



erasmus

HOGESCHOOL BRUSSEL

IT Essentials

Deel II: Hardwarecomponenten
2: het werkgeheugen

INHOUD

- Geheugenkarakteristieken
- Cache-geheugens
- Werkgeheugen en soorten geheugens
- Soorten DRAM geheugens
- Nieuwigheden en speciale RAMs
- Detectie en foutencontrole

GEHEUGENKARAKTERISTIEKEN

- Geheugencapaciteit:
 - Capaciteit = aantal bits dat men kan bewaren
- Eenheden van geheugencapaciteit:
 - Aantal bits
 - Aantal symbolen van 4 (nibble) of 6 bits
 - Aantal bytes
 - ...

GEHEUGENKARAKTERISTIEKEN

- Ook adresseerbaarheid speelt een rol
- Voorbeeld:
 - We gebruiken 12 bits voor adres, hoeveel bytes kunnen we hiermee adresseren?

12 bits $\rightarrow 2^{12} = 4096$ waarden \rightarrow adressen

4096 adressen

Minimum geadresseerde eenheid is meestal 1 byte

\rightarrow in bovenstaand geval zijn dan 4096 bytes
adresseerbaar

GEHEUGENKARAKTERISTIEKEN

- Informatiedichtheid
 - = Aantal bits per oppervlakte-eenheid
 - Bv.: aantal bits per mm^2
- Toegankelijkheid
 - Onmiddellijke toegang
 - Tijd nodig om een woord uit het geheugen te roepen is praktisch onafhankelijk van de plaats waar het woord zich bevindt
 - "RAM" = **Random** Access Memories
 - Sequentiële toegang:
 - Informatie zit op welbepaalde volgorde in het geheugen
 - Bv.: magneetband
 - Cyclische toegang:
 - Niet zo sequentieel, quasi-onmiddellijke toegang. Meestal geheugens met roterende onderdelen.
 - Bv.: magneetschijf (harde schijf)

GEHEUGENKARAKTERISTIEKEN

- Adresseerbaarheid van geheugens
 - Kleinste adresseerbare eenheid = geheugencel
 - Geheugencel meestal 1 byte groot
 - Adresseerbaarheid volgens toegankelijkheid:

Onmiddellijk	Sequentieel	Cyclisch
Individueel adresseerbaar (per byte)	Niet adresseerbaar (grote blokken met spaties tussen)	Blokadresseerbaar (blokken van bv. 64 of 512 bytes)

GEHEUGENKARAKTERISTIEKEN

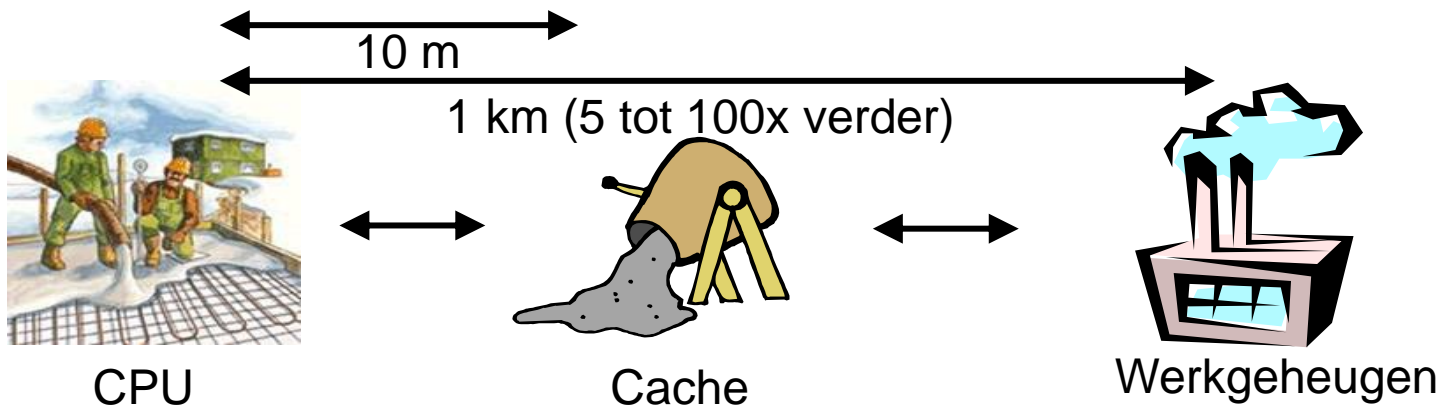
- Bestendige of vluchtige geheugens:
 - Bestendige geheugens: inhoud blijft behouden als de computer uitgeschakeld wordt, of wanneer elektrische stroom uitvalt
 - Niet-bestendige geheugens (vluchtige geheugens): inhoud verloren wanneer de stroom uitvalt

CACHE-GEHEUGENS

- Wat is cache geheugen?
 - CPU sneller en sneller
 - Werkgeheugen kan niet volgen met snelheid van nieuwe CPU's
 - Oplossing: cache geheugens
 - Gegevens en instructies opslaan die recent veel gebruikt zijn/zullen worden

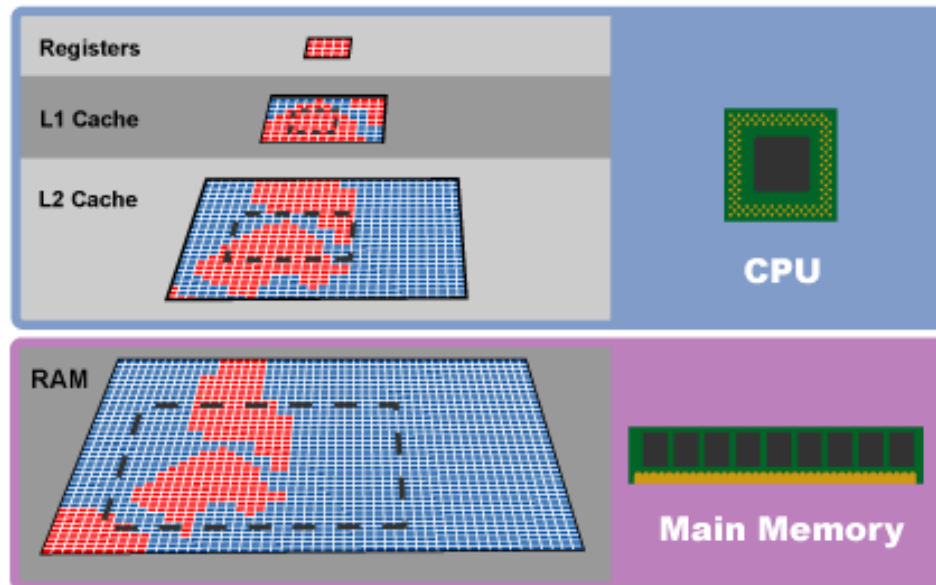
CACHE-GEHEUGENS

- Vergelijking:
 - CPU: plaats waar het werk gebeurt
 - Werkgeheugen: leverancier van materiaal voor het werk
 - Probleem: leverancier verder en verder verwijderd van werkplaats...
 - CPU meer en meer werkloos tijdens cycli
 - Oplossing voor verder verwijderde materiaal: plaatselijke opslagplaats
 - ~ cache geheugen



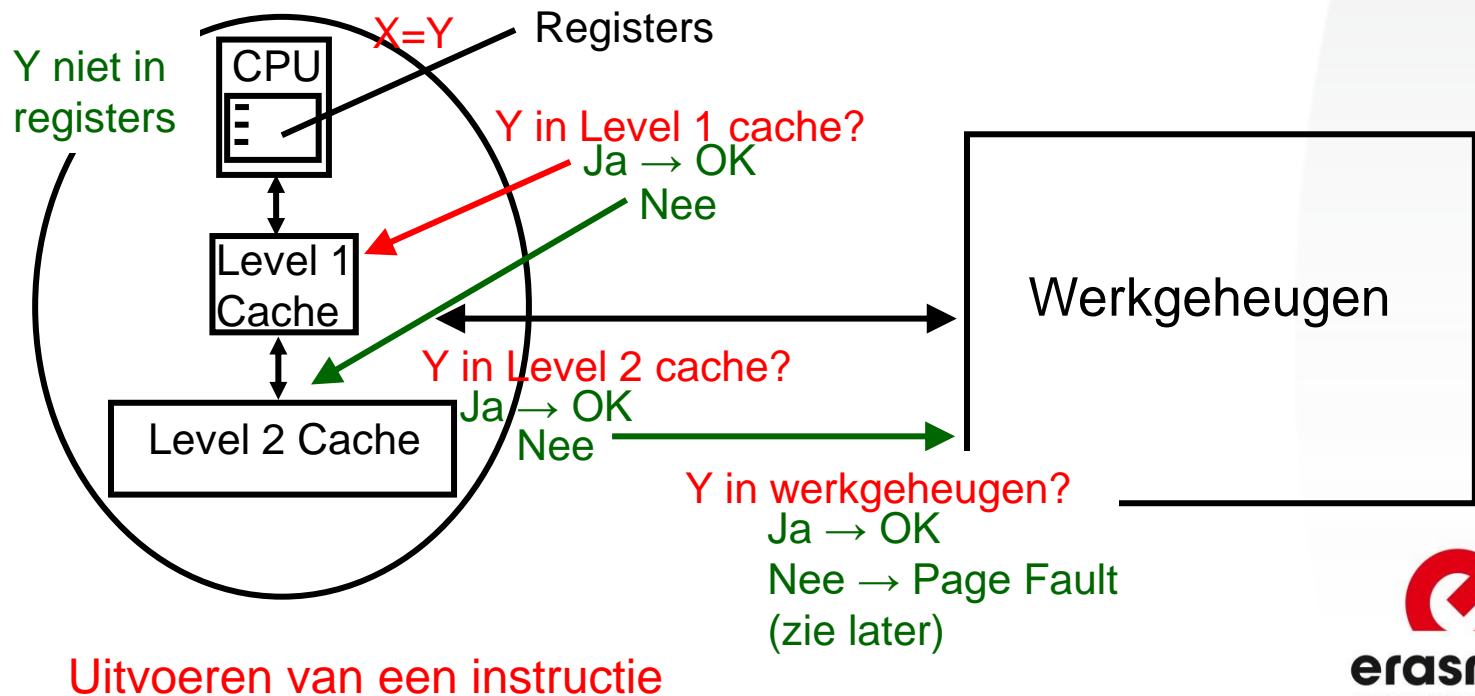
CACHE-GEHEUGENS

- Belangrijk principe voor caching: “Locality of reference”:
 - Als de processor recent een locatie in het geheugen heeft gebruikt, is de kans groot dat in de nabije toekomst de processor terug een nabije locatie zal nodig hebben



CACHE-GEHEUGENS

- Verschillende “levels” van caching:
 - Level 1 cache: zeer snel, klein, heel dicht tegen de CPU
 - Level 2 cache: iets minder snel en groter, minder dicht tegen de CPU



CACHE-GEHEUGENS

- Level 1 cache – primary cache
 - Op de processorcore zelf
 - Tijdelijke opslag van instructies en data
 - “zero wait-state” interface: zeer snel
 - Beperkt in grootte door directe toegang
 - SRAM (Static Random Access Memory)
 - Grootte: lange tijd 16 KB
 - Nieuwste processoren: tot 128 KB L1 cache
 - AMD Phenom X4 4-core Q9650: 128 KB level 1 cache
 - Intel Core 2 Duo: 2x 32 KB level 1 cache
 - Intel Core i7 (3rd gen): 32 KB level 1 data cache en 32 KB level 1 instruction cache per core

CACHE-GEHEUGENS

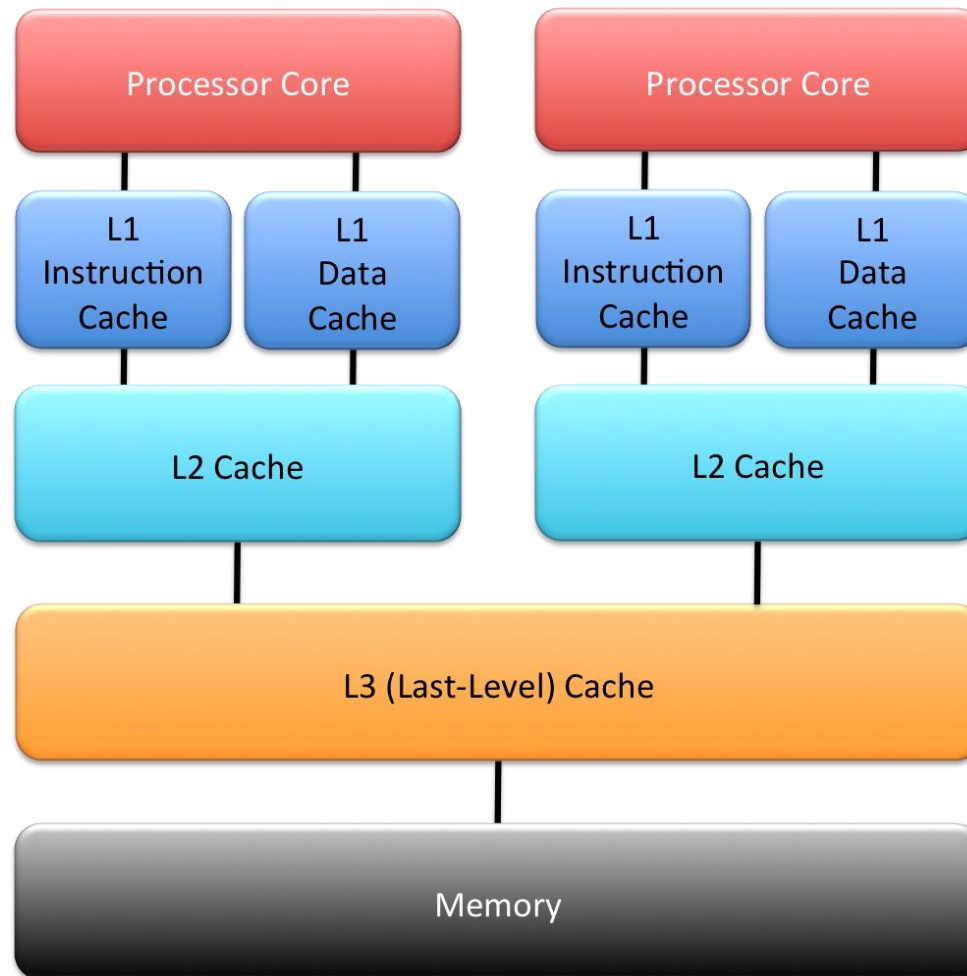
- Level 2 cache – secondary cache
 - Op de processorcore zelf
 - “Brug” tussen L1 cache en L3 cache, of L1 cache en geheugen
 - Groter en iets trager dan L1 cache
 - SRAM
 - Nu: grootte 1MB tot 12 MB (afhankelijk van aanwezigheid L3)
 - Intel Core i7-970: 12 MB
 - AMD Phenom X4 4-core Q9650: 512KB (x4)

CACHE-GEHEUGENS

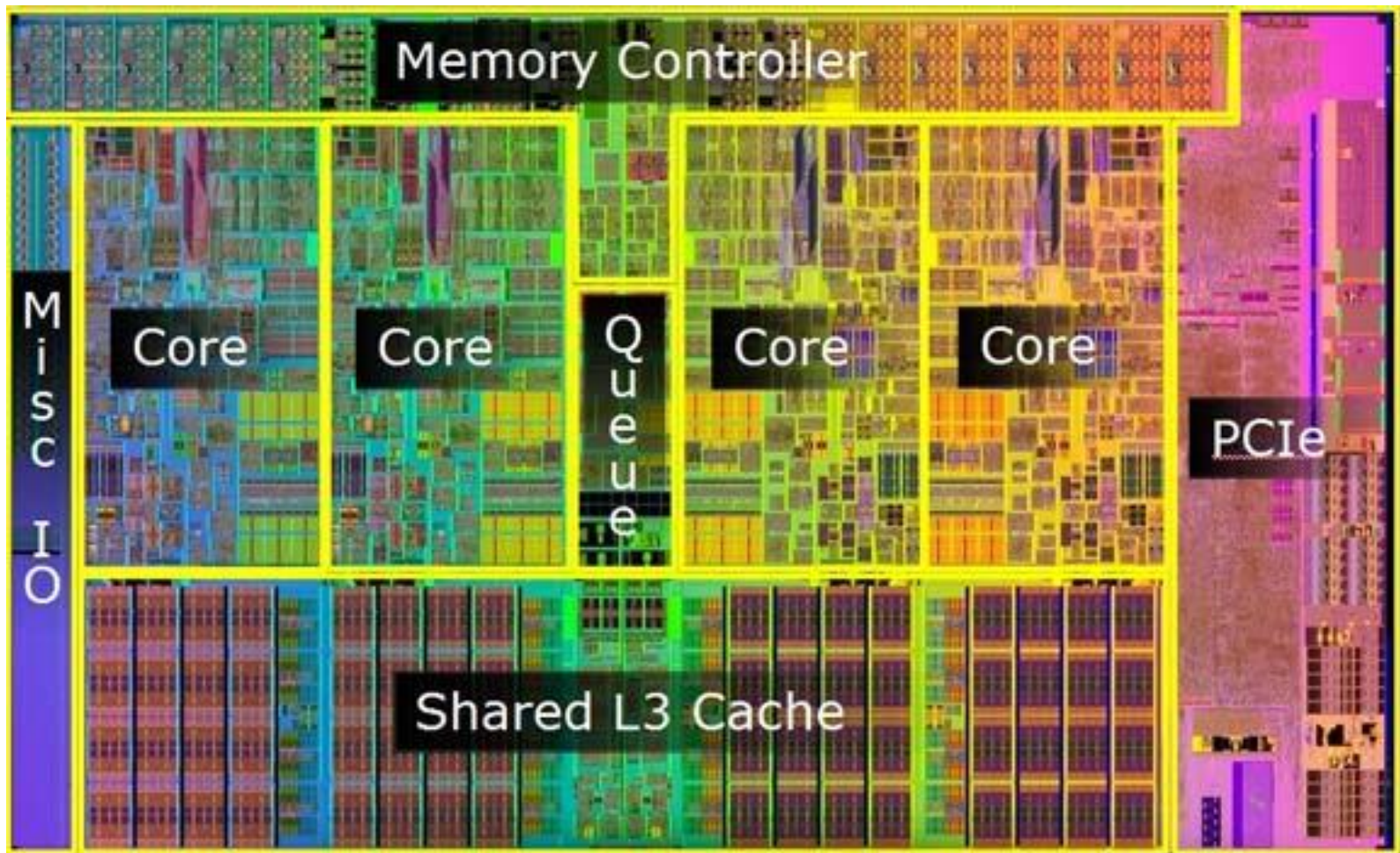
- Level 3 cache
 - Op de processor zelf, maar verder van de cores
 - Met L3 aanwezig, wordt L2 kleiner gehouden maar sneller
 - “Shared” tussen de cores
 - “Brug” tussen L2 cache en geheugen
 - Groter en trager dan L2 cache
 - SRAM
 - Bij specificaties van hedendaagse CPU's indien verwijzing naar “last level cache”: meestal L3
 - Speciale bus om hoge snelheden te halen
 - Nu: grootte meestal 2MB tot 45(!) MB
 - AMD Phenom X4 4-core Q9650: 2MB
 - Intel Core I7 4790 4-core: 8MB
 - Intel Xeon E5-2699 18-core: 45MB

CACHE-GEHEUGENS

- Verschillende cache levels



CACHE-GEHEUGENS



WERKGEHEUGENS EN SOORTEN GEHEUGENS

- Wat is werkgeheugen?
 - “Brug” tussen harde schijf en processor
 - Hoe meer werkgeheugen, hoe minder schijftoegang, dus sneller
 - Communicatie met processor via data- en adresbussen
 - Adresbus bepaalt hoeveel geheugen er mogelijk is door aantal bits te voorzien voor adressering
 - 36-bits (64 GiB) op 32-bits architectuur
 - 40-bits (1 TiB) of 44 bits (256 TiB) op 64-bits architectuur

WERKGEHEUGENS EN SOORTEN GEHEUGENS

- Wat is werkgeheugen?
 - Berekening 36 bits geeft 64 GiB RAM:
 - 36 bits
 - Dus 2^{36} individueel adresseerbare eenheden
 - Dus 2^{26} Ki individueel adresseerbare eenheden
(1Ki = 1024 = 2^{10})
 - Dus 2^{16} Mi individueel adresseerbare eenheden
 - Dus 2^6 Gi individueel adresseerbare eenheden
 - Elke individueel adresseerbare eenheid is 1 byte
 - Dus 2^6 GiB, en dit is 64 GiB
 - In de praktijk: gelimiteerd door chipset ,moederbord, OS

WERKGEHEUGENS EN SOORTEN GEHEUGENS

- Wat is werkgeheugen?
 - Databus bepaalt hoeveel data op 1 moment kan worden verplaatst: tegenwoordig 64-bits, dus 8 bytes in 1 keer
 - Elke transactie tussen processor en werkgeheugen noemt men een “bus cyclus”, aantal bits dat de CPU kan verwerken bepaalt het type geheugen

WERKGEHEUGENS EN SOORTEN GEHEUGENS

- Opmerking:

100 MHz = 100 miljoen clock cycles per seconde

400 MHz = 400 miljoen clock cycles per seconde

Nieuwste processoren:

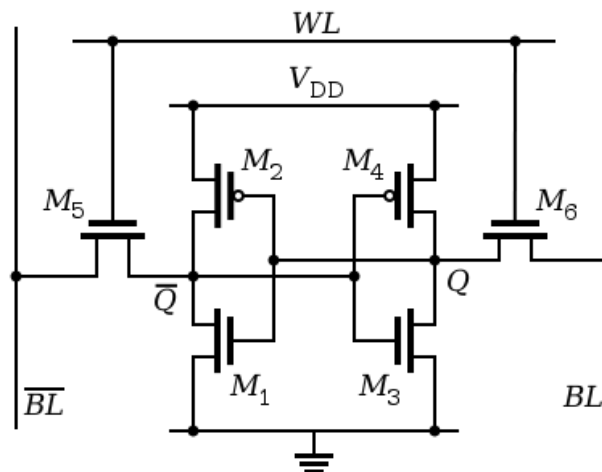
4,4 GHZ = 4,4 miljard clock cycles per seconde!

WERKGEHEUGENS EN SOORTEN GEHEUGENS

- Twee belangrijke soorten vluchtige geheugens:
 - 1. Statisch RAM geheugen
 - 2. Dynamisch RAM geheugen

WERKGEHEUGENS EN SOORTEN GEHEUGENS

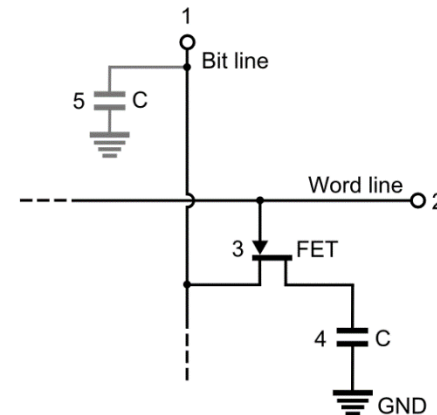
- Statisch RAM (SRAM)
 - SRAM behoudt de gegevens zolang er stroom wordt geleverd aan de geheugenchips
 - Gegevens moeten dus niet periodiek herschreven worden
 - SRAM is zeer snel maar ook zeer duur en groot in vergelijking met DRAM
 - Vooral voor cache-geheugens



WERKGEHEUGENS EN SOORTEN GEHEUGENS

- Dynamisch RAM (DRAM)

- Bestaat uit condensator die al dan niet geladen is
- De gegevens worden constant herschreven om behouden te blijven
- Gebruik van een refresh-circuit: gegevens 100-en keren per seconde herschreven
- DRAM ongeveer 6x trager dan SRAM
- DRAM voor het werkgeheugen, omdat DRAM goedkoper en kleiner is dan SRAM
- Word line selecteert woord
- Bit line selecteert bepaalde bit van het woord
- Condensator kan lading bevatten (voorstelling van 1-bit)



SOORTEN DRAM GEHEUGENS

- SDRAM (Synchronous DRAM)
 - “Synchroon”: werkt aan de snelheid van de bus
 - Snelheid niet ten volle benut indien bus maar aan 66Mhz werkt
 - PC66, PC100, PC133 (66MHz, 100MHz, 133MHz)
 - Sequentiële geheugentoegang zeer snel
 - Sequentiële toegang komt vaak voor in realiteit

SOORTEN DRAM GEHEUGENS

- DDR RAM (Double Data Rate RAM)
 - Soort SDRAM
 - Werkt dus aan snelheid van bus
 - Traditioneel: data geleverd wanneer klok omhoog gaat (klok $0 \rightarrow 1$)
 - DDR data leveren zowel als klok $0 \rightarrow 1$ en $1 \rightarrow 0$
 - Verdubbeling snelheid, zonder de kloksnelheid aan te passen!
 - Introductie in 1999, door gebruik nvidia geforce grafische kaarten
 - Intel niet direct overgeschakeld
 - AMD wel overgeschakeld, zorgt voor doorbraak (2000)
 - Intel pas begin 2002

SOORTEN DRAM GEHEUGENS

- DDR RAM: benoeming op basis van snelheid
 - Chips worden benoemd met prefix DDR
 - DDR266 werkt op 133 MHz bus, maar verdubbeling snelheid (0->1 en 1->0) dus 266 MT/s (266 miljoen transfers per seconde)
 - DDR333 werkt op 166 MHz bus
 - DDR466 werkt op 233 MHz bus
 - DDR500 werkt op 250 MHz bus
 - Modules worden benoemd met prefix PC
 - PC2700 gebruikt DDR333 chips (2700 MBps)
 - PC3700 gebruikt DDR466 chips (3700 MBps)
 - PC4000 gebruikt DDR500 chips (4000 MBps)

SOORTEN DRAM GEHEUGENS

- DDR RAM

- Hoe berekenen?

- $8 \text{ bytes (breedte van bus)} \times 1333 \text{ MHz} = 10.6 \text{ GBps}$
 - $8 \text{ bytes (breedte van bus)} \times 2666 \text{ MHz} = 21.3 \text{ GBps}$

- Dual channel (of triple channel...)

- NIET twee kanalen op DRAM chip!
 - Wel twee kanalen op moederbord die tegelijk kunnen aangesproken worden
 - Verbetering van 10%
 - Werkt alleen als:
 - DIMMs in paren geïnstalleerd (twee aparte DIMMs)
 - DIMMs zelfde capaciteit
 - DIMMs zelfde snelheid
 - DIMMs allebei single of allebei double sided

SOORTEN DRAM GEHEUGENS

- Meerdere generaties DDR sinds DDR1
 - lagere spanning (waardoor zuiniger)
 - hogere dichtheid
 - hogere kloksnelheid

DDR SDRAM standard	Release year	Bus clock (MHz)	Internal memory clock (MHz)	Prefetch (min burst)	Transfer rate (MT/s)	Voltage (V)
DDR1	2000	100–200	100–200	2n	200–400	2.5/2.6
DDR2	2003	200–533.33	100–266.67	4n	400–1066.67	1.8
DDR3	2007	400–1066.67	100–266.67	8n	800–2133.33	1.5/1.35
DDR4	2014	800–2133	200–400	8n	1600–4266	1.2/1.4
DDR5	2020	2400–3600		16n	4800 to 7200	1,1

<https://www.jedec.org/category/technology-focus-area/main-memory-ddr3-ddr4-sdram>

SOORTEN DRAM GEHEUGENS

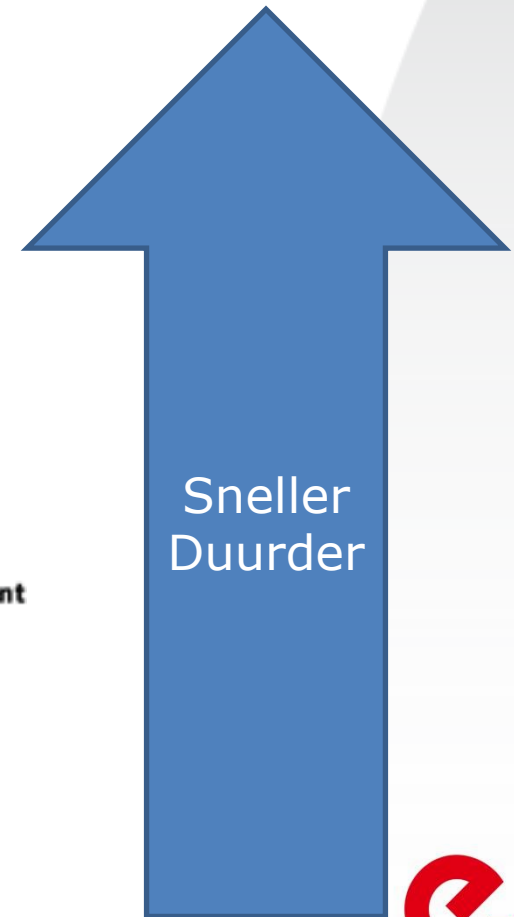
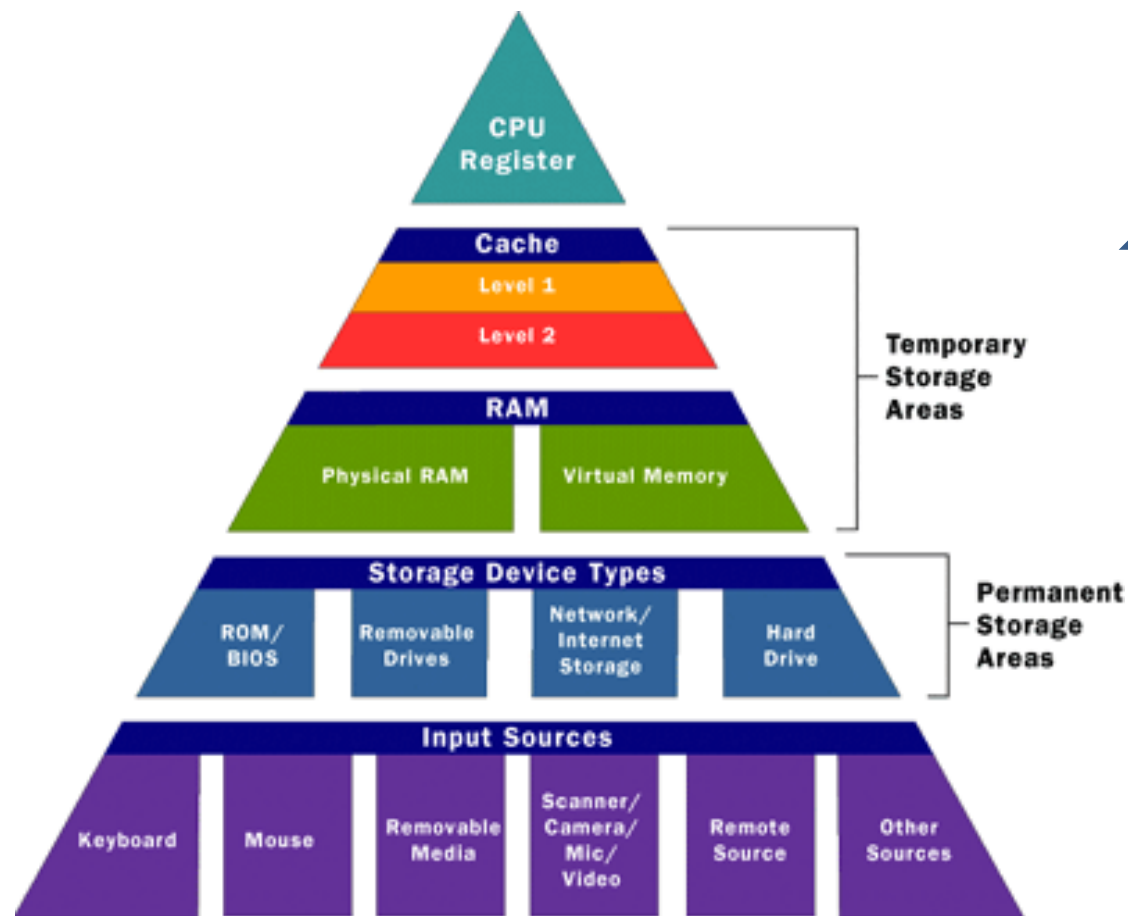
- Vergelijking SRAM-DRAM

SRAM	DRAM
Snel	Traag
Groot	Klein
Duur	Goedkoop
Minder energie	Meer energie

SOORTEN DRAM GEHEUGENS

- Enkele cijfers...
 - SRAM: elk jaar 40% sneller (CPU snelheid stijgt ± even snel, dus snelle caches nodig...)
 - DRAM: elk jaar 11% sneller, om de 3 jaar 4 keer zoveel opslagcapaciteit voor dezelfde prijs
 - SRAM 20x duurder dan DRAM
 - SRAM 6x sneller dan DRAM
- SRAM
 - Vooral voor cache
- DRAM
 - Vooral voor werkgeheugen

SOORTEN DRAM GEHEUGENS



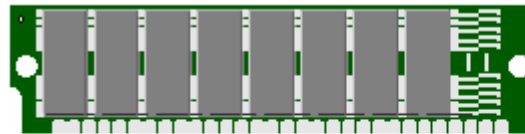
SOORTEN DRAM GEHEUGENS

Level	Toegangstijd	Typische grootte	Technologie
Registers	1-3 ns (10^{-9})	1 KB	CMOS
Level 1 cache	2-8 ns	8KB-128KB	SRAM
Level 2 cache	5-12 ns	512 KB – 8 MB	SRAM
Werkgeheugen	10-60 ns	1 GB – 4 GB	DRAM
Harde schijf	3 000 000- 10 000 000 ns	1 TB - 3 TB	Magnetisch

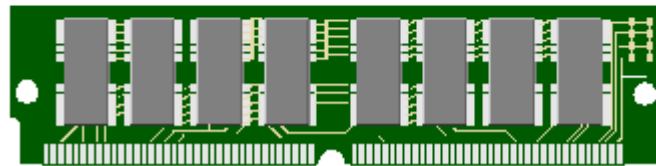
SOORTEN DRAM GEHEUGENS

- DRAM MODULES
- SIMM (Single In-line Memory Module)
 - Basis DRAM verpakking
 - Vooral voor oudere systemen
 - SIMMs op eerste 386, 486 en apple computers
 - Eerste SIMMs 30 pins
 - Later overgang naar 72 pins SIMM (486, 586 en Pentium) (kon max. 256 MB bevatten)

DRAM - 30-pin SIMM



FPM - 72-pin SIMM



<https://www.pcmag.com/encyclopedia/term/46780/memory-module>

SOORTEN DRAM GEHEUGENS

- RIMM
 - Voor Rambus RDRAM geheugen
 - 168 of 184 pins
 - 16 bits channel

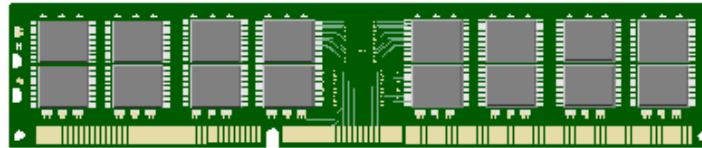
RDRAM (Rambus) - 184-pin - Chips covered with metal heat sink.



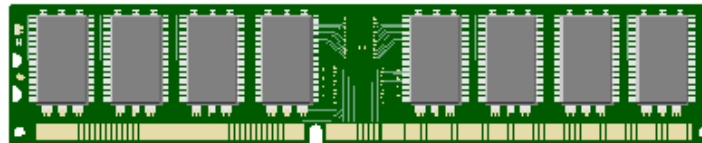
SOORTEN DRAM GEHEUGENS

- DIMM (Dual In-line Memory Module)
 - Gebruikt in desktopsystemen
 - 64 bits (8 bytes) busbreedte werd standaard
 - DDR4 284 pins
 - DDR3 240 pins
 - DDR2 240 pins
 - DDR 184 pins

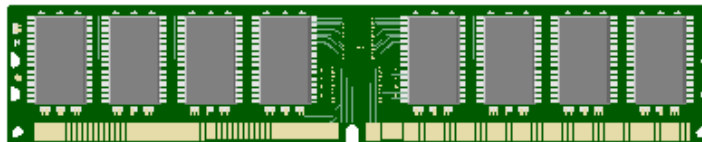
DDR4 - 284-pin DIMM



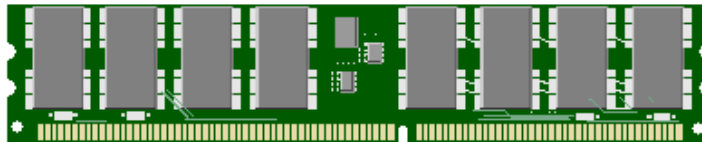
DDR3 - 240-pin DIMM



DDR2 - 240-pin DIMM



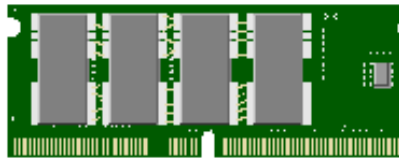
DDR - 184-pin DIMM



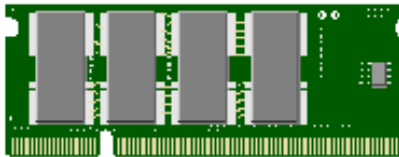
SOORTEN DRAM GEHEUGENS

- SODIMM (Small Outline Dual In-line Memory Module)
 - Gebruikt in kleine devices met weinig ruimte, zoals laptops, printers, routers en switches,...
 - DDR4 256 pins
 - DDR3 204 pins
 - DDR2 200 pins
 - DDR 200 pins

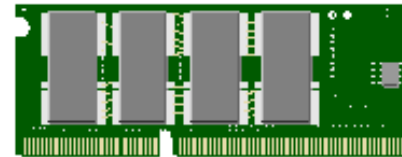
DDR4 - 256-pin SODIMM



DDR and DDR2 - 200-pin SODIMM



DDR3 - 204-pin SODIMM



NIEUWIGHEDEN EN SPECIALE RAMS

- Nieuwigheden:
 - Magnetic RAM
- Speciale RAMs:
 - SGRAM

NIEUWIGHEDEN EN SPECIALE RAMS

- SGRAM
 - Synchronous Graphics RAM
 - Ook voor grafische kaarten
 - Zoals SDRAM, synchronisatie met CPU bus clock
 - Masked writes (geselecteerde data ineens veranderen vs. Read-update-write) en block writes (data voor achtergrond of voorgrond afbeeldingen efficiënter af te handelen)
 - Single-ported (vs. Dual ported voor VRAM/WRAM)
 - Door speciale features vrij snel (masked writes,...)
 - Intussen geëvolueerd tot GDDR(2,3,4,5,6)

DETECTIE EN FOUTENCONTROLE

- Pariteitscontrole
 - 9de geheugenchip voor 8 geheugenchips die de pariteitsbit bevat
 - Indien fout in geheugen: shutdown...☹
 - Betrouwbare systemen hebben iets beter nodig dan shutdown...
 - ECC (Error Correcting Code)
- ECC (Error Correcting Code)
 - Meerdere bits om extra informatie op te slaan
 - 5 bits voor een byte
 - 6 bits voor 2 bytes
 - 7 bits voor 4 bytes
 - 8 bits voor 8 bytes
 - Fouten van 1 bit kunnen gecorrigeerd worden
 - Fouten van meerdere bits kunnen niet of eventueel via ingewikkeldere (meer bits) systemen wel verbeterd worden

DETECTIE EN FOUTENCONTROLE

- ECC
 - Dure oplossing... (veel bits nodig)
 - Vooral voor betrouwbare systemen (servers)
 - Speciale systemen (nucleaire centrale) eisen meer betrouwbaarheid: speciale algoritmen en duplicatie voor betrouwbaarheid