

BAS HARING

**KUNSTMATIGE
INTELLIGENTIE**

IS NIET

ENG

**MET ILLUSTRATIES VAN
MAUS BULLHORST**



AMSTERDAM • ANTWERPEN
EM. QUERIDO'S UITGEVERIJ
2022

Inhoud

- | | |
|--|----|
| 1. Computer-slimheid | 5 |
| 2. Wat is een computer en hoe werkt zo'n ding?
Over hardware, computerchips en nullen en enen | 9 |
| 3. Computergeheugen
En wil je extra geheugen in je hoofd? | 23 |
| 4. Computerprogramma's of 'zacht spul'
Over software
En weet een computer wel wat-ie doet? | 31 |
| 5. Wat is een algoritme? | 45 |
| 6. Kan een computer slim zijn?
Over schaken en andere spelletjes | 63 |
| 7. Lerende computers
Over programma's die leren van hun fouten
En hoe je telefoon weet wat je wilt gaan typen | 73 |
| 8. Flatgebouwen vol gegevens
Over data
En begrijpt een computer de gegevens op zijn harde schijf? | 87 |

- 9. Wat moet je van die lerende computers vinden?** 95
Over computers die van alles van je weten
En discriminerende software
- 10. Kijkende computers** 107
Over het grootste verschil tussen hersenen en computers
En waar is nou het bijzondere ingrediënt van kunstmatige intelligentie?
- 11. Kunnen computers creatief zijn? en andere vragen** 119
Mag je een computer of robot voor altijd uitzetten?
Kan een robot boosaardig zijn?
Als een robot-auto iemand aanrijdt, heeft-ie dan schuld?
- 12. Twee dingen die computers echt veel beter kunnen** 137
Over kansen en recursie
- 13. Kun je verliefd worden op een robot?
en nog meer vragen** 151
Zou er een robot of computer kunnen bestaan die alles kan wat een mens kan?
Gaat kunstmatige intelligentie ons werkloos maken?
- 14. Een robot voor de klas** 165
Zijn wij bijzonderder dan robots en computers?



1. Computer-slimheid

Het zou kunnen dat je dit boek – het boek dat je nu in je handen hebt – hebt gekocht of hebt gekregen omdat het je werd aangeraden. Misschien zei een vriend of familielid dat het een leuk boek was. Maar het zou ook kunnen dat je die tip van een computer hebt gekregen. *Misschien is dit boek iets voor jou*, stond dan ergens op een website. Als het zo gegaan is, dan was dat het werk van kunstmatige intelligentie – het onderwerp van dit boek.

Wat kunstmatige intelligentie precies is, is eigenlijk niet zo duidelijk. Het is niet eens duidelijk wat gewone intelligentie is. Ik hou het op slimheid: goed kunnen denken. Intelligente mensen kunnen goed denken. Kunstmatige intelligentie is dan ongeveer hetzelfde als ‘computer-slimheid’.

Er wordt veel gezegd en geschreven over kunstmatige intelligentie. Vroeger – dertig, veertig jaar geleden – waren computers een soort typemachines. Apparaten om berichten op te schrijven. Of om de administratie mee te doen.

Niemand zou die dingen slim of intelligent noemen. Maar dat is nu heel anders. Het spamfilter van mijn computer gooit automatisch mailtjes weg waarvan hij 'denkt' dat ik ze niet interessant vind. Reuzehandig, en ik vind het slim. (Ik zet 'denkt' tussen aanhalingstekens omdat het nog maar de vraag is of computers kunnen denken. En ik noem een computer 'hij' in plaats van 'zij', omdat dat zo hoort volgens het woordenboek. Maar een computer is natuurlijk geen man en ook geen vrouw.)

Moderne auto's hebben niet alleen een navigatiesysteem - wat ik op zich al best een slim ding vind - maar ook camera's om verkeersborden te herkennen. Als je een doodlopende straat in dreigt te rijden, dan waarschuwt de auto je. En als je op een telefoon een berichtje typt - een telefoon is ook een computer, maar dan klein - dan komt de telefoon zelf met suggesties voor het volgende woord. Vaak klopt het ook nog. Alsof dat ding weet wat je wilt gaan typen.

Dit zijn allemaal voorbeelden van kunstmatige intelligentie. Een paar jaar geleden kon dit allemaal nog niet en nu kan het wel. Handig, boeiend en leuk. Maar ook een beetje spannend misschien. Wat staat ons allemaal te wachten?

Het werk dat mensen vroeger met hun handen deden is allang voor een groot deel overgenomen door machines: graafmachines graven voor ons en de bakker heeft een

kneedmachine in plaats van dat-ie met z'n handen kneedt. Maar kunstmatige intelligentie gaat steeds meer denkwerk van ons overnemen: lesroosters maken, huizen ontwerpen, de administratie doen. Kunstmatige intelligentie kan steeds meer. Misschien kan kunstmatige intelligentie over een paar jaar zelfs boeken schrijven – nu kan dat nog niet. Dan moet ik op zoek naar ander werk! Het idee dat kunstmatige intelligentie voor werkloosheid gaat zorgen zou zomaar werkelijkheid kunnen worden. En dat is helemaal niet zo leuk.

7

Of erger nog: in tekenfilms en tv-series lopen robots rond die niet alleen sneller en sterker zijn dan wij, maar ook nog eens bovenmenselijk slim. Die slimheid danken die robots overigens aan computers: een robot is een machine met een computer in zijn hoofd. Als onverslaanbare monsters overheersen de robots in die films en series de mensheid. Dat is geen fijn vooruitzicht.

Wat moeten we van die kunstmatige intelligentie vinden? Hoe zou het voelen wanneer er in de toekomst apparaten bestaan die in alles slimmer zijn dan wij? Dan worden wij eigenlijk dommeriken. Terwijl we nu de slimsten zijn: er is niemand slimmer dan de mens. En als zulke machines bestaan, zijn ze dan echt slim of nep-slim? Over zulke vragen gaat dit boek. En over nog veel meer vragen:

- Als een robot-auto iemand aanrijdt, heeft-ie dan schuld?
- Kan een computer iets van de wereld begrijpen?

- Kun je verliefd worden op een robot? En andersom?
- Zou je extra computergeheugen in je hoofd willen?

8

Maar eerst over de computer zelf. Wat is dat voor een apparaat? Kunstmatige intelligentie lijkt haast een beetje magisch: hoe kan een elektrisch apparaat nou intelligente dingen doen? Maar een computer is eigenlijk een ding dat best te begrijpen is, en als je een beetje weet wat voor machine het is, dan wordt-ie minder mysterieus. En dan wordt kunstmatige intelligentie ook wat minder eng.

Daarom begin ik bij de computer, en er komen woorden voorbij als hardware, software en algoritmes (waarvan je nu nog niet hoeft te weten wat ze betekenen). Dit lijkt misschien een beetje taaie kost, maar dat valt eigenlijk reuze mee. En bovendien komen daarna de spannende vragen.

2. Wat is een computer en hoe werkt zo'n ding?

- **Over hardware, computerchips en nullen en enen**

Een computer is een bijzonder apparaat. Je kunt er spelletjes op spelen; je kunt erop typen; je kunt ermee het internet op. Maar hoe werkt dat in vredesnaam? Hoe kan een computer dat allemaal?

Van de meeste apparaten in huis weet ik niet precies hoe ze werken, maar wel ongeveer. Zo weet ik ongeveer hoe een wasmachine werkt. Zo'n ding bestaat uit een grote bak die gevuld kan worden met water. Onder in die bak zit een spiraal die heet wordt als er stroom doorheen loopt en die zo het water opwarmt. Verder draait er in de bak een grote ronde trommel met gaatjes erin waardoor water naar binnen kan lopen en waar je de was in kan doen. Dat is natuurlijk niet alles: er is ook nog een zeep toevoer, er is een pomp



om het water weg te pompen en een grote ronde knop om 'wasprogramma's' mee te kiezen. Hoe dat allemaal precies werkt weet ik niet, maar de belangrijkste delen van een wasmachine begrijp ik wel. Het is geen magisch apparaat voor me.

Maar een computer is wel een beetje raadselachtig. Hoe zo'n ding werkt is voor de meeste mensen niet direct heel duidelijk. Om meer te kunnen begrijpen van kunstmatige intelligentie is het handig om eerst iets te weten over computers zelf. Wat zijn dat voor apparaten? Je hoeft heus niet helemaal te begrijpen hoe een computer werkt, maar wel een beetje. Zoals je vermoedelijk ook een wasmachine een beetje begrijpt.

Eigenlijk is een computer een soort rekenmachine. Een apparaat dat getallen kan optellen, aftrekken, vermenigvuldigen en andere berekeningen uit kan voeren. Stel je voor dat je een computergame speelt. Op een spelcomputer of een gewone computer, dat maakt niet uit. Je drukt op een knop - op een toets van het toetsenbord of een speciaal knopje van een *game controller* - en vervolgens gaat er een signaalje van die knop naar de computer. De computer voert dan een aantal berekeningen uit, en het gevolg is dat een poppetje op het scherm naar links of rechts beweegt of wat dan ook. Dat rekenen, daar gaat het om. Als je begrijpt hoe een computer twee getallen bij elkaar kan optellen, dan ben je al

een flink eind op weg om te weten hoe een computer werkt. De eerdergenoemde wasmachines en computers hebben trouwens een interessante overeenkomst. Beide apparaten hebben een zogenaamde 'invoer' en 'uitvoer'. Invoer is wat er in het apparaat gaat en de uitvoer komt eruit. De invoer van een wasmachine is vuile was, zeep en schoon water. En de uitvoer van een wasmachine is schone was en vuil water met zeep.

De invoer en uitvoer van een computer zijn wat gevarieerder. De invoer kan bijvoorbeeld zijn wat iemand intypt op een toetsenbord. Of het kunnen camera-beelden zijn – als de computer een camera heeft. Of een aanraking van het scherm, bij bijvoorbeeld een tablet-computer of mobiele telefoon. De uitvoer van een computer kan ook van alles zijn: iets wat op het beeldscherm te zien is, een geluid dat de computer maakt, een printje dat uit de printer komt of het maken van een beweging – als de computer in een robot zit. Kunstmatige intelligentie gaat eigenlijk niet over die invoer en uitvoer. Kunstmatige intelligentie gaat niet over toetsenborden, beeldschermen en printers, maar over wat er tussen de invoer en uitvoer allemaal gebeurt. Bij een wasmachine is dat water verwarmen, zeep toevoegen en rondjes draaien. En bij een computer is dat berekeningen uitvoeren.

We gaan proberen om een apparaat te bouwen dat een berekening kan uitvoeren. Een simpele berekening: het op-

tellen van twee getallen. Als we een ding kunnen bouwen dat dat kan, dan komen we al in de buurt van een computer.

Een eenvoudig apparaatje

Een computer bestaat uit zogenaamde ‘elektronische schakelingen’. Zo’n schakeling is te vergelijken met een lampje; niet een gewoon lampje, maar een speciaal lampje zoals in veel buitenverlichting zit. Als het buiten donker wordt, dan gaat het lampje aan. En als het licht wordt, dan gaat het weer uit. Hoe zo’n lampje precies werkt is voor ons niet zo belangrijk. Als je begrijpt hoe je een computer kunt maken van zulke lampjes, dan begrijp je ruim voldoende.

Stel je nu voor dat je twee van zulke lampjes achter elkaar zet. Als je de eerste aandoet – gewoon met een knopje – dan gaat de tweede juist uit, vanwege het licht dat de eerste geeft. Dat klinkt niet al te ingewikkeld, toch? En ik kan me voorstellen dat iemand met wat knutselervaring zoiets best kan bouwen. Maar het kan ook andersom: als je de eerste aandoet, dan gaat de tweede ook aan. Dat is niet hoe buitenlampen werken: die gaan aan wanneer het donker wordt. Maar je kunt ook heus een lampje maken dat juist aangaat wanneer het licht wordt en dat uitgaat in het donker.

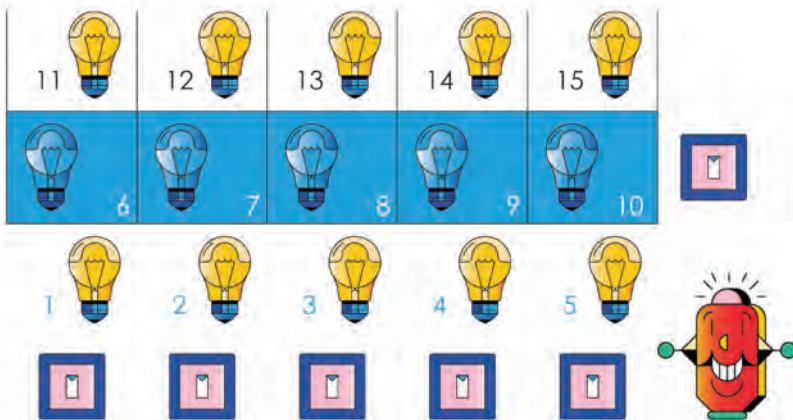
Je kunt nog ingewikkelder combinaties maken van zulke lampjes. Stel je voor dat je twee lampjes hebt die je allebei met een knopje kunt aan- en uitzetten, en je plaatst daar

een derde lampje bij dat alleen aangaat wanneer beide andere twee lampjes ook aanstaan. Je hoeft je alleen maar voor te stellen hoe zoiets gemaakt kan worden; je hoeft het niet echt te maken. (Ik vraag je in dit hele hoofdstuk niet om een computer te bouwen - dat kan ik zelf ook niet. Ik vraag je om je voor te stellen hoe dat ongeveer zou kunnen.)

Vreemd genoeg is een computer niets meer dan een combinatie van dit soort lampjes. Lampjes die uitgaan wanneer andere lampjes juist aangaan, en lampjes die alleen aangaan wanneer meerdere andere lampjes ook aangaan.

Laten we eerst iets heel simpels maken - nog niet een apparaat dat getallen kan optellen. Zet vijf lampjes op een rijtje. Gewone lampjes met een aan-uitknop. Een tekeningetje is eigenlijk wel zo handig, en in de tekening zijn dit lampjes één tot en met vijf. Deze lampjes kun je zien als invoer - dezelfde invoer als waar ik het daarnet over had. Ik kies er overigens zomaar vijf; het hadden er ook meer of minder kunnen zijn.

De uitvoer van ons apparaat bestaat uit nog eens vijf lampjes. (Lampjes elf tot en met vijftien in de tekening op de volgende bladzijde.) Deze lampjes hebben geen aan-uitknop, maar gaan aan als andere lampjes aan gaan. Hoe precies, dat zien we zo wel. En dan is er nog een knop, en die functioneert als startknop.



Aan de startknop zitten nóg vijf lampjes. (Lampjes zes tot en met tien in de tekening.) Deze lampjes hoeft je verder niet te zien, dus die kunnen best verborgen zijn in een kartonnen doosje of zo. Als je de startknop indrukt gaan ze alle vijf aan.

Je begint door een aantal invoerlampjes aan te zetten. Welke je maar wilt: lampje één en vijf aan; alle lampjes uit; alleen lampje twee aan. Daarna druk je op de startknop. En dan gebeurt er het volgende. Het eerste lampje van de uitvoer (dat is lampje elf) is zodanig met lampje één en lampje zes verbonden dat het aangaat als één en zes ook aanstaan, en anders niet. Lampje twaalf is op dezelfde manier verbonden met lampjes twee en zeven, enzovoort.

Door op de startknop te drukken heb je lampjes zes tot en met tien aangezet. Lampje elf gaat daarna dus ook aan

wanneer lampje één ook aanstaat; lampje twaalf gaat aan als lampje twee aanstaat; en zo door tot en met lampje vijftien. Kortom, er gebeurt het volgende: de uitvoerlampjes staan in eerste instantie uit. Je klikt wat van de invoerlampjes aan. Daarna druk je op de startknop, en als gevolg daarvan gaan precies dezelfde uitvoerlampjes branden. Erg spannend is het niet, en het komt nog niet in de buurt van wat een computer is, maar we zijn een stukje op weg. En eerlijk gezegd vind ik het al best wel tof. Je klikt wat lampjes aan; je drukt op een knop; en dezelfde lampjes gaan nog een keer aan. Je zou dus kunnen zeggen dat dit eenvoudige apparaatje ‘de invoer kopieert naar de uitvoer’. Dat is tenslotte wat het doet. Lampjes die eerst aanstaan op de ene plek, gaan daarna nog een keertje branden op een andere plek. Je zou dit ‘kopiëren’ kunnen noemen. Dat is eigenlijk best bijzonder. Je maakt een apparaat van eenvoudige lampjes die aan- en uitgaan, en bij elkaar kan het iets dat best wel ingewikkeld is.

Nullen en enen

Voordat we kunnen gaan optellen en aftrekken is het eerst nodig om uit te leggen wat lampjes te maken hebben met getallen. Hoe kunnen lampjes nou een getal voorstellen? 437 is een getal (om maar een tamelijk willekeurig voorbeeld te noemen). Maar wat betekent 437 eigenlijk? Waarom betekenen de drie cijfers 4, 3 en 7 achter elkaar vierhonderd-zevenendertig?

Eerst even een zijstap: over woorden in plaats van getallen. Waarom betekent het woord *vis* *vis*? *Vis* was een van de eerste woorden die ik leerde schrijven. Ik ben ondertussen helemaal gewend geraakt aan geschreven woorden, maar eigenlijk is het best bijzonder dat drie tekentjes achter elkaar iets betekenen.

17

Als eerste letter staat er een 'v', en dat betekent dat je met je lippen een zoemend geluid moet maken. Je spreekt dan een 'v' uit. Dan volgt 'i' - daar hoort een hoog, bijna piepend geluid bij. En ten slotte een 's' - zet je tanden bijna op elkaar en blaas er lucht doorheen. Je hoort dan gesis. Als je dit snel achter elkaar doet zeg je 'vis'. De drie tekentjes van het woord *vis* zijn eigenlijk een soort van code of geheimtaal die je vertellen dat je 'vis' moet uitspreken - alleen is de code niet geheim.

Waarom maakte ik nou deze zijstap over 'vis' in plaats van 437? Om je te laten wennen aan het idee dat een woord een code is, een soort van geheimtaal. Het getal 437 is ook een code. Alleen een heel ander soort code dan het woord *vis*. Het tekentje 4 betekent gewoon vier, en dat is een afspraak. Hetzelfde geldt voor alle andere cijfers van nul tot en met negen: 1, 2 enzovoort. Maar het getal tien heeft geen eigen tekentje. Dat is een combinatie van twee tekentjes: een 1 en een 0. Dat getal tien is heel belangrijk om te begrijpen waarom 437 437 is. 437 betekent 4 keer honderd, plus 3 keer tien, plus 7 keer één. Oftewel vier keer tien keer tien, plus drie keer tien, plus zeven. Nog een keer met een ander getal:

$$\begin{array}{r}
 52734 \text{ is} \\
 5 \times \text{tien} \times \text{tien} \times \text{tien} \times \text{tien} = \quad 50000 + \\
 2 \times \text{tien} \times \text{tien} \times \text{tien} = \quad 2000 + \\
 7 \times \text{tien} \times \text{tien} = \quad 700 + \\
 3 \times \text{tien} = \quad 30 + \\
 4 = \quad 4 \\
 \hline
 52734
 \end{array}$$

Waarom moet je dit nu weten? Om te kunnen begrijpen hoe je met lampjes ook een getal kunt weergeven. In het bovenstaande voorbeeld is het getal tien belangrijk: het komt er talloze keren in voor. Maar die tien is tamelijk toevallig gekozen. Vermoedelijk omdat we tien vingers hebben. In plaats van met tien verschillende cijfers (van nul tot en met negen) kun je op eenzelfde manier getallen bouwen met maar twee verschillende cijfers. Dat zijn dan de getallen nul en één. Een voorbeeld:

$$\begin{array}{r}
 10110 \text{ is} \\
 1 \times \text{twee} \times \text{twee} \times \text{twee} \times \text{twee} = \quad \text{zestien} + \\
 0 \times \text{twee} \times \text{twee} \times \text{twee} = \quad \text{nul} + \\
 1 \times \text{twee} \times \text{twee} = \quad \text{vier} + \\
 1 \times \text{twee} = \quad \text{twee} + \\
 0 = \quad \text{nul} \\
 \hline
 \text{tweëntwintig}
 \end{array}$$

In gewone mensentaal noemen we dit tweeëntwintig, en normaal schrijven we dat zo: '22'. Maar met lampjes kun je het schrijven als '10110', of 'aan, uit, aan, aan, uit'. Helder? Ik hoop het. En misschien vraag je je af wat dit met kunstmatige intelligentie te maken heeft, maar als je goed begrijpt wat een computer is en hoe zo'n ding werkt, dan wordt kunstmatige intelligentie uiteindelijk ook wat makkelijker om te begrijpen.

19

Optellen

Hoe kun je met lampjes twee getallen (die je schrijft met nullen en enen) bij elkaar optellen? Eigenlijk op dezelfde manier als jij en ik optellen. Als je 437 en 291 bij elkaar wilt optellen, dan begin je rechts en werk je naar links. Eerst doe je 7 plus 1. Het resultaat is 8 en dat schrijf je op. Dan schuif je een plek naar links en daar doe je hetzelfde. Het resultaat is 12, en dat is meer dan 10. De 2 schrijf je op en de 1 'onthoud je': die neem je mee naar de volgende stap. En zo ga je verder totdat er geen cijfers meer over zijn om op te tellen. Het is misschien een saai klusje, maar het werkt altijd.

Feitelijk kun je op dezelfde manier 10110 (dat is 22 in normale mensentaal) optellen bij bijvoorbeeld 1100 (dat is hetzelfde als 12). Je begint weer rechts: 0 plus 0 is 0. Da's makkelijk. Dan schuif je een stap naar links: 1 plus 0 is 1. Da's ook makkelijk. Maar de volgende stap is lastiger: 1 plus 1. Eén

plus één is twee. Dat is helder. Maar hoe schrijf je twee met lampjes, oftewel met nullen en enen? Niet als een 2, want een 2 heb je niet: je hebt slechts nullen en enen. Twee in 'lampjes-taal' is 10. De 0 schrijf je op en 1 onthoud je. Enzo voort. Het resultaat is als volgt: $10110 + 1100 = 100010$. (In normale mensentaal: $22 + 12 = 34$.)

En nu komt het: dit kun je bouwen met lampjes! Met een beetje handigheid kun je de eerdergenoemde lampjes zo aan elkaar knopen dat het geheel twee getallen bij elkaar optelt. Je hebt dan een iets ander apparaatje nodig dan eerst. Eerst had je een invoer van vijf lampjes, een uitvoer van ook vijf lampjes plus een startknop. Nu heb je twee invoerrijen nodig: je wilt immers twee getallen bij elkaar optellen. Het is nog niet zo heel gemakkelijk om die lampjes zo aan elkaar te knopen dat het geheel twee getallen bij elkaar optelt. Het is vooral lastig om 'één onthouden' met die lampjes te bouwen, maar ik hoop dat je wel een beeld hebt van hoe het ongeveer zou kunnen.

Een schuur vol lampjes

Tot nu toe heb ik alleen nog maar geschetst hoe je met lampjes een apparaatje kunt maken dat getallen bij elkaar optelt. Maar een computer kan nog veel meer. Toch kun je al een boel als je kunt optellen: vermenigvuldigen bijvoorbeeld is gewoon meerdere keren achter elkaar optellen. En

afrekken moet dan ook wel lukken: optellen en aftrekken verschillen niet zo veel. En als je kunt aftrekken, dan is het ook mogelijk om een apparaatje te bouwen dat test of twee getallen hetzelfde zijn. Je trekt de twee getallen van elkaar af en als alle lampjes uit blijven, dan waren de getallen gelijk. Eigenlijk bestaat een computer uit een hele verzameling van verschillende apparaatjes die ieder een aparte berekening kunnen uitvoeren. Een apparaatje voor vermenigvuldigen, voor delen, voor berekeningen met letters in plaats van met cijfers, en voor allerlei andere dingen. En al die apparaatjes zijn gemaakt van een soort van lampjes en zitten samen in één onderdeel gepropt: de ‘rekeneenheid’ of ‘processor’. Ook wel ‘chip’ of ‘computerchip’. De processor is het belangrijkste onderdeel van iedere computer, en je kunt hem vergelijken met een schuur vol met ‘lampjes-apparaten’. De eerste computer was ook echt bijna zo groot als een schuur, en hij zat ook echt vol met lampen!

21

We weten nu al heel wat over computers, maar nog niet voldoende. Eigenlijk heb ik alleen nog maar iets gezegd over de zogenaamde *hardware*. Daarnaast is er ook nog zoiets als *software*. Hardware betekent ‘hard spul’ en software staat voor ‘zacht spul’. Hardware is het materiaal waarvan een computer gebouwd is, en software zijn de programma’s die op een computer draaien. (‘Draaien’ is misschien een beetje een raar woord, maar dat is het woord dat meestal gebruikt

wordt.) Software komt zo dadelijk, maar eerst nog over een ander belangrijk onderdeel van computers: het geheugen.

Kortom

22

- ▶ Het belangrijkste onderdeel van een computer is zijn zogenaamde 'rekeneenheid' of 'processor'. Zo'n rekeneenheid is een verzameling van verschillende apparaatjes die stuk voor stuk een simpele berekening kunnen uitvoeren.
- ▶ Al die apparaatjes zijn gemaakt van een soort van lampjes (eigenlijk elektronische schakelingen) die aan of uit kunnen staan.
- ▶ Een computer voert berekeningen uit met rijtjes van nullen en enen. Een nul is een lampje dat uitstaat, en een één is een lampje dat aanstaat.