

Samenvatting

De inspiratie voor onze uiteenzetting over de geschiedenis van ruimte en tijd is het boek van Robert DiSalle 'Understanding space-time'. Hij laat daarin zien hoe de begrippen ruimte en tijd steeds in wisselwerking stonden met de behoefte van de fysicus om verschijnselen in de natuur 'begrijpelijk' te krijgen.

– Zo wilde Newton begrijpen hoe de planeten konden bewegen onder invloed van versnellende krachten. Hij ontwierp daartoe een absolute ruimte en tijd.

– Zo wilde Einstein begrijpen hoe uniforme bewegingen begrensd werden door een constante lichtsnelheid. Hij ontdekte dat ruimte en tijd relatief zijn.

– Zo ontwierp Minkowski een ruimtetijd waarin ruimte en tijd volledig verweven raakten met elkaar. Er ontstond een volstrekt nieuw interpretatiekader.

– Met Minkowski's ruimtetijd kon Einstein verklaren hoe versnelde bewegingen tot stand kwamen in een gravitatieveld. De ruimtetijd kreeg nu een kromming.

Zie hier in een notendop hoe de begrippen ruimte en tijd in de loop van de geschiedenis van de fysica alsmar vruchtbaarder werden om fysische verschijnselen te begrijpen, te verklaren en te voorspellen.

Fysici kunnen nu onbekende werelden gaan verkennen. Zij worden daarbij geholpen door wiskundigen. Wat ze vaak niet beseffen is de rol van de filosofie.

Einstein had op die rol gewezen, maar een nuchtere fysicus gelooft daar niet in.

Wetenschap is voor wetenschappers en filosofie voor filosofen. Toch is het de moeite waard om stil te staan bij de ontwikkeling die begrippen als ruimte en tijd hebben ondergaan. De rol van de filosofie in de fysica is heel subtiel. Fysici moeten vaak even wennen aan nieuwe inzichten.

– Toen Hubble de uitdijing van het heelal puur op basis van observatie had ontdekt, was het aan de theoretische fysici om opnieuw via ruimte en tijd een verklarend model op te stellen. Het duurde zeker 30 jaar voordat kosmologen zich konden vinden in een oerknal model dat tevens het ontstaan en de evolutie van ruimte en tijd omvatte.

Laten we dit nog wat meer in detail nalopen.

Allereerst een algemene opmerking over de begrippen ruimte en tijd. Deze begrippen hebben een bijzondere positie in de fysica, zowel wetenschappelijk als filosofisch gezien. Zoals al eerder opgemerkt, ruimte en tijd zijn zeker geen factoren waarmee fysische verschijnselen te verklaren zijn. Want dat zou betekenen dat we een helder beeld hebben van wat ruimte en tijd zijn. Maar dat is nu juist het probleem. We weten nauwelijks waar ruimte en tijd voor staan. Er is een aparte tak van de filosofie die zich bezig houdt met de vraag: wat is ruimte, wat is tijd? Maar juist deze vraag wordt op tal van wijzen beantwoord door de filosofen. En dus komen we daar niet verder mee.

DiSalle volgt een ander spoor in zijn boek. Het is eigenlijk niet zo van belang om te weten wat ruimte en tijd zijn en waarvoor ze staan. Veel interessanter is de

vraag hoe ruimte en tijd in de fysica worden gebruikt. En dan zien we iets opmerkelijks. We zien dan hoe in de geschiedenis van de fysica de begrippen ruimte en tijd een deels wetenschappelijke, deels filosofische ontwikkeling hebben doorgemaakt. Deze begrippen lenen zich voor *begripsontwikkeling*. Dat zegt al iets over de status van deze begrippen. Ze vormen eerder een deel van ons denken over de natuur dan dat ze een specifieke inhoudelijke betekenis hebben. Bij ruimte en tijd denken we in eerste instantie aan een meetlat waarmee we de ruimte opmeten en een klok waarmee we de tijd meten. In die zin zijn ruimte en tijd vooral praktische begrippen; ze verwijzen naar een manier van meten. Maar vanaf Newton worden ruimte en tijd ook gebruikt als theoretische begrippen. En dan gebeurt er iets opmerkelijks. Dan blijkt dat we deze begrippen kunnen gebruiken om verschijnselen in de kosmische natuur ‘begrijpelijk’ te krijgen. Ruimte en tijd gaan dan functioneren als een interpretatiekader, d.w.z. als een kader waarmee en waardoor we fysische verschijnselen kunnen gaan interpreteren. Aldus krijgen deze begrippen voor de fysica een filosofische functie. Ze hebben het vermogen om ons *denken* over de natuur te verhelderen en aan te scherpen. Met als resultaat dat er nieuwe inzichten en nieuwe theorieën kunnen ontstaan waarmee we allerlei verschijnselen beter gaan begrijpen en zelfs nieuwe verschijnselen kunnen voorspellen. Ruimte en tijd worden zo een faciliterend kader voor ons *begrip van de natuur*.

Filosofie heeft in het denken over ruimte en tijd vooral een motiverende rol. Filosofie kan fysici motiveren om creatief en innovatief te werk te gaan. Daartoe biedt zij *begripsontwikkeling*, *gedachte-constructie* en *interpretatiekader* aan als gereedschap.

– *Begripsontwikkeling* is de basis. We zien hoe de begrippen ruimte en tijd in de loop van de geschiedenis van de fysica kunnen veranderen. Bij Newton was er sprake van een absolute tijd en ruimte, bij Einstein werden ruimte en tijd relatief, bij Minkowski versmolten ze tot een nieuw begrip ruimtetijd, bij Einstein werd dit begrip vervolgens ontwikkeld tot gekromde ruimtetijd en bij de uitdijning van het heelal kregen ruimte en tijd weer een nieuwe betekenis.

– *Gedachte-constructie* is de uitwerking. Het gaat hier vooral om de bruikbaarheid van ruimte en tijd in wiskundige bewerkingen. Zo kon Newton ruimte en tijd toepassen als perfect gelijkmatige coördinaten, Einstein slaagde er in om ruimte en tijd via de Lorentz transformatie om te vormen tot relatieve grootheden, waarna Minkowski met behulp van niet-Euclidische meetkunde ruimte en tijd liet functioneren als een wereld van gebeurtenissen. Vandaag de dag worden ruimte en tijd onderworpen aan weer andersoortige bewerkingen. Het einde is nog niet in zicht.

– *Interpretatiekader* is de toets. *Begripsontwikkeling* en *gedachte-constructie* zijn op zich al de moeite waard om mee te werken. Maar uiteindelijk zal de fysicus moeten laten zien dat zijn werk ook vruchtbaar is voor de fysica. Uiteindelijk gaat het er om dat het inzicht in fysische verschijnselen er door verrijkt en

verhelderd wordt. Pas dan kunnen de begripsontwikkeling en gedachteconstructie als succesvol worden beschouwd.

Nemen we om te beginnen de theorie van Newton. In deze theorie gaan de begrippen van ruimte en tijd een extra rol spelen. Behalve dat ze een beschrijving geven van bewegingen door ruimte en tijd, gaan ze nu ook een ondersteunend deel uitmaken van de theorie waarmee Newton de wereld adequaat wil begrijpen. Ze krijgen een extra functie als interpretatiekader. Toen Newton nadacht over zijn bewegingswetten, had hij behoefte aan een basiswet waarmee hij twee soorten bewegingen kon onderscheiden: de uniforme beweging en de versnelde beweging. De basiswet werd de eerste bewegingswet, de wet die vastlegt wat een uniforme beweging is. Daartoe dienden de absolute ruimte en de absolute tijd als ondersteunende begrippen. Het ging hier niet om inhoudelijke vaststellingen, maar om bruikbare definities.

Het vaststellen van heldere definities is vooral een filosofische aangelegenheid. Het gaat om een conceptuele invulling die eerst en vooral het heldere inzicht dient. Wat moeten we verstaan onder ruimte en tijd *opdat* deze begrippen ons helpen om helder te kunnen denken over de natuur? Dat is nog niet zo simpel. Het vraagt van de fysicus dat hij terugkeert naar zijn basisbegrippen. Er zijn niet veel fysici die dat beheersen. Newton en Einstein zijn de weinige voorbeelden die ons laten zien hoe zo iets als begripsontwikkeling kan ‘werken’.

In het geval van Newton zien we hoe er een wisselwerking is tussen de eerste bewegingswet en de definities van ruimte en tijd. Wil de wet van uniforme krachten-vrije bewegingen enige nuttige toepassing krijgen, dan is het ‘bestaan’ van een universele ruimte en een universele tijd wel zo handig. En omgekeerd, willen de definities van ruimte en tijd enige betekenis krijgen, dan is het concept van een uniforme beweging wel zo belangrijk. Want daardoor worden ruimte en tijd ‘bestaanbaar’ als eenheden die zich gelijkmatig in alle richtingen doorzetten (de ruimte) of zich gelijkmatig in één richting ontwikkelen (de tijd).

Stappen we over naar de theorie van Einstein. De begrippen van ruimte en tijd gaan ook daar een extra rol spelen. Uiteraard blijven ze operationeel als meetinstrumenten. Maar nu functioneren ze in een theorie die wordt beheerst door twee postulaten: het relativiteitsbeginsel dat geldt voor uniforme bewegingen en het beginsel van de constante lichtsnelheid die in eerste instantie een nieuwe definitie oplevert van ‘gelijktijdigheid’. Het is deze definitie die de begrippen van ruimte en tijd op de proef stelt. Bestaat er wel zo iets als een gemeenschappelijke tijd? En bestaat er wel zo iets als een gemeenschappelijke ruimte? Dat was het probleem waar Einstein zich voor gesteld zag. Wilde hij kunnen werken met zijn twee postulaten, dan leek het nodig om kritisch te kijken naar de definities van ruimte en tijd zoals die door Newton waren opgesteld. Bovendien was Einstein erg gecharmeerd van de theorie die Maxwell had

opgesteld ten aanzien van elektromagnetische verschijnselen. Hoe was deze theorie in te passen in zijn postulaten-theorie?

Ook hier is het vaststellen van heldere definities een filosofische aangelegenheid. Het gaat om een conceptuele invulling die eerst en vooral het heldere inzicht dient. Wat moeten we verstaan onder ruimte en tijd *opdat* deze begrippen ons helpen om helder te kunnen denken over de natuur? Zoals gezegd, dat is nog niet zo simpel. Het vraagt van de fysicus dat hij terugkeert naar zijn basisbegrippen. Einstein doet dat door het begrip tijd aan een kritisch onderzoek te onderwerpen. Zijn definitie van gelijktijdigheid behelst een heldere bijdrage van het licht aan onze waarneming: *er is sprake van gelijktijdigheid wanneer het licht gelijke afstanden in gelijke tijden aflegt*. Let wel, het gaat hier om een definitie. Er wordt niet gezegd *dát* het licht gelijke afstanden in gelijke tijden aflegt. Er wordt enkel gezegd dat wanneer het licht dat doet, dat er dan sprake is van gelijktijdigheid. Hoe we het gelijktijdig zijn van gebeurtenissen moeten ‘begrijpen’ en toepassen, wordt hiermee vastgelegd.

Einstein’s definitie van gelijktijdigheid heeft enorme consequenties gehad. Het leidde hem naar de relativiteit van ruimte en tijd in uniform bewegende objecten. Uiteraard was Einstein’s opgave veel ingewikkelder. Nemen we zijn gedachte-experiment van perron en trein weer in gedachten, dan zien we dat hij werkte met twee referentiestelsels die hij bij elkaar wilde brengen. Hij wilde begrijpen hoe de twee waarnemers (de man op het perron en de man in de trein) dezelfde gebeurtenissen (de twee bliksemflitsen) anders konden waarnemen. De een zag ze gelijktijdig, de ander niet. Einstein schrijft over zijn opgave:

“Is er een relatie tussen plaats en tijd van de afzonderlijke gebeurtenissen ten opzicht van beide referentiestelsels denkbaar met de eigenschap dat *iedere lichtstraal* ten opzichte van het perron en ten opzichte van de trein zich voortplant met snelheid c ? Deze vraag leidt tot een zeer duidelijk bevestigend antwoord voor de ruimte-tijd-grootheden van een gebeurtenis bij *overgang* van het ene referentiestelsel naar het andere.”¹

Het moet gezegd, Einstein gebruikt hier een sterk geconcentreerde formulering van zijn opgave. Maar wie het citaat meerdere malen leest zal gaandeweg begrijpen waar het hem nu precies om ging. Hij zocht een transformatiewet die het mogelijk maakte dat wetten in het ene stelsel geldig bleven in het andere stelsel, zoals Galilei’s relativiteitsbeginsel eiste. Het ging hier in principe om uniform bewegende stelsels. En tegelijk wilde hij voldoen aan de eis van een constante lichtsnelheid. Want daarmee kwam tot uitdrukking dat gelijktijdigheid een relatief begrip was. Het resultaat is algemeen bekend; de transformatiewet bestaat uit een nieuw soort transformatie voor ruimte en tijd. De Galilei

¹ Zie Einstein, *Relativiteit*, Aula Paperback 130, Het Spectrum 1988, pag. 26. Cursivering in citaat zijn mijnerzijds. Ook heb ik enige aanpassingen gemaakt. Referentiestelsel i.p.v. referentielichaam, en perron i.p.v. spoorbaan.

transformatie wordt ingeruild voor de Lorentz transformatie. Ruimte en tijd worden grootheden die kunnen krimpen en vertragen.

De oplettende lezer zal waarschijnlijk hebben opgemerkt dat we de benaderingen van Newton en Einstein hier vooral hebben beschreven met behulp van de twee filosofische gereedschappen begripsontwikkeling en gedachte-constructie. Maar wat leverden deze bewerkingstappen op? Wat was het uiteindelijk resultaat in de vorm van ruimte en tijd als interpretatiekader?

Newton ging met zijn basis materiaal – de eerste bewegingswet en de definities van ruimte en tijd – aan de slag om een wereldsysteem op te bouwen en daarmee de versnelde bewegingen van planeten, manen en kometen te verklaren en te voorspellen. (Zie par. 2.g.). Hij was daarmee zo succesvol dat zijn theorie (inclusief de definities van de begrippen ruimte en tijd) twee eeuwen lang als standaard gold voor al het natuurwetenschappelijk onderzoek. Zo werd de lichtsnelheid nog als relatief beschouwd tegen de achtergrond van een hypothetische ether.

Einstein had mindere vooruitzichten dan Newton toen hij zijn speciale relativiteitstheorie opstelde. Zijn nieuwe definities van ruimte en tijd en zijn gedachte-constructie via de Lorentz transformatie werden bij lange na niet gedeeld door zijn collega fysici. De theorie werd algemeen beschouwd als een speculatieve theorie, d.w.z. als een theorie die mogelijk zou kunnen dienen als een nuttig interpretatiekader, maar voorlopig nog niet.² Het waren vooral toepassingen in de toekomst die de theorie al of niet zijn bruikbaarheid als fysische theorie zouden verlenen. Te noemen zijn in dit verband de uiterst succesvolle toepassing in deeltjesversnellers 20 tot 30 jaar later.

Zoals eerder opgemerkt, vandaag de dag worden ruimte en tijd onderworpen aan weer andersoortige bewerkingen. Het einde is nog lang niet in zicht. Maar het begin blijft een leerzaam gebeuren. Het is bijvoorbeeld fascinerend om te zien hoe de begrippen ruimte en tijd zich leenden voor de ontwikkeling van de zg. Minkowski ruimtetijd. Minkowski was een deskundige op het gebied van de niet-Euclidische wiskunde. Hij liet zien hoe de referentiestelsels waar Einstein mee had gewerkt, meetkundig in elkaar pasten. Daarbij ontdekte hij een nieuwe geometrie, de geometrie van de ruimtetijd. Het ging hier duidelijk om een gedachte-constructie.

De ruimtetijd was een logisch gevolg van de speciale theorie van Einstein. De relativistische effecten die Einstein had ontdekt werden nu verklaard vanuit een bijzondere samenhang tussen ruimte en tijd. Minkowski introduceerde het nieuwe begrip ‘ruimtetijd’, een begrip dat de fysica ingrijpend zou gaan beïnvloeden. Maar wat moesten we dan verstaan onder dat begrip ruimtetijd?

2 Einstein heeft nooit de Nobelprijs gekregen voor zijn speciale noch voor zijn algemene relativiteitstheorie. Dat is een teken aan de wand.

Het ging Minkowski om een nieuwe wereld die door de samenhang van ruimte en tijd werd gecreëerd, *de wereld van gebeurtenissen*. Het begrip ‘gebeurtenis’ kwam centraal te staan, een begrip dat tot dan toe aan de inzichten van fysici was ontsnapt. Het is een merkwaardig maar ook een vruchtbaar begrip.

Minkowski introduceerde een nieuw interpretatiekader passend bij de gedachte-constructie die hij had uitgewerkt via een niet-Euclidische ruimtetijd geometrie. In zijn visie is de bestudering van verschijnselen in de natuur niet gebaat bij een aparte ruimte en een aparte tijd. Het gaat er om dat fysici een diepere dimensie onder ruimte en tijd gaan verkennen. Dit is duidelijk een gewaagde visie, maar Minkowski had wel een punt. Ruimte en tijd lenen zich voor wiskundige gedachte-constructies. Dat is het bijzondere aan deze begrippen. Dat is ook waarom filosofische benaderingen vruchtbaar kunnen zijn. Ze kunnen de fysicus ondersteunen in nieuwe ideeën en gedachte-constructies die mogelijk leiden tot succesvolle interpretatiekaders.

Deze samenvatting afsluitend kunnen we stellen, dat het vooral Minkowski’s begrip van ruimtetijd is geweest dat het denken over ruimte en tijd in een stroomversnelling heeft gebracht. Terugkijkend in onze beschouwing is dan ook veel aandacht besteed aan dit nieuwe begrip ‘ruimtetijd’. Het is ontstaan uit de begrippen ruimte en tijd, maar heeft gaandeweg een steeds belangrijker rol gekregen in de ontwikkeling van de moderne fysica. Voor de filosofie van ruimte en tijd is het een begrip dat de filosoof op nieuwe gedachten kan brengen. Gedachten waarmee de fysicus zijn voordeel zou kunnen doen.

Zoals Einstein eens heeft beweerd:

“Ruimte en tijd zijn modi van denken, geen condities waarin we leven”.

Zo kunnen we ook stellen:

“Ruimte en tijd zijn de omhulling van een diepere dimensie, die ons laat weten dat we de diepte van de wereld waarin we leven, nog lang niet kennen”.