

Verslag

Caitlin, Lulu (ook de tekeningen), Sahar, en George

Lulu en ik hebben een verwondervraag bedacht over exacte vakken, zoals wis-, natuur- en scheikunde.

Hoe is het mogelijk dat uit dode atomen en moleculen, en uit de krachten die volgens de natuurwetten tussen die dode bouwsteentjes werken, ooit leven is ontstaan?

Vinden jullie dit ook een goede vraag, of zeg je ik weet nog wel een vraag die een beetje anders is, en die ik nog leuker of belangrijker vind?

Het is een vraag die ik mij vaak heb afgevraagd. Je kijkt in de spiegel bijvoorbeeld, en je denkt dan: "oké dat ben ik, zit ik in mijn lichaam of zo? Dat zijn ogen die werken, dat zijn handen die werken, maar wat is dit nou? Ik zit in mij, maar zijn dat allemaal stoffen en dat soort dingen?"

Of het idee dat emoties een soort van chemische reacties zijn, bijvoorbeeld als je een zuur op kalksteen gooit krijg je ook een chemische reactie, maar hoe kan het dan dat de ene chemische reactie zoveel meer impact heeft, zoals het nadenken, of vooral het emotionele gedeelte, hoe kan dat ontstaan zijn uit iets dat niet leeft? Het zou net zo zijn alsof je van legoblokjes een levend ding zou kunnen maken. Hoe zou dat kunnen?

Oké, dan gaan we hierover in gesprek. Waar het mij om gaat is dat je zelf gaat nadenken over dit soort vragen. Mijn belangrijkste reden om filosofie te studeren was, dat ik wilde leren voelen wat ik zelf voel, en dat ik wilde leren denken wat ik zélf van de dingen denk. Dat is ook wat de meeste filosofen willen. Ze willen meestal geen naprater zijn en geen napraters kweken. Dat sluit niet uit dat ik ook heel veel heb geleerd van knappe denkers, die ik bewonder en die mij inspireren. Ook daarover zal ik iets vertellen. De ideeën die ik jullie zal vertellen heb ik dus niet allemaal zelf bedacht, maar heb ik ook van anderen geleerd.

Over wiskunde en computers

Natuurkunde en scheikunde zijn alletwee vakken waarbij je ervan uitgegaat dat als je iets ontdekt of kent, dan moet je dat in wiskunde beschrijven. Hun favoriete taal is wiskunde. Zoals jullie gemerkt hebben gaat het bij natuurkunde bijvoorbeeld over hefboomen, katrollen, of elektrische stromen. Het is het doel van natuurkunde dat er over dat soort dingen gerekend kan worden, en daarvoor heb je formules nodig. Als je het niet wiskundig kunt opschrijven, dan zeggen zij "daar hebben we niks aan".

Daarom is het een heel belangrijk punt om erover na te denken, wat doe je nu eigenlijk wanneer je alles persé in wiskunde wilt opschrijven? Heeft wiskunde misschien al bepaalde beperkingen waardoor je een heleboel dingen weggooit, vergeet, of niet meer bekijken, die wel heel belangrijk kunnen zijn?

Dat denk ik wel.

Ja, dat denk ik ook. Ik verdenk wiskunde van een stukje verdonkeremanen van dingen die best wel belangrijk kunnen zijn. Het zou wel eens kunnen zijn dat als je de natuurkunde of scheikunde volgt, dat het dan *net lijkt* alsof emoties, ergens van genieten, iets mooi vinden, alleen maar een kwestie van stofjes en reacties is; maar dat dit komt omdat de wiskunde die zij gebruiken iets vergeet.

Laten we beginnen met wat jullie al weten van wiskunde, dat je bijvoorbeeld kunt opschrijven $y = ax^2 + bx + c$. Daar hebben Lulu en ik heel wat mee geworsteld. Je kunt wiskunde als een taal zien maar ook als een spel. Je hebt bepaalde symbolen, je hebt bijvoorbeeld y en x , die heten variabelen, omdat die veranderlijk zijn. En je hebt constanten, de a , de b en de c , die vaste getallen voorstellen. En je hebt, zoals ze dat noemen, operatoren, zoals de $=$ en de $+$, die aangeven wat je met getallen kunt doen.

Het is een belangrijk punt van wiskunde dat je met die formules kunt goochelen zonder dat je hoeft te weten wat y , x , a , b , of c is. Je hoeft niet te weten wat die symbolen betekenen. En zelfs als je zegt "maar je weet toch dat het getallen zijn", dan kun je nog zeggen "maar ook een getal is eigenlijk iets zonder betekenis". Want als je zegt "3", dan kunnen dat jullie drieën zijn, maar het kunnen ook drie bloemen, drie appels, drie vogels, of drie gedachten zijn. "3" zegt eigenlijk nog niks. "3" is op zich zonder betekenis in de buitenwereld.

Een heel belangrijk punt van wiskunde als spel, of als taal, is dat de uitdrukkingen ervan op zich *geen betekenis* hebben. Dat is natuurlijk heel raar. Je kunt ermee spelen of goochelen zonder op betekenis te letten. Waar je onverschillig over bent als wiskundige, dat is betekenis. Het kan de wiskunde niet schelen welke betekenis x , y , a , b of c heeft. Daarom wordt wiskunde vaak vergeleken met schaken. Een bepaald schaakstuk heet dan wel 'paard', maar het hoeft helemaal geen 'paard' te heten, het zou net zo goed 'priester' kunnen heten, of alleen 'p'. In het spel telt alleen welke zetten je ermee mag doen, en hoe je het noemt dat maakt niets uit. Namen van schaakstukken zoals 'paard' of 'toren' zijn woorden die van vroeger zijn overgebleven, maar waarvan de oorspronkelijke betekenis niet meer geldt. Het enige dat telt zijn de spelregels voor de zetten die je ermee mag doen.

Met wiskunde is het net zo. Er zijn wel allerlei onderdelen waar je mee speelt, maar het spel staat helemaal los van wat die onderdelen buiten dat spel eventueel kunnen betekenen.

Een computer is een dood ding, dat alleen maar uit dode onderdeeltjes bestaat. Daarom kan je een computer zo goed een wiskundige berekening laten uitvoeren, want het interesseert de computer ook niet wat symbolen betekenen. Als je bijvoorbeeld zegt $ax^2 + bx + c = 0$ dan kan je in de computer de abc-formule inprogrammeren en dan lost hij elke vergelijking op, in no-time. Dat een computer dat zo snel kan, dat komt omdat een computer geen 'bijgedachten' heeft. Hij doet domweg de opdrachten die hij krijgt. Daarom gaat hij ook helemaal in de fout als je in die opdrachten een punt of een komma vergeet.

Daarom zijn wiskunde en computers bijna twee handen op één buik. Wat je wiskundig kunt berekenen dat kan een computer ook doen. Maar zodra als je zo'n opdracht aan een levend mens vraagt, krijg je allerlei problemen, zoals vragen "ja maar waarom, en wat moet ik daarmee", omdat mensen er altijd betekenissen bij verzinnen. Een computer zit daar niet mee.

Zo'n computer zou eerst kennis over die betekenissen moeten hebben, maar dat heeft hij niet!

Vergelijken met levende wezens

Inderdaad dat heeft hij niet! Daarom is een computer ook van mensen afhankelijk. Eerst moeten mensen bijvoorbeeld die abc-formule gevonden hebben, en dan kun je die pas in een programma vertalen waarmee je een computer programmeert. Er is altijd iets nodig dat een computer niet zelf kan uitvinden, wat wij mensen alleen maar kunnen.

Het grote verschil is, om nu een stap vooruit te doen: zo'n computer is een heel ingewikkelde constructie uit allemaal dooie dingetjes, terwijl ons lichaam bestaat uit honderden miljoenen levende cellen. Elk celletje waaruit wij bestaan heeft een eigen 'wil' om te leven, wil zich ook voortplanten, heeft heel veel dingen die elk levend wezen heeft. Wij moeten in ons lichaam al die levende wezentjes coördineren, en tot samenwerken krijgen -dat hoeven we niet bewust te doen gelukkig- maar dat is wel zo ontstaan, doordat ze allemaal samenwerken.

Ik ben bijvoorbeeld gisteren met Nessa¹ in Micropia² geweest.

Daar zijn wij ook geweest!

Het spannende dat je daar ontdekt is, dat niet alleen onze eigen cellen een geheel vormen, maar dat al die bacteriën, die als 'gastarbeiders' in ons wonen, ook nog meewerken in dat geheel. Dat ons eigen lichaam een geheel vormt van al die eigen levende cellen plus de inwonende 'gastarbeiders', dat is een gigantisch verschil met zo'n dooie machine.

Dat verschil is ook zo groot omdat ik denk dat alles wat leeft, juist wél met betekenis te maken heeft. Dat geldt voor elk levend diertje ook al is het nog zo klein als een bacterie, een pantoffeldiertje of een beerdierdje ...

Of een wimpermijt!³

Inderdaad, een wimpermijt. Die hebben, omdat zij leven, een bepaalde interesse in hun omgeving: waar is voedsel, waar is het gevaarlijk, waar ben ik veilig, wanneer kan ik mij voortplanten of niet ... dat zijn allemaal betekenissen, die machines niet hebben, en waar wiskunde geen rekening mee houdt. Dan krijg je dus het raadsel van het ontstaan van leven: hoe zou er dan ooit, in een wereld waar alleen maar dingetjes zijn die geen betekenis kennen of snappen, of reageren daarop, hoe kan daarin dan toch het verschijnsel betekenis en leven ontstaan? Er is niemand die dat kan uitleggen. Er zijn mensen die dat wiskundig te pakken willen krijgen, maar dat kan gewoon niet, omdat wiskunde gebaseerd is op het vergeten van betekenis. Vragen over betekenis kun je nooit met wiskunde beantwoorden.

We zijn nog maar nauwelijks begonnen en nu ben ik al helemaal aan het nadenken ...

Als je wat te binnen schiet, en je denkt dat vind ik toch gek, of heel verbazend ...

Dat zou ik even niet weten, het is een beetje overweldigend, het gaat over dingen daar sta je totaal niet bij stil, je weet het onbewust, maar als je daar dan over gaat nadenken, dan is het soort van ... ik denk dat het misschien het mooie is van betekenis, en van alles wat niet wiskunde is, je dingen afvragen, dat dat ook wel het mooie is aan het leven, dat je zoveel niet weet en dat je het wel wilt weten ...

*Dat er zoveel kennis is, en dat je weet ja, dat is er in de wereld, maar je weet het niet, je weet niet wat er precies is en wat het betekent ...
het mysterie van het leven ...*



Kennis en het onbekende

Je weet ook niet hoever je kunt komen met kennis. Ik heb hier een boekje van twee biologen en dat heet "de ontsnapping van de natuur". Wat ze daarmee bedoelen is dat de natuur altijd aan onze kennis blijft ontsnappen. Dat je wel steeds meer weet, maar ... Je hebt ook wel een plaatje dat heet "The Island of Knowledge", en dan zeggen ze: we leven als het ware in een zee van het onbekende, en daarbinnen hebben we een eilandje gemaakt van kennis. Naar mate we meer kennis opdoen leggen we als het ware de grens van dat eiland iets verder. Maar wat dan het grappige is, hoe verder die grens ligt hoe langer die grens wordt. Hoe

groter de grens wordt met het onbekende.

Ja, hoe meer je weet, hoe meer vragen je wilt gaan stellen. Hoever kom je? Hoeveel vragen gaan beantwoord worden?

Eigenlijk is het enige dat ik weet -tenminste dat denk ik- hoe meer antwoorden, hoe meer vragen je krijgt, en dat houdt nooit op.

Je hebt wel natuurkundigen die zeggen dat zij "de theorie van alles" zoeken, maar dan denk ik: dat kan helemaal niet! Hoe meer theorie je hebt hoe meer je je bewust wordt van het mysterie. De grote wetenschappers, die echte vernieuwing hebben gebracht zijn zich ook altijd erg bewust geweest van dat mysterie. Die weten heel goed dat er altijd veel meer is dat je niet weet dan wat je wel weet.

Ja, het laat mij heel erg denken aan biologie, je krijgt dat vak en dan krijg je hoe werkt het menselijk lichaam, en dan krijg je al organen, en hersenen, en spieren, en dan is het, wow, hoe kan je dan nog leven, en ga je daar over nadenken, en dan kom je er achter, oh, alles bestaat uit cellen, en cellen bestaan uit moleculen, en moleculen bestaan uit atomen, en atomen bestaan uit elektronen, protonen en neutronen. En dan is het zo van, oké, hoe kleiner je gaat denken hoe verwarrender het wordt. Organen klinkt nog logisch, maar met die kleine deeltjes vraag je je af, wow, hoe kun je dan nog leven?

Allemaal werken ze samen. Zou dat nog kleiner kunnen?

Ja, je hebt apparaten waarin ze bijvoorbeeld protonen met hoge snelheid op elkaar laten knallen, en dan valt een proton ook weer in duizend stukjes uit elkaar. Een natuurkundige zei hierover: "zo'n proton lijkt wel een piano die je uit de bovenste verdieping van een huis op straat gooit". Zo gaan ze steeds verder, maar het wordt ook steeds geheimzinniger.

Hoe dieper je gaat ... kom je als het ware in een gat ... die organen die kun je nog bekijken

In de biologie is het lang een trend geweest om net als in de scheikunde en natuurkunde alles in wiskunde te willen vertalen. Tegenwoordig zijn er biologen die zeggen, dat als je kennis alleen in wiskunde wilt vertalen, dat je dan eigenlijk alleen maar kennis kunt opschrijven over dode dingen. Een molecuul op-zich is dood, dat leeft niet. Het gekke is dat het *geheel* van een cel wel leeft, maar dat je dan ook een andere taal nodig hebt. Binnen een cel heb je bijvoorbeeld mitochondria, dat zijn een soort spijsverteringsorganen, en als je dan aan een bioloog vraagt "ja maar waarom ziet het eruit zoals het er uitziet" dan zegt hij "ja, omdat ze energie moeten leveren, ze moeten voedsel verteren ..." en dan heb je het al over betekenissen. Dan komen ze niet uit met de betekenisloze taal van de wiskunde.

Je verliest dan eigenlijk alleen maar meer kennis ...

Terug naar de natuurkunde

Nu gaan we een stapje verder, maar dan moeten we even terug naar de natuurkunde. Stel je hebt een heel hoge berg en je gooit een steen in de afgrond, die gaat dan naar beneden, en komt ergens op de grond. Nu hebben natuurkundigen een formule ontwikkeld om precies te beschrijven hoe zo'n steen valt. En als de luchtweerstand praktisch geen rol speelt, en dan blijkt die formule precies te kloppen. Op de maan geldt die formule dus nog beter, want daar is helemaal geen lucht. Het gekke is, als je op de maan een stenen kogel, een houten kogel, een ijzeren kogel of een duivenveertje naar beneden gooit, ze vallen dan allemaal precies even snel. Dat zou je bijna niet geloven, maar het is echt zo. En die formule, die zal ik hier opschrijven: $s = \frac{1}{2}gt^2 + v_0t + s_0$. Het idiote is dat, als iets valt zonder dat je de luchtweerstand hoeft mee te rekenen, dat het precies volgens een kwadratische vergelijking naar beneden valt. Dat hebben natuurkundigen al

in de 17^e eeuw ontdekt. De afstand dat iets valt is s , s_0 is de beginafstand, de beginsnelheid is v_0 , en die g die kennen jullie wel, die hebben jullie al gehad.

Ja, dat was 9,81.

Precies, dat is die 9,81 op aarde, en op de maan is dat een ander getal. Maar, het is dus precies een kwadratische vergelijking. En dat is heel vaak gebeurd in de natuurkunde dat zij tot hun geluk net een soort van wiskunde hadden ontwikkeld, en dat dan bleek dat een bepaald natuurverschijnsel heel precies met die wiskunde beschreven kon worden. Het is dus ook een wonder van de natuur dat er dingen zijn die in de natuur gebeuren en die precies kloppen met zo'n vergelijking.

Maar dan moet er geen wind zijn ...

Ja, dat doen ze altijd, je moet veel vergeten.

Maar dat is dan toch net als met die wiskunde, dat je veel vergeet?

Bij wiskunde vergeet je alle betekenis, maar in de natuurkunde stop je er nu wel een beetje betekenis in. Want s is afstand, t is tijd, en g is de zwaartekrachtsversnelling. Je geeft nu al die symbolen wel een betekenis. En je weet dat het echt zo is. Als je een steen in de afgrond gooit, dan valt die steen naar beneden zonder zich verder ergens iets van aan te trekken. Die steen zal niet zeggen "daar beneden loopt een koe, dus dat ga ik niet doen" of zo. Die steen valt so-wie-so, daar is niets meer aan te doen. Daarom mag je in de bergen ook geen stenen naar beneden gooien, omdat je niet weet of daar mis-



schien mensen lopen. Het bijzondere van zo'n formule is dat of het een steen is, of een bom, dat maakt voor die formule allemaal niks uit. Als je een keer een bom uit een vliegtuig hebt gegooid, dan gaat die gewoon naar beneden, en of het mis is of raak, daar zal die bom niet over nadenken. Een bom heeft geen geweten.

Nu is dus het punt, en daar moet je maar over nadenken, dat die valbeweging niet het enige is, er zijn honderdduizenden processen, gebeurtenissen, die allemaal precies volgens één of andere formule werken. Dat noemen natuurkundigen wel het wonder van de toepasbaarheid van wiskunde. Net hadden we het even over wat wiskunde allemaal niet kan, nu

zitten we even aan de andere kant van wat wiskunde wel kan. Je kan niet zeggen we gooien alle wiskunde weg. Er zijn verschrikkelijk veel dingen die zich heel netjes volgens een formule gedragen.

Niet alles!

Nee, zeker niet! Wat gedraagt zich dan niet volgens een formule?

Wat is leven?

Ja, veel dingen denk ik, zoals je al zei, dat gevoel en zo ... En, ja wat nog meer ... Dat een steen geen gevoel heeft dat weet je, die let er niet op of er een koe loopt of niet, en daarom past het wel goed bij elkaar omdat wiskunde ook al dat gevoel en zo weglaat. Het gaat precies hand in hand.

Inderdaad, dat gaat hand in hand, dat heb je heel mooi gezegd. Je zou kunnen zeggen die steen is onverschillig, het interesseert een steen geen moer waar die terecht komt of hoe snel die gaat, een steen heeft dat niet zo'n besef.

Het lijkt wel alsof er een soort grens is waar wiskunde ophoudt ... ja, ook wiskunde is heel wonderlijk, maar dat het ophoudt bij waar iets écht leeft, en dat het daar dan steeds verder van de wiskundige taal afstreeft, en iets bijzonderder wordt dan wat het daarvoor al was, en alles dat onwetend is als een steen. En dat daar dus een heel groot verschil in zit met een levend persoon ...

Wie bepaalt die grens en wat is nou leven? We noemen wel iets een organisme zoals wij, of een dier, maar wat houdt dat nou precies in? Welke eisen hebben een organisme? Het wetende, dát het leeft? Is er niet een filosoof die zegt "ik denk dus ik weet"?

Ja, "ik denk dus ik ben".

O ja, dat. Iets van heel vroeger, geschiedenis. O ja, Descartes.

In dezelfde tijd dat Descartes leefde, en Descartes was heel erg van de wiskunde, hij wilde alles wiskundig verklaren. Volgens Descartes was een kip, of een hond of een koe eigenlijk precies hetzelfde als een machine. Een kip heeft geen ziel, en geen bewustzijn, dat hebben alleen mensen maar. Een kip is een apparaat, zeg maar.

In diezelfde tijd had je Spinoza, ook een Nederlandse filosoof, en die zei "alle levende wezens hebben een eigen streven ('conatus') ze willen leven". Het is niet alleen maar dat zij leven, maar zij willen ook leven. En zij willen voortleven, zij willen blijven leven. Die hebben iets wat iets dat dood is niet heeft. Ergens naar toe te gaan, ergens voor te zijn, ergens tegen te zijn. Het is grappig dat dit al in de 17^e eeuw twee gezichtspunten waren.

En suïcidaal? Je bent wel een organisme, maar je wilt niet verder leven.

Misschien wil je dan wel dood, je bent op een punt waar je overheen gaat en het dan toch doet, maar in eerste instantie denk ik niet dat je dat heel erg graag wilt.

Niet dat je suïcidaal geboren bent of zo, er is vaak een aanleiding.

Ja, het heeft ook te maken met iets dat heel erg bij leven hoort, dat je van het leven bepaalde verwachtingen hebt. Dat je niet alleen maar wilt overleven maar dat je, zoals ze dat noemen, een bepaalde kwaliteit van leven wilt.

Ervan genieten en zo.

Ja, iets om van te genieten, of iets om te zeggen: "dit maakt het voor mij de moeite waard om te leven".

Doelen

Ja, juist de doelen maken dat iemand soms suïcidaal kan worden. Omdat je de hoop opgeeft op die doelen.

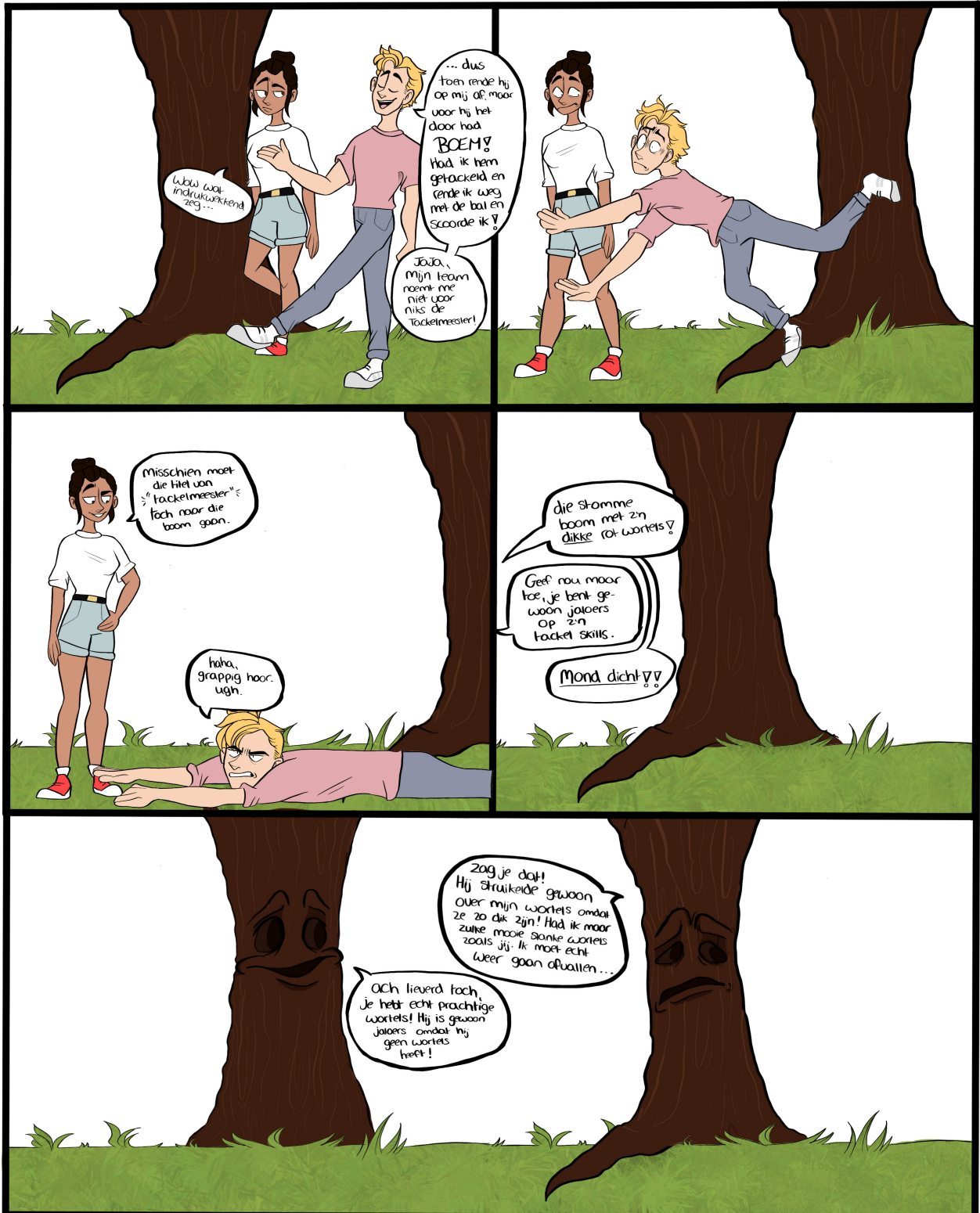
Ze zeggen ook wel dat zij zich levenloos voelen. Als je het dan vergelijkt met waar we het net over hadden ... Als je de 'wil' om te leven weghaalt, en als iemand, een echt persoon, die wil verliest, hoeveel leef je inderdaad dan nog? Je leeft, maar soort van ... Een

plant of een boom die leeft wel, maar heeft die een wil om te leven? Het is wel leven, maar is het dan echt *l*éven?

Twée dingetjes van echt leven: echt leven met al die gevoelens en zo ... Of wetenschappelijk leven, net als bomen en planten, snap je ... daar ligt het ook weer aan, hoe je dat dan ziet

Maar het is wel bewezen, dat als je tegen bomen en planten praat dat zij dan beter gaan groeien.

Ja, dat is waar wij het toen met het hardlopen over hadden, dat we er eigenlijk niet van uit mogen gaan dat bomen geen emoties hebben



Over dat leven van bomen komen onderzoekers tot heel bijzondere ontdekkingen en vermoedens. Bijvoorbeeld: in de grond van een bos heb je allemaal schimmeldraden, wat je merkt als er aan de bovenkant een paddestoel uit groeit. En de wortels van de bomen die raken aan die schimmeldraden. En nu hebben ze gemerkt, als er bijvoorbeeld een hertje door het bos aan komt huppelen, dat de bomen, die blaadjes hebben die hertjes lekker vinden, dat die dan een bepaalde stof gaan afscheiden die deze blaadjes minder lekker maakt voor herten. Dan denken die geleerden, hoe weet die boom in vredesnaam dat er een hertje aankomt? Ze zeggen, het kan eigenlijk alleen maar gebeuren via het contact met die schimmeldraden, die gemerkt hebben dat er iets op de grond loopt, en dan gaan die bomen daarop reageren.

Ook weer allemaal reacties en zo ... net als onze hersenen eigenlijk ... zouden ze dan ook paarden voelen? ... ja, ik denk het wel ...

Het is een heel nieuwe tak van wetenschap, nog erg in ontwikkeling, en je kunt bij bomen sommige dingen alleen zien als je de tijd vertraagt. Als je bijvoorbeeld van een boom of een plant steeds op dezelfde tijd van de dag een foto maakt, en die foto's versneld gaat afdraaien, dan kun je bijvoorbeeld zien hoe bomen op elkaar reageren, met elkaar competitie hebben om zonlicht of voedsel, of samenwerken.

Ze hebben bijvoorbeeld ook ontdekt dat als je een rijstveld hebt, zoals in India of Indonesië, dat als je rijstplantjes hebt die familie van elkaar zijn, dat zij dan beter met elkaar samenwerken, en dat je dan een veel betere oogst hebt dan wanneer je zomaar in het wilde weg rijstkorrels hebt gezaaid. Op een bepaalde manier merken die rijstplantjes "we zijn onder ons, en wij kunnen goed samenwerken omdat wij elkaar kennen" en dan gaat het dus veel beter. Idioot hè!

Het laat mij ook een beetje denken aan een eendagsvlieg, die leeft voor ons maar één dag, maar wat nou als die eendagsvliegen de tijd heel anders ervaren dan wij, en zij een gewoon normaal leven leiden en wij voor hen gewoon eeuwenoude slome dingen zijn. En dat bomen ons misschien ook wel bijna zien als een soort van eendagsvliegen die komen en gaan, en dat zij in een tijd leven die wij gewoon niet kunnen zien omdat het voor hen in een andere tijd gaat dan voor ons.

Ja, je moet dus steeds bedenken dat we iets van elkaar kunnen begrijpen, omdat wij leven en zij leven, bomen of dieren, maar we moeten ook steeds beseffen, dat het toch wel een heel ándere manier van leven is. Voor een deel begrijpen we dat nooit echt.

We kunnen wel uitzoeken hoe een boom echt in elkaar zit, maar je bent zelf niet een boom. Je gaat het nooit precies weten.

Je kan nooit het verlangen voelen naar het licht dat een boom voelt.

Nou als ik in de winter in de ochtend in het donker opsta dan verlang ik wel heel erg naar het licht.

Nadenken over beperktheid: het bijzondere

Je hebt ook natuur- en scheikundigen die zelf hebben uitgezocht waarom hun vak beperkt is, en lang niet alles begrijpt van de natuur. Volgens hen hebben hun vakken per definitie bepaalde oogkleppen op, waardoor ze dingen niet zien, waar bijvoorbeeld sommige biologen tegenwoordig meer oog voor hebben.

Eén van die oogkleppen heeft te maken met het gebruik van variabelen, zoals de s en de t in de formules die we als voorbeeld namen. Om die variabelen in een formule te kunnen gebruiken zoeken ze altijd naar een algemene maatstaf, aan de hand waarvan je het getal bij de variabele kunt bepalen. Stel bijvoorbeeld dat je wilt berekenen hoeveel leraars je nodig hebt voor hoeveel leerlingen op een school. Gaat 1 leraar op 19 leerlingen, of op 20 leerlingen, hoe is die verhouding? Dan zeg je "het aantal leerlingen noem ik

gewoon l " en "het aantal leraren noem ik gewoon d ". Dan ga ik een school binnen en dan ga ik in iedere klas leerlingen tellen, en ik ga naar de lerarenkamer en ik ga alle leraren tellen. Dan zeg ik bijvoorbeeld: "voor 3 vwo geldt $l=24$ ". En je krijgt dan op een gegeven moment gekke dingen zoals "voor het Griftland College geldt $l_{\text{gem}}=22,53$ per klas". Dat is heel raar want wat is die 0,53, is dat iets meer dan een halve leerling? Je ziet hier ook hoe je een algemene maatstaf gebruikt. Als ik bijvoorbeeld in jullie klas ga tellen is de maatstaf dat ik alleen de leerlingen moet tellen, zit er toevallig een vader, of moeder, of klassenassistent bij, dan moet ik die niet meetellen. Het enige waar ik op let is, is het een leerling ja of nee. Of het een meisje of jongen is, is niet belangrijk, lang haar of kort haar, blauwe of groene ogen is niet belangrijk, noem maar op. Er zit een eenzijdigheid in dat je alles afmeet, om het getal toe te kunnen kennen, aan een algemene maatstaf "het moet een leerling zijn". Dat is de enige eis. En je moet alle *bijzonderheid* van elke leerling dus skippen, vergeten.

Wat je dus niet weet is dat de ene leerling misschien veel meer tijd nodig heeft van een leraar dan een andere leerling, en misschien wel zou moeten tellen als twee leerlingen, of 1,7. Een ander is weer heel zelfstandig en die heeft geen hulp nodig.

Precies, en dat gebeurt dus ook in het echt dat ze bij een ministerie formules hanteren om een school te betalen, terwijl bijvoorbeeld een school in Baarn/Soest, of een school in Amsterdam-West, een heel andere problematiek heeft. Je hebt bijvoorbeeld scholen waar bijna geen enkel kind uit een 'volledig' gezin komt, met een vader en een moeder. Die kinderen nemen enorme problemen mee naar school, en voor de leraren is dat een veel zwaardere belasting, dan op een andere school.

De formule-wereld is er op gebaseerd dat je alleen maar op algemene kenmerken let, en het bijzondere vergeet, of negeert.

Er geen rekening mee houdt.

Er geen rekening mee houdt, ja. Dat is een heel belangrijke oogklep. Het bijzondere, daar staat een streep door: ~~het bijzondere~~.

Onze cultuur vereert heel erg de formule-wereld, en de technologie die daar uit voortkomt.

Dat merk je bijvoorbeeld ook aan wat ze zeggen tegen ouders van een kind dat een bepaalde Cito-score haalt: uw kind heeft 521 gescoord, dus er is maar 30% kans dat hij de havo haalt. Maar het vervelende is dat die score eigenlijk niets zegt over dit ene bijzondere kind en zijn kansen. Of het een kind is dat erg gemotiveerd is, of veel steun krijgt van huis uit, of heel veel andere omstandigheden die belangrijk kunnen zijn, maar waar niets van terugkomt in zo'n getal. Dat is de makke van dingen in variabelen vertalen. Je zet oogkleppen op voor het bijzondere.

Formules maken = beperken tot invarianties / mechanismen

Een ander punt is: je kunt alleen een formule maken als je een eindig aantal variabelen hebt. In het geval van $s = \frac{1}{2}gt^2 + v_0t + s_0$ heb je een eenvoudig geval, want daar zitten maar twee variabelen in, die s en die t . Bij andere gebeurtenissen heb je 5 variabelen of misschien zelfs 10 variabelen. Als je het weer wilt voorspellen, dan heb je heel veel variabelen, en dan heb je ook heel grote computers nodig om een weersvoorspelling te kunnen berekenen, omdat de formules ook steeds groter worden. Onderzoekers die daarover nadenken zeggen daarom: "een oogklep van ons vak is, dat we alleen maar processen kunnen begrijpen die we met een eindig aantal variabelen kunnen beschrijven. Als het aantal variabelen niet in te perken is, dan zijn we machteloos".

Ik heb hier bijvoorbeeld een boek van biologen⁴ die ook veel op dit thema tamboeren. Zij doen onderzoek naar trekvogels, die bij ons op de Waddenzee voorkomen, die in de winter naar Afrika gaan, en 's zomers naar Siberië, en er zijn allerlei kenmerken van die vogels waarbij zij zeggen: "van hoeveel variabelen deze kenmerken afhangen, daar

kunnen wij geen grens aan stellen. Het hangt zo ongeveer met alles samen". Dan kun je geen formules maken.

Maar, als je wél een formule kunt maken, dan staat die formule vást. De formule is invariant terwijl de variabelen variabel zijn. Daarom noemen ze zo'n formule ook wel een *invariantie*. Iets dat volgens een formule verloopt dat noemen ze met een andere naam ook wel een *mechanisme*.

Sommige natuur- en scheikundigen zeggen dus heel eerlijk: ons vak is beperkt tot wat een mechanisme of invariantie is, en daarbuiten is er nog oneindig veel dat buiten ons gebied valt.

Dat is dus een soort grens.

Dat is echt een grens, ja. Dat is een vaste grens, want zolang als de natuurkunde zijn methode niet verandert, blijft dat een grens.

Ja, als je het verandert dan is het geen natuurkunde meer.

Het nut van beperkingen

Wiskunde, natuurkunde en scheikunde hebben zo hun beperkingen, maar soms is dat wel handig, is dat wel gewoon wat je even nodig hebt. Ik bedoel, anders maak je het zo gecompliceerd, als je achter alles een betekenis zoekt, dan blijf je zoeken. Zoals met dat eiland ... Het is wel goed om je af te vragen en op zoek te gaan naar nieuwe info, maar je moet er uiteindelijk ook een stop bij kunnen vinden. Als je steeds blijft nadenken "wat is nou het doel van het leven, en waarom zijn we er" ... uiteindelijk moet je het maar even aannemen, anders word je gek van jezelf. Daarom vind ik dat natuurkunde wel heel erg belangrijk is, met dat je soms even dingen aan moet nemen, je beperkingen moet stellen, ook al laat je dan veel bijzondere dingen weg. Die moet je zeker niet vergeten, maar soms is het wel even handig om op één ding te focussen.

Ja, dat is ook zo. Als je bijvoorbeeld economie bekijkt als vak, je hebt een bedrijf en je moet gaan beslissen of je gaat investeren, of fuseren met een ander bedrijf, dan doe je precies wat jij zegt. Je gaat de situatie een beetje vereenvoudigen, want rekening houden met alles dat kan gewoon niet, je zegt dan: "ik neem even aan dat mensen behoefte blijven houden aan dit product, of ik neem aan dat er in de toekomst steeds meer digitaal gewerkt gaat worden". Dan kun je weer wél een formule opstellen en uitrekenen of je winst gaat maken of niet. Daar hebben economen dan formules voor. Maar die berusten er dan ook op dat je beslissingen wilt nemen in een situatie die eigenlijk onoverzienbaar is, en die je voor het gemak vereenvoudigt.

Het ligt dus heel erg aan de situatie wat handiger uitkomt ... is het handiger om door te denken, of handiger ... zoals met die steen. Ja, het ligt gewoon aan de situatie of het handig of nodig is.

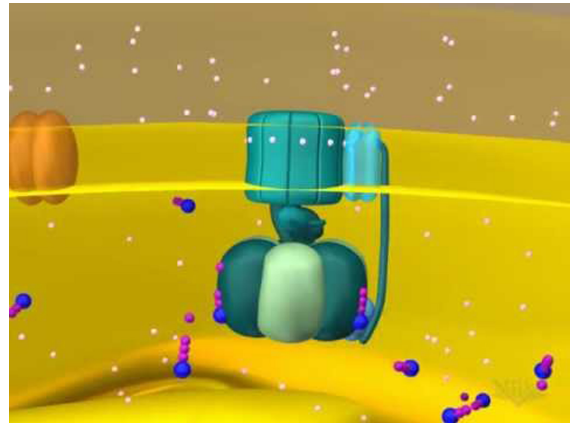
Als je een technisch probleem wilt oplossen, bijvoorbeeld je auto doet het niet, of je wilt een nieuwe motor ontwikkelen, dan moet je ook die vereenvoudigingen toepassen. Je moet die gecompliceerdheid van levende dingen even vergeten. Als je uitgaat van dooie dingen die uitgerekend kunnen worden, dan weet je hoe je een auto zou moeten bouwen.

Ja, precies. Bijvoorbeeld met economie, het is wel handig om een voorspelling te hebben van hoe zou dit product het doen, en hoe gaat dit product bevallen bij de persoon die het gaat verkopen. Wat je dan niet weet is, de marketing, hoe wordt dat gedaan, of is de persoon die het gaat verkopen een beetje een vlot persoon die goed met mensen omgaat, zodat ze graag willen kopen, of is het een beetje een hufter, daar kun je dan geen rekening mee houden. Op zo'n moment is het wel handig om te denken we gaan er even van uit dat het zo zit, anders zit je echt in het niks te grijpen.

Ja, dat klopt. Wat wij doen is het *gebruiken* van die wiskundige of technische vereenvoudingen om ons leven vorm te geven of om problemen op te lossen. Wat wel grappig is om te zien is, dat levende cellen dat op hun manier ook doen. Ik zal jullie daarvan een filmpje laten zien⁵.

Levende cellen gebruiken natuurwetten en machines

Wat ik echt verbijsterend vind is, dat de ontwikkeling van het leven zó ongeloofelijk vernuftig is en knap. Dit filmpje gaat over een machientje dat cellen zelf gemaakt hebben in de loop van hun ontwikkeling. Het is één voorbeeld van de nano-machientjes die in de loop van de evolutie zijn gemaakt. Het is een verbijsterend slim machientje. Wij zijn nu bezig met nanotechnologie, en dit soort dingen kunnen wij nog niet eens maken, maar in elke cel zitten dit soort machientjes en nog veel meer. Wat is een mitochondrium?



Bron: Virtual Cell Animation Collection
<http://vcell.ndsu.nodak.edu>

Een powerhouse.

Ja, het is de spijsvertering van de cel. Zijn ingewanden, waar hij de energie uithaalt die hij nodig heeft om te kunnen leven. In dat mitochondrium, daar zitten dus die machientjes. Op zo'n membraan. Kijk maar. Het slimme is, er is geen gewone diffusie, maar in het membraan zijn machientjes ingebouwd om de *neiging* tot diffusie op een slimme manier te gebruiken. Als er drie van die protonen ingevangen zijn heeft de machine genoeg energie om een P te koppelen aan een ADP, zodat die ATP wordt, en die ATP moleculen gebruikt de cel als 'batterijtjes' om op allerlei punten in de cel energie te kunnen leveren. Hij maakt dus eigenlijk zelf zijn eigen batterijtjes.

Ja, o wat gaaf!

Op een gegeven ogenblik zouden er dus evenveel protonen zijn aan beide kanten van het membraan, maar daar heeft de cel weer andere machientjes voor uitgevonden die elektronen vervoeren, om aan de binnenkant het aantal protonen weer kleiner te maken. Het is allemaal verbijsterend ingewikkeld en slim. Dat die cel natuurwetten kan *gebruiken* om machientjes te bouwen! Dat cellen dat al doen. Op hun niveau maken zij gewoon *gebruik* van de natuurwetten van protonen, elektronen, en moleculen.

Kunnen computers dat ook?

Dit laat mij ook denken aan een filmpje dat ik heb gezien, dat is een beetje het tegenovergestelde hiervan, dat een levend iets een machientje heeft gemaakt. Ik heb een filmpje gezien dat een computerprogramma, ik weet niet meer precies hoe het ging, dat ze een poppetje hadden in die computer geprogrammeerd, en toen heeft die computer uit zichzelf geleerd hoe die dat poppetje moet laten lopen. Dat heeft 'ie geléerd, mensen hebben daar niks mee gedaan gewoon maar zitten kijken, en toen heeft die computer - een beetje zoals die cel dus- zelf een manier gevonden dat hij dat poppetje kon laten lopen. Daar moet ik nu aan denken.

Daar zijn ook hele discussies over, ook filosofische discussies. Volgens mij blijft het verschil. Je hebt inderdaad robotjes, een lerend programma zit daarin, en die dan zelf kunnen leren lopen, of andere dingen kunnen leren.

Een keer hadden ze twee van die lerende robots op elkaar aangesloten, en binnen no-time hadden die robots gewoon een taal ontwikkeld die zij met elkaar konden spreken, en dat vonden de wetenschappers toen zo eng, omdat het zo snel ging, dat zij de stekker er uit hebben getrokken.

Ze hebben kennis gekregen, en met die kennis hebben ze dan zelf iets gemaakt.

Alleen het punt is, en daar heb ik ook veel over gelezen, dat je een computer pas kunt programmeren om te leren, als je eerst zelf weet hoe dat leren werkt. En, om het in een computer te kunnen inprogrammeren moet je het biologische leren ook weer erg vereenvoudigen. Wat een computer kan is altijd een vereenvoudigde vorm van leren, die in de wetenschap is gevonden. Dus computers hebben dát toch niet zelf bedacht, maar het is wel zo dat mensen dan soms niet meer kunnen voorspellen wat er gaat gebeuren.

Een voorbeeld is automatisering bij financiële markten. Veel bedrijven gebruiken computers bij het kopen en verkopen van aandelen. En dan proberen zij ook om in die computers een vorm van leren te bouwen, zodat die computers zelf leren wanneer zij aandelen moeten kopen of verkopen. En het lastige is dat die computers ook weer reageren op elkaar, en dat dit één keer een beurskrach heeft veroorzaakt, omdat de koersen ineens de idiototste dingen gingen doen, omdat de computers elkaar op hol joegen. Ze hebben de hele handel toen stil moeten leggen, om te voorkomen dat er heel veel geld verloren ging.

Het verschil tussen een computer en een levend iets blijft volgens mij altijd bestaan. Het grote verschil is dat levende wezens nooit een programma van buitenaf nodig hebben gehad. Als ik een computer slimmer wil maken, dan moet ik een nieuw programma schrijven, een computer zelf doet dat niet. Het blijft bij de slimheid die er is.

Ze kunnen niet zelf kennis opdoen?

Behalve als je een manier van kennis opdoen kunt programmeren. En dat komt altijd van buiten. Terwijl levende wezens, die erven natuurlijk ook wel veel van vorige levende wezens, maar het is wel door levende wezens ooit zelf uitgevonden. Het is wel heel bijzonder om je te realiseren dat hoe wij ademen, hoe onze bloedsomloop functioneert, hoe je hart reageert op inspanning, dat zijn allemaal eigenlijk heel kostbare erfenissen, die we gewoon gratis en voor niks hebben meegekregen.

Terug naar de beginvraag

Als we nu teruggaan naar de vraag waar we mee begonnen, wat zou dan nu jullie antwoord zijn?

Nou dat vind ik nog heel erg moeilijk, dat is misschien dé vraag die we nooit gaan beantwoorden, want dat is het mysterie van leven. Maar dat natuurkunde en scheikunde vereenvoudigen, dat vind ik niet verkeerd omdat dat in sommige situaties nou eenmaal dingen makkelijker maakt. En ook al laten we heel veel kostbare dingen weg, het is gewoon handig. Ik denk niet dat natuurkunde beweert van het is alleen maar zo, natuurkunde is meer een hulpmiddel eigenlijk en scheikunde. Het leren begrijpen van onze aarde en het leven, maar het zal nooit alles beantwoorden, maar dat beweert het ook niet.

Het gaat so-wie-so gewoon dingen weglaten, maar ook al bewijst het dat liefde te maken heeft met stofjes en reacties, dan bewijst dat niet gelijk dat het leven alleen dat maar is. Het is gewoon in die situatie, gewoon om duidelijkheid te geven. Zo zit het in die situatie.

Bijvoorbeeld die steen, er is altijd een windkracht, er is altijd wel iets waardoor het anders gaat vallen. Maar, door ervan uit te gaan dat het nou even zo is, weten we dat het zo werkt. Niet dat het dan geen zin heeft of zo.

Omdat die wetenschap zich met zin nu juist *niet* bezig houdt.

Toepassing op de dokter en de advocaat

Natuurkunde en scheikunde is bijvoorbeeld heel belangrijk voor zo'n beroep als van een dokter. Een dokter moet zich, als iemand op een operatietafel ligt, niet bezig gaan houden met is dit wel een goed persoon, is die wel lief voor zijn kinderen, is het wel een persoon met dromen. Die moet dan gewoon basiskennis hebben hoe die organen werken, en al het bijzondere van die iemand maakt in die situatie niet uit. Het gaat even om hoe werken die organen, zodat de dokter die man kan redden.

Net als met die leerlingen, het gaat in die situatie over dingen waar je rekening mee moet houden en niet om de rest. Het ligt dus heel erg aan de situatie.

Maar je moet je er dus wel van bewust zijn wat je buiten beschouwing laat.

Ja precies, dat wel. Je weet wat je er buiten houdt, maar je hoeft er geen rekening mee te houden.

Misschien is het wel handig als mensen vaker er wat bewuster van zijn, wat ze met formules en met schei- en natuurkunde weglaten, maar het is niet verkeerd, als je er maar bewust van bent dat je aspecten van het leven weglaat.

Jullie hadden het net over medische wetenschap. Het blijkt ook dat als een chirurg die jou gaat opereren van tevoren netjes kennis heeft gemaakt, gezegd heeft "ik ben die en die", en interesse heeft getoond in jouw leven, en in hoe belangrijk die operatie voor jou is, dat het succes van de operatie dan beter is. Dat is heel gek.

Ergens ook wel weer logisch ... Wat je heel vaak hebt als je rondloopt en dan denk ik heel vaak opeens oké ... alle mensen die je ziet dat zijn niet een soort van poppetjes, maar dat zijn mensen met gedachtes, dromen en emoties, als ikzelf. En dat is dan zo raar om daarbij stil te staan. Maar ik snap wel als zo'n dokter zich dat iets meer realiseert, ook al is het maar zo'n klein beetje, dat die ook snapt hoeveel impact die operatie heeft op zo'n persoons leven. Als je zo'n kort gesprek hebt gehouden ben je je daar wat bewuster van. Ik snap wel dat je prestaties dan, ook al is het onbewust, beter zullen worden.

En het gekke is dat op de één of andere manier het lichaam van de patiënt ook beter meewerkt aan de operatie.

Omdat je die ander dan meer vertrouwt

Dat kun je zelfs weer berekenen met statistiek. Als patiënten zeggen dat zij heel erg hun dokter vertrouwen, dan blijkt dat de kans op genezing veel groter is dan wanneer ze zeggen ik vertrouw die man of vrouw helemaal niet.

Als je dan dokter bent en je hebt dan wel kennis gemaakt, het lijkt mij wel dat je dan een grotere druk op je schouders hebt.

Ja, je verantwoordelijkheid. Precies wat jij net zei, op het moment dat je aan het opereren bent moet je dat misschien allemaal wel vergeten. Een chirurg vertelde mij eens: "of ik nu mijn auto repareer of in een mens zit te werken, maakt voor mij niet veel uit. Het is ongeveer hetzelfde werk. Bloedvaten losmaken, en aan elkaar lassen". Hij zei "een auto is wat makkelijker dan een mens maar in principe is het net zo. Ik vind het leuk om aan auto's te sleutelen, en daarom vind ik het ook leuk om aan mensen te sleutelen".

Die vergelijking vind ik eng.

Als die chirurg nou maar ook snapt dat 'ie dan, als die dat technische werk aan het doen is, een heleboel vergeet. Maar dat hij dat op een ander moment juist wel in het spel

moet brengen, en begrijpt dat de patiënt er behoefte aan heeft om te weten of hij hem wel of niet kan vertrouwen, of hij bij hem in goeie handen is.

Soms moet je bij een operatie heel snel handelen. En stel je weet dat je een slecht persoon, een persoon met niet goede bedoelingen opereert, dan zal je nog steeds dat moeten weglaten om goed te presteren, omdat het doel van jou is, als chirurg, om die persoon gewoon beter te laten worden.



Ja, bijvoorbeeld in een oorlogssituatie, of je een gewonde van je eigen leger of van de vijand opereert moet eigenlijk geen verschil maken. Dan moet je dus weer buiten je bewustzijn houden of het een vriend is of een vijand.

Dat doet mij denken aan een baan als advocaat, sommige advocaten die leggen best wel grenzen, maar ook ieder slecht persoon bijvoorbeeld moordenaars, die hebben ook advocaten nodig. Die advocaat moet dan ook even loslaten, of deze man nu schuldig is of niet, ik moet hem maar even presenteren alsof dat niet zo is. Misschien weet hij wel dat het wel zo is, maar weer even niet aan denken. Of het wel of niet een slecht persoon is, daar moet je je wel bewust van zijn, maar als dat jouw baan is, net als een dokter, dan moet je dat dan weglaten.

schien weet hij wel dat het wel zo is, maar weer even niet aan denken. Of het wel of niet een slecht persoon is, daar moet je je wel bewust van zijn, maar als dat jouw baan is, net als een dokter, dan moet je dat dan weglaten.

Voor een goede advocaat is het hogere principe dat ieder mens recht heeft op een eerlijke behandeling. Dat je denkt, ook als is het waarschijnlijk een misdadiger, hij heeft toch recht op een eerlijk proces, en ik ga ervoor zorgen dat het so-wie-so eerlijk is.

Dus om je doel te behalen moet je je bewust zijn van sommige dingen, maar ook dingen loslaten.

Dank en waardering

Dank jullie wel, voor dit inspirerende gesprek! Ik vond het erg leuk om met jullie te filosoferen over alles wat wij met elkaar besproken hebben. Het was voor mij heel waardevol en ik ben erg onder de indruk van de interesse, de creativiteit, de slimheid, en de wijsheid waarmee jullie aan dit gesprek hebben meegedaan. Ik hoop dat de kennismaking met wetenschapsfilosofie jullie ook goed bevalen is.

*Als wij op school vakken hebben zoals wiskunde, natuurkunde, scheikunde, biologie, of economie, dan zitten wij steeds **in** de doos van die vakken. De filosofie die wij nu gedaan hebben is echt 'out of the box' denken, en dat vond ik erg interessant!*

Als je begrijpt tot hoever natuurkunde klopt, en wij überhaupt dingen kunnen gaan snappen, dan vind ik dat eigenlijk iedereen daarbij stil zou moeten staan. Daarom zou ik zeggen dat wij filosofie, niet persé altijd maar in ieder geval één jaar moet krijgen. Ik vind dat filosofie ook een vak moet zijn. Niet persé een hoofdvak, zoals wiskunde of engels, maar ook een vak dat je, al is het maar één jaar, wel gewoon krijgt op school. Het is wel na dit gesprek dat ik het jammer vind dat ik geen filosofie op school kan kiezen.

Het is goed om bij scheikunde, wiskunde en zo, stil te staan. Je bekijkt het ook van de andere kant. Dat je weet deze dingen zijn er, die kennis is er, maar nog dieper is er ook een grens. Maar grenzen, daar kan je ook overheen. Je kan bezig zijn met al die bèta-vakken en zo, maar als je er bij stil staat dan denk ik dat je veel beter en duidelijker begrijpt wat jij nou zelf denkt. En tot hoeverre je wilt denken, vragen wilt stellen, en wilt beantwoorden.

Ik denk dat je dan bewuster wordt van het leven en daarom ook meer dingen als een geschenk ziet, waardoor je ook beter met de wereld om zou gaan. Ik denk als mensen er bewuster van zijn hoe mooi de natuur is ... als mensen daar bewuster van waren dan zouden we geen enorme olie-lekkages hebben in de zee, dan zouden niet allemaal diersoorten gewoon uitgestorven zijn -door ons! Ik bedoel als mensen bewuster daarvan zijn, dat zij daar ook beter mee om kunnen gaan. Als ze snappen hoe mooi iets is, en hoe kwetsbaar een persoon is. Als je erbij stil staat en misschien oplossingen kan vinden voor problemen die er zijn, door na te denken: dit is er en kunnen we hier wat aan doen. Als je gewoon niet blindelings aanneemt, maar stil staat bij 'waarom is dat dan zo?' Wat kan ik eraan doen? Betekenis zoeken die je niet in wiskundige formules vindt.

¹ De jongere zus van Lulu.

² Het eerste en tot nu toe enige microbiologische museum in de wereld, gevestigd op het terrein van Artis te Amsterdam (<https://www.micropia.nl/nl/>). De school van Lulu organiseerde kort voor dit gesprek een excursie naar Micropia voor de 3^e klassen.

³ Enkele meiden hadden voor of tijdens hun bezoek aan Micropia met dit diertje kennis gemaakt. Zij vonden het eng, maar ook wel spannend dat deze diertjes leven in de haarzakjes van je wimpers (<https://www.parool.nl/amsterdam/artis-opent-museum-over-vieze-kriebelbeestjes~a3759417/>).

⁴ Oudman, T., & Piersma, T. (2018). *De ontsnapping van de natuur. Een nieuwe kijk op kennis*. Amsterdam: Atheneum-Polak & Van Gennep.

⁵ Bij het hierna volgende gedeelte wordt de youtube-animatie <https://www.youtube.com/watch?v=3y1dO4nNaKY> bekeken en besproken.