB	9.5MB

Laatste generatie (12th gen) Intel processoren

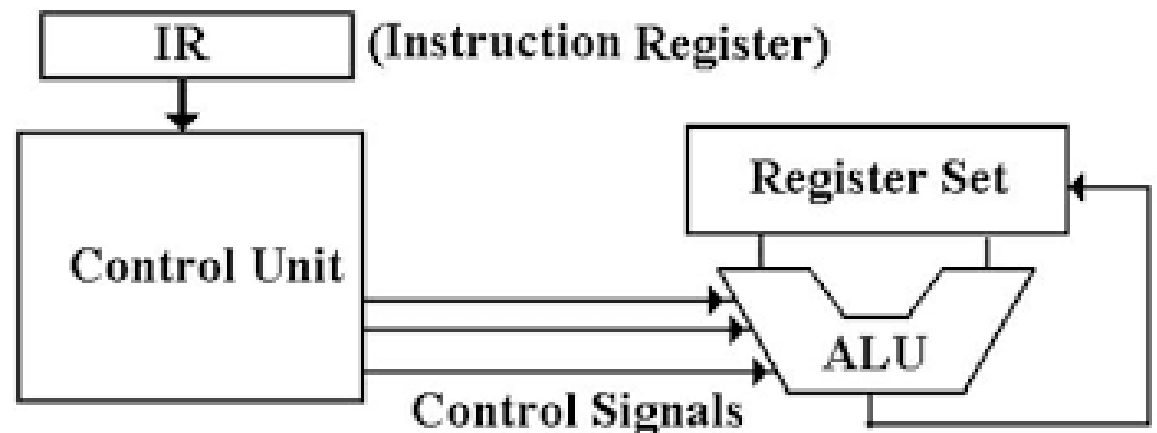
# De snelheid van een processor

Belangrijkste factoren:

- De **kloksnelheid**: 2,5 en 5 GHz.
- Het **aantal instructies** dat een processor (gemiddeld) **per cyclus** kan uitvoeren.
- **Cache**
  - de cache is een klein maar snel "tussengeheugen" tussen het Random Access Memory en de processor.
  - Hoe groter de cache, hoe sneller de processor.
- **Pipelining**, een fenomeen dat de processorsnelheid in bepaalde situaties verhoogt.
- Het **aantal kernen** dat een processor heeft.
  - Opgelet: programma's die hiervoor niet geoptimaliseerd zijn => niet noemenswaardig sneller
    - Twee verschillende programma's kunnen wel tegelijk op twee verschillende kernen gedraaid worden => snelheidswinst.
    - Tegenwoordig: 2, 4 of 8 kernen.
- Het gebruik van **hyperthreading**.

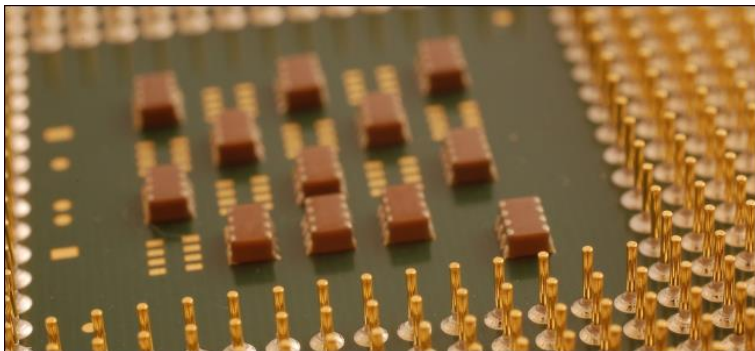
# Onderdelen processor

- **ALU** (Arithmetic and Logical Unit): de **rekenkundige en logische eenheid**
  - Rekenkundige bewerkingen: bijv. optellen
  - Logische functies: bijv. waarden vergelijken
- Een aantal **Registers** : tijdelijke opslagplaatsen voor gegevens en instructies
  - instructieregister, IR => instructie die aan de beurt is
  - instructie-pointer, IP => adres van de eerstvolgende instructie
  - Register Set=> geheugens in processor, bijv. getallen die worden opgeteld of de uitkomst
- **CU** (Control Unit): **besturingseenheid**
  - bestuurt de instructiecyclus en zorgt er voor dat de stappen goed doorlopen worden



# De registers

- Uitvoeren van instructies => processor heeft **plaats nodig** om de **invoer** en eventuele **tussenresultaten** op te slaan.
  - Bijvoorbeeld: optellen van twee waarden:
    - invoer, uitvoer en tussenresultaten worden **opgeslagen** in **registers**, totdat de **processor** het resultaat **wegzet** en met de volgende instructie kan beginnen.
      - RAM is trager
        - Verdere afstand van microprocessor
        - Lagere kloksnelheid
  - **Register** werkt aan zelfde snelheid als **microprocessor**



# Kloksnelheid

- Kloksnelheid bepaalt in grote mate snelheid uitvoering instructies.
- Klokgenerator
  - Vroeger op moederbord
  - Nu in processor
- Elke trilling betekent een impuls voor een volgende stap in de verwerking binnen de processor.

# Kloksnelheid

- De **klokfrequentie** wordt uitgedrukt in **GHz** (vroeger MHz) voor processoren.
  - 1 MHz = 1 miljoen impulsen per seconde
  - 1 GHz = **1 miljard** impulsen per seconde
- **Superhoge frequenties** in de processor => koeling van een processor.

# Kloksnelheid

- **2 verschillende kloksnelheden** in PC:
  - een hoge, interne klokfrequentie die de CPU bestuurt.
  - een lagere, externe klokfrequentie die de snelheid in de systeembus bepaalt.
- De klokgenerator op het moederbord wordt tegenwoordig enkel nog gebruikt voor de frequentie van de systeembus.
  - **Moderne processoren** hebben immers een **eigen klokprocessor** aan boord.



# Kloksnelheid

- **Overklokken** van processor houdt een aantal risico's in :
  - Oververhitting => andere koeling nodig;  
⇒ Waterkoeling
  - Levensduur componenten neemt af
- In sommige gevallen wil de computer niet eens meer opstarten, of breng je zelfs onherstelbare schade toe aan de hardware.



# RISC en CISC-processoren

- RISC  
Reduced instruction set computing
- CISC  
Complex instruction set computing

# RISC-processoren

- RISC-processor heeft **minder schakelingen** dan een CISC-processor en is daardoor eenvoudiger te maken en verder te miniaturiseren.
  - Kleinere instructieset (minder instructies)
  - Eenvoudiger gecodeerde instructies
  - **Geen microcode.**
- Wegens de **kleinere instructieset** moet de RISC-processor voor dezelfde opdracht meer instructies uitvoeren dan een CISC-processor.
  - Dit kan echter gecompenseerd worden door een hogere verwerkingssnelheid (dat is het idee achter RISC).
- RISC processoren zijn zuiniger => **GSM, Tablet** enz.

# RISC-processoren

- Voorbeeld van RISC-processors zijn
  - Een processor waarin het principe zeer zuiver toegepast wordt is de **ARM** van ARM Ltd.
    - Bijv.  
<https://www.qualcomm.com/products/application/smartphones/snapdragon-8-series-mobile-platforms/snapdragon-888-5g-mobile-platform>

# CISC-processoren

- Complex instruction set computer = "Complexe-instructiesetcomputer".
  - De term was geïntroduceerd als tegenhanger van de Reduced instruction set computer (RISC).
- Idee: **complexe** operaties in **één instructie** te stoppen
  - Kleinere programma's en minder geheugenbenaderingen => reductie van kosten
    - Maar het toevoegen van grote en complexe instructies in de processor => uitvoer van eenvoudige instructies langzamer.

# CISC-processoren

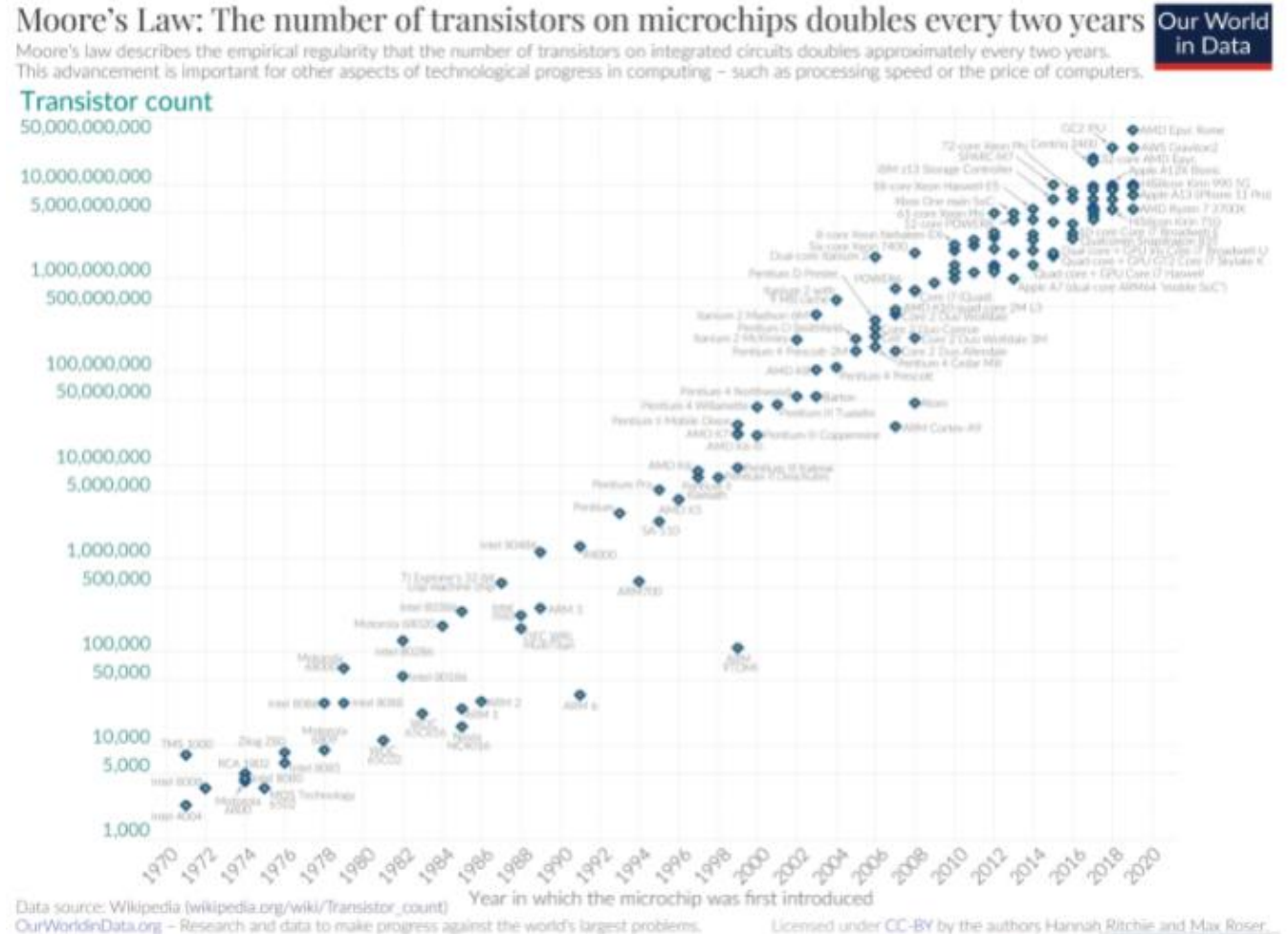
- Enkele voorbeelden van CISC-processoren zijn de:
  - VAX
  - PDP-11
  - Motorola 68000-familie
  - Intel x86-familie (waaronder ook de Pentiumprocessoren)
- De term CISC heeft in de loop van de tijd, net zoals het tegenovergestelde RISC, minder betekenis gekregen met de voortgaande evolutie met zowel CISC- en RISC-ontwerpen en uitvoeringen.
  - Een moderne CISC-processor ondersteunt elke instructie van zijn voorgangers en is tevens ontworpen om zo efficiënt mogelijk te werken met een RISC-achtige instructieset.
  - Daarnaast vertalen de meeste CISC-processoren (zoals de moderne x86-processoren van Intel en AMD) veel x86-instructies intern in een serie van kleinere micro-instructies en voeren die uit.

# RISC en CISC: Intel x86 processoren

- Intel: vanaf 486 bezig om RISC-concepten te introduceren in haar x86 processors.
  - Alleen complexe code in microcode

# De wet van Moore

- De Wet van Moore stelt dat het **aantal transistors** in een geïntegreerde schakeling door de technologische vooruitgang **elke 2 jaar verdubbelt** (1965).



Verloop van aantal transistors op microchips  
tussen 1970 en 2020



# De wet van Moore

- Tegenwoordig: stagnatie kloksnelheid => chipfabrikanten plaatsen **meerdere processoren** (ook wel **cores** genoemd) op **een chip**.
  - Meerdere cores worden in grote mate in computers gebruikt, en er zijn zelfs chips met 80 floating-pointcores.
  - Deze parallelisatie kan echter alleen goed benut worden als de software hierop is aangepast met technieken als multithreading.
  - Zo krijgt de wet van Moore een grotere houdbaarheidstermijn.

# De wet van Moore (uitbreiding)

- Einde in zicht?
  - <https://lekkercryptisch.nl/opinie/2021/08/14/De-wet-van-Moore-nadert-zijn-einde-en-dat-is-gunstig-voor-bitcoin>