

# Speciale relativiteitstheorie

Door: Sil Rutten V3D Eckartcollege Juli 2016

Wat was de eerste gedachte die door je heen schoot toen je de titel zag? Was het: "wat is dat nou weer?". En wat denk je als ik zeg  $E = mc^2$ ? Waarschijnlijk ken je deze beroemde formule van de natuurkundige Albert Einstein. Ook de speciale relativiteitstheorie is bedacht door deze man en de formule komt uit deze theorie. Einstein heeft eigenlijk twee theorieën bedacht, de algemene relativiteitstheorie en de speciale relativiteitstheorie. Waarom ga ik dan meteen de speciale uitleggen, en niet de algemene? Dat komt omdat de speciale relativiteitstheorie veel makkelijker (maar nog steeds lastig) te begrijpen is dan de algemene. De algemene theorie heeft meer betrekking op het dagelijks leven, maar om die te begrijpen is veel meer uitleg nodig die ik zelf ook niet begrijp. Om de uitleg over de speciale relativiteitstheorie te beginnen zal ik allereerst wat vertellen over Albert Einstein, daarna vertel ik meer over inertiaalstelsels, tijddilatatie en gelijktijdigheid.

## Albert Einstein

Iedereen kent Albert Einstein als de geweldige wetenschapper die heel veel geweldige dingen heeft gedaan. Maar als je daarna vraagt om iets te noemen behalve de formule  $E = mc^2$  vallen de meeste mensen toch stil. Dus wat heeft deze bekende natuurkundige eigenlijk bereikt?

Einsteins kon heel goed buiten de kaders denken. In zijn tijd was het de klassieke mechanica waarin de belangrijkste theorieën werden beschreven. De mensen van toen geloofden dat je alle bewegingen hiermee kunt verklaren. Het is logisch dat mensen dit toen geloofden, omdat deze theorie klopt wanneer er met snelheden wordt gewerkt die veel kleiner zijn dan de lichtsnelheid.

Ik moet er dus nu bij zeggen dat al de uitleg die nog komt totaal nutteloos is in ons leven, omdat we nooit dicht bij de lichtsnelheid komen in onze vervoersmiddelen. Maar Einstein bewees wel het ongelijk van de klassieke mechanica door met heel grote snelheden of zwaartekrachten te gaan werken. Omdat er ook in deze grote maat regels zijn, heeft Einstein deze opgesteld in de vorm van de algemene en speciale relativiteitstheorie.

Ook heeft Einstein nog meer theorieën bedacht, maar die wil ik hier niet allemaal noemen omdat ik ze goed wil uitleggen als ik ze hier noem en dat kan ik niet. Ik heb alleen maar onderzoek gedaan naar de relativiteitstheorieën. Als je wil weten wat Einstein heeft uitgevonden, kun je hier naartoe gaan:

[https://en.wikipedia.org/wiki/Albert\\_Einstein#Scientific\\_career](https://en.wikipedia.org/wiki/Albert_Einstein#Scientific_career)

Er is een hele lange lijst gemaakt van alle theorieën die Einstein heeft bedacht. Zelf heeft hij maar een paar uitvindingen gedaan en die zijn niet heel bijzonder. Hij was dus vooral een theoreticus.

Maar wat is dan het verschil tussen de algemene en speciale relativiteitstheorie? Zoals ik al eerder heb gezegd, is de algemene relativiteitstheorie veel ingewikkelder. Dit komt doordat die de zwaartekracht meerekent. Eigenlijk is dit het enige grote

verschil. In de speciale relativiteitstheorie wordt de zwaartekracht niet meegerekend, deze theorie geldt alleen in inertiaalstelsels. Wat dit zijn wordt uitgelegd in het volgende deel van dit artikel, onder het kopje: "Inertiaalstelsels". En waarom wordt de moeilijke theorie dan algemeen genoemd? Dit komt doordat er op de meeste plaatsen wel een zwaartekracht werkt. Hier op aarde is dat zeker zo en in de ruimte zal er meestal wel een (zwakke) zwaartekracht van een ster op je werken. In het algemeen geldt dus de algemene theorie.

## Inertiaalstelsels

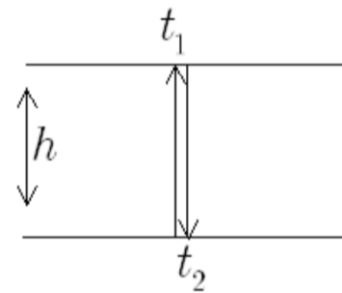
Omdat de speciale relativiteitstheorie alleen maar geldt in inertiaalstelsels, is het handig om te begrijpen wat deze precies inhouden. Om het simpel te houden, een inertiaalstelsel is een plek waarop de eerste wet van Newton geldt. Deze wet houdt in dat, als er geen kracht op een voorwerp werkt, dit voorwerp ofwel niet beweegt of dat het voorwerp zich met een constante snelheid vooruit beweegt. Als je stilstaat ben je bijvoorbeeld een inertiaalstelsel, omdat je niet beweegt doordat er geen kracht op je werkt. Dit geldt ook voor een auto met een constante snelheid. Maar zodra de auto van snelheid verandert, is er geen inertiaalstelsel meer. Nu begrijp je waarschijnlijk waarom deze theorie alleen in speciale gevallen werkt. Er is altijd wel een zwaartekracht, of luchtweerstand, of een andere kracht. Als je een bal gooit zal hij in het begin recht vooruit gaan, maar daarna wordt hij naar de aarde getrokken. Een bal is dus geen inertiaalstelsel.

Een discussiepunt hierover is dat je bij het voorbeeld met de auto ook kan zeggen dat de aarde draait en de auto stilstaat. Als je logisch nadenkt zal je tot de conclusie komen dat dit niet klopt, omdat de waarnemer (die ook op de aarde staat) mee zal moeten draaien met de auto, waardoor de auto ten opzichte van de waarnemer niet van positie verandert. Het gaat bij dit voorbeeld echter om de theorie die erachter ligt. Om erachter te komen of een stelsel beweegt, moet jij in een vast stelsel staan. Dit leidt ertoe dat er één uniek stelsel moet zijn, waarvan de positie helemaal vaststaat en dat niet kan bewegen. En dit kan niemand bewijzen, omdat je niet weet of je in een bewegend of een stilstaand inertiaalstelsel zit. Misschien heeft deze alinea een heleboel vragen opgeroepen en dit is ook niet heel belangrijk, maar ik vond dat ik dit wel even moest melden.

Het is belangrijk om te weten dat er dus geen absolute ruimte is! Alles is relatief ten opzichte van elkaar. Om Einsteins speciale relativiteitstheorie te geloven zijn er twee dingen belangrijk: Nummer 1 is dat in elk inertiaalstelsel dezelfde natuurwetten gelden. Dit is niet heel moeilijk om te geloven, maar nummer 2 wel. Dat is namelijk dat de snelheid van licht onafhankelijk is van de snelheid waarmee je reist. Dit is raar, omdat als je loopt terwijl een auto je inhaalt, je hem langzamer voorbij ziet komen dan wanneer je stilstaat. Jouw snelheid "vertraagt" dus de andere auto. Met licht is dit dus niet zo. Wanneer je stilstaat beweegt het licht met 300.000 km/s. Maar als je dan gaat rijden, zal het nog steeds even snel gaan. Anders zou je op een gegeven moment het licht kunnen inhalen en daardoor terug in de tijd gaan.

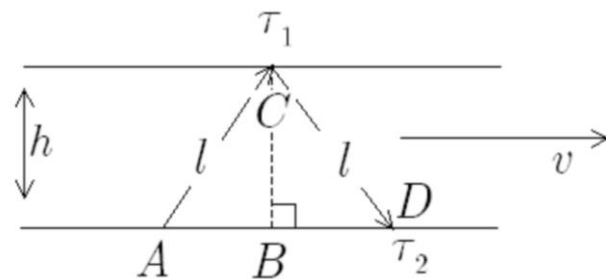
## Tijddilatatie

Stel je voor dat je een rijdende trein hebt. In de trein staat een persoon met een laser voor zich. Als hij de laser aanzet schijnt deze omhoog naar een spiegel op het plafond. Hierin kaatst het licht terug naar de grond. Het licht heeft dan twee keer de hoogte van de trein gereisd. Als we de hoogte dan  $h$  noemen, heeft het dus  $2h$  afgelegd. Licht gaat natuurlijk met de lichtsnelheid ( $c$ ), dus de tijd die het licht erover heeft gedaan is  $t = 2h/c$ . Dit moeten we nog kwadrateren, omdat dat voor een later deel handiger is. Je krijgt  $t^2 = 4h^2 / c^2$  (formule 1).



Figuur 1. In de trein

Stel nu dat er buiten de trein ook een waarnemer op het perron staat. Hij ziet de laser een andere weg afleggen, namelijk die in figuur 2. We noemen deze afstand  $2l$ . De tijd is dan  $t = 2l / c$ . Met kwadrateren krijg je  $t^2 = 4l^2 / c^2$ . Nu is  $l$  niet heel handig, dus dit willen we omschrijven met de Stelling van Pythagoras. Als je de



Figuur 2. Op het perron

snelheid van de trein ( $v$ ) vermenigvuldigt met de tijd, krijg je de afstand van A naar D. Als je dit deelt door twee, krijg je de afstand van A naar B en dat willen we. De formule wordt dan:  $l^2 = h^2 + (vt/2)^2$ .

We schrijven  $(vt/2)^2$  even uit, om het makkelijker te maken.  $(vt)^2 / 2^2 = v^2t^2 / 4$ . Nu kunnen we door de Stelling van Pythagoras  $t^2 = 4l^2 / c^2$  omschrijven in  $t^2 = 4(h^2 + (v^2t^2/4)) / c^2$ . Dit kunnen we makkelijker maken.  $t^2 = (4h^2 + v^2t^2) / c^2$ . Om deze formule makkelijker te kunnen vergelijken met formule 1, willen we alleen  $4h^2$  aan één kant bij allebei de formules.

$$\text{Formule 1: } t^2 = 4h^2 / c^2 \quad \text{↳} \quad c^2t^2 = 4h^2.$$

$$\text{Formule 2: } t^2 = (4h^2 + v^2t^2) / c^2 \quad \text{↳} \quad c^2t^2 = 4h^2 + v^2t^2 \quad \text{↳} \quad c^2t^2 - v^2t^2 = 4h^2.$$

We hebben nu:

$$4h^2 = c^2t^2$$

$$4h^2 = c^2t^2 - v^2t^2$$

Valt je al iets op? Juist, de tijd is anders in de verschillende inertiaalstelsels, tenminste relatief vanuit een inertiaalsysteem. De stappen die we hierboven hebben gevolgd zijn precies wat Einstein ook heeft gedaan. En dit was ook zijn conclusie. Hoe kan dit nu? Einstein concludeerde dat hoe sneller je reist, hoe korter de tijd is voor jou. Dus als je een tweeling hebt, en je zet er één in een ruimteschip met bijna de lichtsnelheid en je laat de andere op de aarde achter, zal je na 10 jaar zien dat het reizende deel van de tweeling jonger is dan het deel dat op de aarde is achtergebleven. Maar dit werkt alleen merkbaar bij snelheden dicht bij de lichtsnelheid. In ons leven maakt het dus maar een paar microseconden uit of je met de auto of met de fiets gaat.

Er is zelfs een factor waarmee je de relativiteit van tijd kan bepalen. Deze Lorentzfactor is niet bedacht door Einstein, maar door Hendrik Lorentz. Dus als de Lorentzfactor ( $\gamma$ ) bijvoorbeeld 5 is, en je laat de tweeling 10 jaar reizen, dan is de een 10 jaar ouder geworden en de ander  $10 / 5 = 2$  jaar ouder geworden.

## Gelijktijdigheid

Hier komt nog een voorbeeld met de trein: Je hebt een rijdende trein met iemand op het perron en iemand in de trein. Op het moment dat beide uiteindes van de trein even ver van degene op het perron af zijn, komen er twee bliksemflitsen op de uiteindes van de trein. De persoon op het perron concludeert dat de bliksemflitsen exact tegelijk zijn gekomen, omdat het licht exact dezelfde afstand met dezelfde snelheid moet afleggen. De persoon in de trein concludeert iets anders. Als de trein naar rechts beweegt, hoeft het licht van de rechterflits dus minder afstand af te leggen dan de flits aan de linkerkant. Hierdoor ziet de persoon in de trein eerst de rechterflits, en daarna pas de linkerflits. Daarom concludeert dit persoon dat de bliksemflitsen na elkaar zijn gebeurd. Wie heeft er dan gelijk?

Einstein vertelt ons dat alle twee de mensen gelijk hebben. Zoals ik al in de vorige alinea heb besproken, is tijd relatief. Dus ook gebeurtenissen kunnen voor verschillende inertiaalstelsels op verschillende tijden gebeuren.

## Conclusie

Het belangrijkste wat Einstein heeft ontdekt is dus dat tijd relatief is. Maar waar is nu de formule  $E = mc^2$  voor? De speciale relativiteitstheorie bestaat uit verschillende delen, tot nu toe is alleen maar het deel dat over tijd gaat besproken. Er is ook een deel dat gaat over massa en energie. Volgens de speciale relativiteitstheorie is de totale energie die iets (een mens, een bal, een auto) bezit gelijk aan  $E = \gamma mc^2$ . In deze formule staat dus weer een Lorentzfactor. Dat betekent dat in verschillende inertiaalstelsels verschillende hoeveelheden energie voorkomen. In het project heb ik nog een heleboel formules omgerekend, en als we  $\gamma$  anders schrijven krijgen we een nieuwe formule:  $E = mc^2 + (mv^2)/2$ .  $mc^2$  staat hierin voor de rustenergie. Als een voorwerp stilstaat zal dit dus de energie die het voorwerp bezit zijn.  $(mv^2)/2$  is de kinetische energie.  $v$  is de snelheid van het voorwerp. Als iets dus sneller beweegt, zal het meer energie bevatten. Dit zien we ook bij de Lorentzfactor. Als je een hogere factor hebt, is er meer relativiteit. Einstein (en Lorentz) hebben met deze formules dus een heleboel verbanden aan het licht gebracht. Ik hoop dat jullie nu wat beter weten wat de relativiteitstheorie inhoudt en nog één tip: Probeer het niet aan andere mensen uit te leggen, dat gaat sowieso fout. Of ze hebben nog meer vragen die je niet kan beantwoorden, of ze snappen het gewoon niet. En ik denk dat deze uitleg bij jullie ook voor veel vragen heeft gezorgd. Veel denkplezier!

## Bibliografie

Taylor, J. R. (2005). Special Relativity. In J. R. Taylor, *Classical Mechanics* (pp. 595-680). California: University Science Books.

Vries, P. d. (2009). *Project Speciale Relativiteitstheorie: grondbeginselen*. Bureau Talent.