

## Techniek en de zin van fundamentele wetenschap

# Tijd stroomt ook terug

Aan het einde van de negentiende eeuw bestond er één opvatting over tijd: de klassieke, Newtoniaanse theorie dat een deeltje met eenparige snelheid gelijke afstanden aflegt in gelijke tijdsintervallen. In de loop van de twintigste eeuw kwamen daar de relativiteitstheorie en de quantummechanica bij. Tijd stroomt helemaal niet meer. Maar wat heeft een technicus eigenlijk aan deze nieuwe theorieën? 'De huidige technologie is ondenkbaar zonder de fundamenteel nieuwe inzichten die de quantummechanica en de relativiteitstheorie ons verschaft hebben.'

- Dr.ir. A. de Graaf en drs. A. Steentjes -

### OMSLAGARTIKEL

**O**oit was tijd voor iedereen gelijk, maar dat veranderde met de komst van de relativiteitstheorie van Einstein. Hij ondergroef hiermee de eenheid in perceptie over tijd, die tot dan toe bestond tussen fysici en de buitenwereld. Deze stelling is van de prof.dr. D.G.B.J. Dieks, hoogleraar aan de Universiteit van Utrecht.

Hoe groot die kloof is, bleek uit de cursus 'Tijd in de Fysica' van Studium Generale van de TU Delft.

In drie lezingen, waarvan de eerste werd verzorgd door prof.dr. D.G.B.J. Dieks en de volgende twee door dr. J. Uffink, werd de natuurkundige opvatting van tijd toegelicht voor niet-fysici. Een pittige cursus. Uffink had gewaarschuwd dat de interpretatie van het begrip tijd, zeker vandaag de dag, in de natuurkunde anders is dan in de buitenwereld.

In ons dagelijks leven ervaren wij tijd als een stroom. Het wordt later en wij worden ouder of-

De auteurs zijn freelance journalisten.



Foto: Mentele.nl

Een eiorloper symboliseert een 'oude' opvatting over tijd.

wel de gebeurtenissen gaan een kant op, waarbij het onmogelijk is de gebeurtenissen te herhalen of de richting om te keren. Hieruit komt een sterk gevoel over verleden, toekomst en heden voort. De Britse filosoof J.M.E. McTaggart (1866-1925), die begin vorige eeuw een diepgaande studie aan tijd wijdde, noemde dit *objective becoming*: het verleden ligt vast, de toekomst is open en in het nu wordt de geschiedenis gemaakt.

### Zonsverduistering

Deze concepten spelen in het dagelijks leven een belangrijke rol. Uffink: 'Echter niet in de fysica. Allereerst is tijd voor een fysicus een label om gebeurtenissen of toestanden te ordenen. Voor fysici is de herhaalbaarheid van een gebeurtenis het belangrijkste en het concept van 'nu' negeren ze.' Als voorbeeld haalt Uffink de hemelmechanica aan waar de berekening van een zonsverduistering tegenwoordig nog volgens hetzelfde principe verloopt als twee eeuwen geleden.

Door de komst van de relativiteitstheorie en ook in zekere zin van de quantummechanica werd de kloof tussen dagelijkse en fysische tijd nog groter. De relativiteitstheorie ondermijnde het idee dat tijd

voor alle waarnemers met eenzelfde snelheid verstrekt. De quantummechanica ondergroef de zekerheid dat tijd ook in kleine systemen een rol speelt.

Maar waarom hanteert de fysica niet, net als iedereen, het concept van stromende tijd? Uffink: 'Daar zijn twee antwoorden op. Ons idee van tijd kan een projectie van de menselijke geest zijn en bestaat niet in de natuur. Of het bestaat wel en de natuurkunde is onvolledig en heeft tijd daarom nog geen plaats kunnen geven in haar theorievorming.'

### Demon

In de periode dat de wetten van Newton nog de natuurkunde regeerden, bestond er geen twijfel over tijd. Newton hanteert het voor iedereen begrijpbare concept van tijdsverloop. Zijn uitgangspunt was dat een deeltje met eenparige snelheid altijd gelijke afstanden aflegt in gelijke tijdsintervallen. Dieks: 'Dit tijdsinterval moet goed gedefinieerd zijn, zelfs bij de beweging van één enkel deeltje in een verder leeg heelal. Hieruit concludeerde Newton dat er behalve absolute ruimte (die onafhankelijk is van de materie) ook absolute tijd (eveneens onafhankelijk van de materie) bestaat.'

Uit Newtons opvattingen van tijd en ruimte vloeide tevens voort dat fysische gebeurtenissen nauwkeurig te voorspellen zijn. 'De wetten van Newton werden de basis van een deterministische beschrijving van de materiële werkelijkheid', zegt prof.dr.ir. F.A. Bais. Hij is hoogleraar theoretische fysica aan de Universiteit van Amsterdam. Deze opvatting was volgens Bais voor de Franse wiskundige Pierre Simon Laplace (1749-1827) reden om zijn befaamde demon te postuleren. Dat is een bovenmenselijk wezen dat, gegeven de beginwaarden van de dynamische variabelen van alle deeltjes, in staat zou zijn om de toekomstige toestand volledig te deduceren oftewel te voorspellen. Bais: 'Determinisme was toen niet slechts een religieus begrip (predestinatie), maar werd gezien als een wetenschappelijke waarheid.'

### Entropie

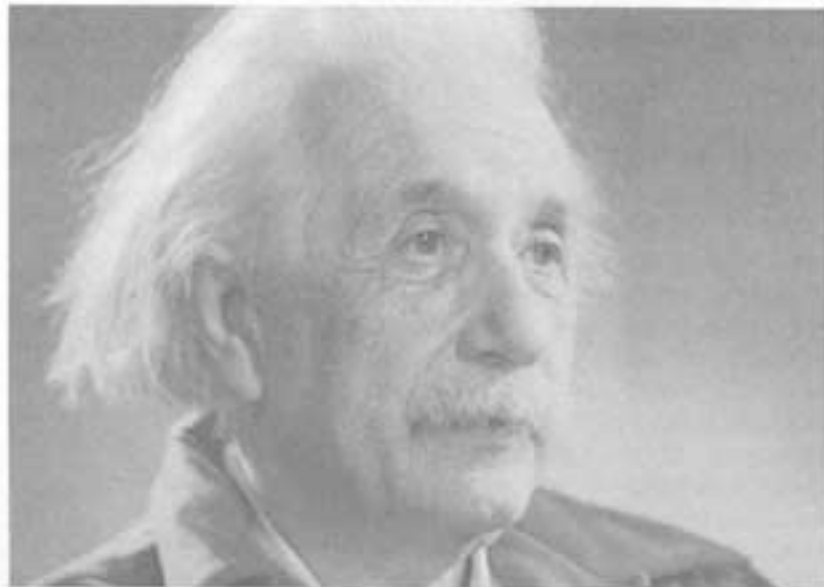
In de negentiende eeuw werd evenmin getornd aan de opvatting dat tijd een vaste parameter was. De tweede hoofdwet van de thermodynamica stelde zelfs dat tijd uitsluitend één kant opgaat, net zoals de mens dat in zijn dagelijkse leven ervaart. Deze wet zegt dat bij een proces van een gesloten systeem de entropie (wanorde) toeneemt of gelijk blijft. Bais: 'Het lijkt een zeer diepe uitspraak, maar de essentie is dat wanordelijke toestanden waarschijnlijker zijn dan ordelijke. Iedereen is vertrouwd met dit verschijnsel. Vullen wij in een glazen pot de onderste helft met bruine bonen en de bovenste met witte en gaan we vervolgens schudden dan zullen de bonen zich gaan mengen. Dat betekent dat de geordende toestand overgaat



Foto: Alan S. Wallace/Tony Stone Images

Een tornado in Texas. Sommige natuurverschijnselen verlopen zeer chaotisch.

'Albert Einstein ondergroef de eenheid in perceptie over tijd die bestond tussen fysici en de buitenwereld.'



in de meest ongeordende met maximale entropie. Als we doorschudden dan kan in principe de uitgangstoestand terugkeren, maar het is zeer, ik benadruk, zeer onwaarschijnlijk.'

De laatste decennia van de negentiende eeuw waren overigens niet bepaald een periode van twijfel in de fysica. De indruk bestond dat de natuurkunde haar voltooiing naderde. De mensheid leek te gaan zegevieren over de omringende materiële wereld. Toegegeven er waren nog wat losse eindjes, maar dat was een kwestie die de wiskunde kon oplossen. Verder was de algemene indruk dat alle waargenomen verschijnselen de toen bekende fundamentele wetten bevestigden. Bais: 'Het

heeft niet zo mogen zijn. In de eerste decennia van deze eeuw barstte de hel weer los en leek de chaos weer toe te slaan. Dit was aanleiding tot twee radicale keerpunten in ons denken over de natuur: de relativiteitstheorie en de quantummechanica.'

### Horloge

In 1905 publiceerde Albert Einstein het artikel *De elektrodynamica van bewegende lichamen*. Later is het onderwerp van dit artikel bekend geworden als de speciale relativiteitstheorie. Einstein toont aan dat onze intuïtieve opvatting, dat tijd voor iedereen even snel verloopt, hiaten kent. Het experiment met de horloges is bekend geworden als bewijs van de relativiteit van tijd. Een horloge dat meereist met een vliegtuig loopt langzamer, weliswaar slechts een enkele microseconde, dan een overeenkomstig exemplaar dat op de aarde blijft.

Van nu af aan was er sprake van een intuïtieve tijd, zoals gehanteerd in het dagelijkse leven, en een fysieke tijd. Volgens Bais ondermijnde de quantummechanica onze dagelijkse perceptie op een andere manier. Tijd heeft volgens hem een richting in macrosystemen, maar experimenten tonen aan dat de situatie anders ligt op microscopisch niveau. 'Op zeer kleine afstanden heeft de richting van de tijd geen objectieve betekenis meer. Als je een film terugdraait, van bijvoorbeeld een glas dat breekt, dan weet iedereen dat de gebeurtenissen de verkeerde kant op lopen. Zoom je echter in op een heel klein deel van het beeld, dan is het niet

langer evident of een film voor- of achteruit loopt. Hieraan zie je dat de fundamentele natuurwetten niet veranderen als je de tijdrichting omkeert. Die situatie is te vergelijken met die in de quantummechanica op het meest fundamentele niveau. Een ander groot verschil tussen de klassieke en quantum-beschrijving is de voorspelbaarheid. De quantummechanica is in essentie niet deterministisch. Een elektron, in een atomaire toestand met een welgedefinieerde energie, is niet gelokaliseerd, beschrijft geen exacte baan in de tijd, maar lijkt meer op een ladingswolk.'

### Chaostheorie

Hoewel de relativiteitstheorie en de quantummechanica Newtons concept van tijd veel betrekkelijker maakte, bleef de *arrow of time* van de tweede wet van de thermodynamica onaangetaast. 'Deze wet, met het klassieke tijdsbegrip, heeft nog grote impact gehouden op het denken van fysici en leverde deze eeuw de chaostheorie op', zegt prof.dr.ir. W. van Saarloos, directeur van het Lorentz-centrum en hoogleraar fysica in Leiden. Bij dynamische systemen bestaat de kans dat er na verloop van tijd chaos optreedt. In de chemie werd dit verschijnsel het eerst bekend. In 1958 ontdekte de Russische scheikundige B.P. Belousov in een vloeistof vreemde kleurgolven die elkaar onregelmatig afwisselden. Collega's hadden de indruk dat hij de proef niet zorgvuldig had uitgevoerd. Voor hen was de gedachte dat iets niet uitloopt op een vaste eindtoestand niet geloofwaardig. Van Saarloos: 'Nu weten wij dat dit een gevolg is van de chaostheorie en niet van onzorgvuldigheid bij een proefneming. Voor fysici, en ook voor ingenieurs, was dat eerst heel moeilijk te begrijpen. Lange tijd werd dit soort resultaten van proeven genegeerd; de mening heerste dat dit een gevolg was van storingen of ruis. Nu weten we dat sommige natuurverschijnselen toch chaotisch – en dus onvoorspelbaar – kunnen zijn, hoewel ze ook deterministisch zijn.'

### Volgorde

Fysici hebben naast onze intuïtieve opvatting van tijd in feite nieuwe concepten geplaatst. Eén van de gevolgen is dat de onzekerheid in de fysica groter is dan honderd jaar geleden. Niemand leeft nu nog in de veronderstelling dat grote vragen wel even opgelost zullen worden. De vraag is echter: wat merkt de ingenieur ervan in zijn dagelijks werk?

'Dat is altijd een moeilijk thema', vindt Dieks. 'Wat heeft een ingenieur aan de fundamentele wetenschap? Wat heeft de hele maatschappij eraan? De nazi's joegen veel geleerden die met fundamentele fysica bezig waren, zoals Einstein, het land uit. Einstein kwam terecht in Amerika. Hij en veel van zijn collega's bleken toen een rol te kunnen spelen in militaire projecten op het gebied van kernenergie. Iedereen weet hoe de oorlog is afgelopen. Nieuwe theorieën leiden eigenlijk altijd tot



praktische toepassingen. Alleen kan het lang duren. In elk geval is de hele digitale revolutie gebaseerd op de quantummechanica, waarvan de principes al in de jaren twintig bekend waren; dat beseffen de meeste technici niet altijd.'

Volgens Bais hoeft een werktuigbouwkundig ingenieur niet wakker te liggen van de Big Bang, want daar merk je niets van in je dagelijks leven. 'Anderzijds is het wel zo dat als wij een machine zouden moeten bouwen, uitgaande van de negentiende-eeuwse fysica, die hetzelfde kan als zo'n minuscule chip, wij daar zeker een grootschalig industrieel complex voor nodig zouden hebben. Je mag stellen dat de huidige technologie, die gebaseerd is op het manipuleren van materie, ondenkbaar is zonder de fundamenteel nieuwe inzichten die de quantummechanica en de relativiteitstheorie ons verschaft hebben.'

### Wisselwerking

Aan de andere kant benadrukt Bais dat de techniek heeft bijgedragen aan een verfijning en beter inzicht in de beide theorieën. Tussen techniek en wetenschap is volgens hem continu een belangrijke wisselwerking aan de gang. 'Francis Bacon zegt *wonder is the seed of knowledge*. Ik wil daar aan toevoegen: *knowledge is the seed of technology*. En vervolgens stelt de techniek je weer in staat om een nieuw soort metingen te doen – je waarnemingsgrenzen te verleggen – waardoor weer nieuwe kennis ontstaat. In de ontwikkeling van kennis zit een bepaalde volgorde. Eerst zijn er vragen en die leiden tot een hypothese. Vervolgens vinden er

Prof.dr.ir. F.A. Bais: 'Alle essentiële nieuwe inzichten hebben geleid tot nieuwe dimensies in onze technologie die op geen enkele wijze waren te voorzien.'

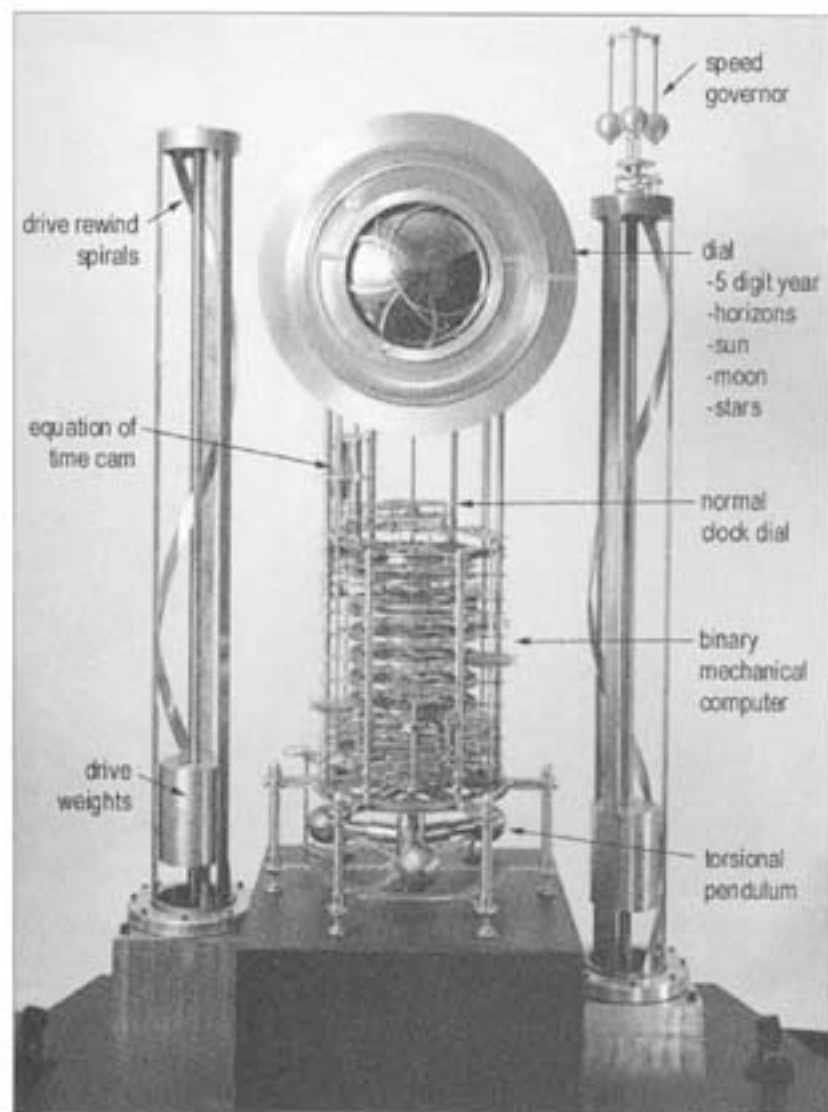


Foto: Bill Fine / The Long Now Foundation

Als tegenwicht voor onze hectische, op de korte termijn ingestelde westerse levenshouding begon de Amerikaanse computerdeskundige Daniel Hillis het Clock/Library Project, waarbij de nadruk niet ligt op snel en goedkoop maar op langzaam en beter. Hillis schreef in 1993: 'Ik stel voor een grote (denk aan Stonehenge) mechanische klok te maken, (...) die eens per jaar tikt, eens per eeuw slaat en de koekoek eens per millennium laat horen.' Op de foto een prototype dat sinds 1 januari loopt. De bedoeling is dat de klok 10 000 jaar meegaat. (zie: [www.longnow.org](http://www.longnow.org))

metingen rond deze hypothese plaats en deze resulteren in kennis. Die kennis mondt aan de ene kant uit in nieuwe vragen en aan de andere kant in praktische toepassingen. Om een toepasselijk voorbeeld te nemen: de atoomklok. Met deze klok kan de tijd nauwkeuriger gemeten worden dan met mechanische uurwerken. Deze metingen dragen weer bij aan een vergroting van de kennis. En natuurlijk aan het stellen van nieuwe fundamentele vragen.'

### Slinger

Van Saarloos ziet nog een rol weggelegd voor de ingenieur in een periode waar de onzekerheid over tijd en voorspelbaarheid toeneemt. Zij leveren een bijdrage om te voorkomen dat de boel ontspoord. 'Ruimte, tijd en gedrag liggen niet vast. Het zijn ingenieurs die op allerlei fronten bijregelen om te voorkomen dat er ongewenste situaties optreden.' De ingenieur heeft als taak die onzekerheden te beperken en te zorgen dat een systeem niet ontspoord. 'Een slinger is een goed voorbeeld. Nu weten we dat zelfs een dubbele slinger chaotisch gedrag kan hebben als wij hem vanuit een begin-toestand loslaten. Dat betekent dat het gedrag na enkele seconden al niet meer te voorspellen is. Maar dit onvoorspelbare gedrag treedt alleen op

als we de dubbele slinger niet meer beïnvloeden nadat we hem losgelaten hebben. Chaos kan worden voorkomen als wij de slinger kunnen beïnvloeden of bijregelen. Een thermostaat heeft eenzelfde soort bijregelfunctie. Met de technologie zijn heel veel productieprocessen op eenzelfde manier te corrigeren. Het echte probleem treedt pas op als in de praktijk bijsturen niet goed mogelijk is, zoals wanneer een boorstang op grote diepte chaotische dynamica vertoont.'

Van Saarloos vindt dat ingenieurs basiskennis moeten hebben over de fundamentele vragen van de fysica. 'Problemen met materiaal of slijtage kun je zelfs in mechanische processen voorkomen als je iets begrijpt van quantummechanica of de chaostheorie.' Saarloos wijst nogmaals op het voorbeeld van de boorstang. Voor geografisch onderzoek en de winning van olie en gas worden boorsystemen gebruikt die tot een diepte van tien kilometer kunnen komen. Op die diepte blijken de boorkop en de ermee verbonden apparatuur soms ongecontroleerde bewegingen te maken met als mogelijk gevolg: grote beschadigingen. Van Saarloos: 'De kilometerslange boorstang moet omhoog gehaald worden wat een omvangrijke en kostbare operatie is. Zulke verschijnselen veroorzaken grote financiële problemen voor de aannemer en technisch-wetenschappelijke moeilijkheden voor de betrokken werktuigbouwkundig ingenieur. Kennis van het principe van de chaostheorie kan helpen bij een goede analyse van hetgeen zich in de aardkorst afspeelt.'

### Snaartheorie

Eind negentiende eeuw was er één opvatting over tijd. Een eeuw later tellen wij er al minimaal drie. Kunnen wij in de 21<sup>ste</sup> eeuw nog meer tijdsopvattingen tegemoet zien of gaan we weer terug naar één theorie? Bais ziet een mogelijkheid dat het aantal fundamentele concepten afneemt. Hij houdt zich bezig met de ontwikkeling van de snaartheorie; een zoektocht naar de verbanden tussen materie en de combinatie ruimte-tijd op de kleinst denkbare afstandschaal. Bais: 'Eén van de indrukken die de snaren geven, is dat ruimte-tijd en materie emergente verschijnselen zijn. Dat houdt in: een manifestatie van collectief gedrag van een onderliggende quantumdynamica. Het is te vergelijken met het begrip temperatuur dat ontstaat in gas van moleculen. Naarmate wij de moleculaire schaal beter benaderen verliest het begrip steeds meer zijn betekenis. Dit soort inzichten heeft vaak grote invloed op onze kijk op de natuur als geheel en ons wereldbeeld. Op de korte termijn is echter verre van duidelijk wat de ingenieur aan dit onderzoek heeft. We moeten ons troosten met de gedachte dat tot nu toe eigenlijk alle essentiële nieuwe inzichten geleid hebben tot nieuwe dimensies in onze technologie die op geen enkele wijze waren te voorzien.'