

Wat is nou eigenlijk het relatieve van de relativiteitstheorie? Wel, iedereen is het vast met mij eens dat er in het hele universum slechts één enkele echte IK bestaat. Wij zien ALLES vanuit het eigen perspectief. Simpel gezegd: we kijken met onze eigen ogen. Vanuit het eigen perspectief ben je nooit in beweging, maar alles komt aan jou voorbij. Als je autorijdt, gaat de straat met een bepaalde snelheid onder je door, maar jij zit zelf gewoon stil. Als wij elkaar passeren ben jij wat mij betreft de voorbijganger, maar wat jóú betreft ben ik dat. Vanuit het eigen perspectief is iedereen zelf altijd een zogeheten stilstaande waarnemer.

Stel nu dat wij elkaar al toeterend met enige snelheid passeren. We horen allebei dat de eigen toeter strak van toon is, maar die van de ander gaat van hoog naar laag (dopplereffect). We doen wat betreft de toeters volkomen tegenovergestelde waarnemingen en we worden het er nooit over eens welke toeter nou de goeie of de rare is. Het ligt ook helemaal niet aan die toeters, maar aan het passeren. De *voorbijkomende* toeter lijkt zich voor de stilstaande waarnemer vreemd te gedragen en dat is vanuit het eigen perspectief voor beiden gelijk.

Nu werd in de jaren 1880 iets vreemds ontdekt. Terwijl de aarde om de zon gaat met een behoorlijke snelheid (30 km/s = 107 000 km/h = 8½ diameter per uur) bleek het geen enkel verschil te maken of we de snelheid van het licht nou vooruit of achteruit meten of in welke richting dan ook. Dat is raar. En anders dan wanneer je bijvoorbeeld al fietsend een balletje tegen je aan krijgt, want dat komt immers van voren harder aan dan van achteren. Niemand begreep het.

In 1905 kwam Albert Einstein ten tonele. Sir Isaac Newton had in zijn *Regulæ Philosophandi* (wetenschapsregels) duidelijk gemaakt dat je moet afleiden uit vastgestelde waarheden, zoals waargenomen verschijnselen, en als iets kennelijk altijd gebeurt generaliseer je dat tot een natuurwet of zo. Albert Einstein deed dat. Hij plukte geen veronderstellingen uit de lucht, maar hij trok conclusies uit wat hij noemde ervaringsfeiten. Dáárom zijn zijn theorieën zo sterk!

Dat vreemde meetresultaat van steeds dezelfde lichtsnelheid is natuurlijk ook een ervaringsfeit en waar iedereen probeerde het te "verklaren" met veronderstellingen redeneerde hij: *Als het nu eenmaal zo is dat we altijd dezelfde lichtsnelheid meten dan is het kennelijk een constante*. En dat generaliseerde hij tot:

De lichtsnelheid is een fundamentele natuurconstante die hoe dan ook wat dan ook voor iedereen dezelfde waarde heeft, ongeacht de onderlinge snelheid.

Dat gebruikte hij verder als uitgangspunt. Het vreemde meetresultaat is hiermee natuurlijk nog niet verklaard, maar het impliceert het volgende. Als wij elkaar passeren met zeg de helft of drie kwart van de lichtsnelheid, dan nóg geldt voor jou en voor mij precies dezelfde lichtsnelheid, óók als we één en dezelfde lichstraal meten. Dat is nog steeds raar. Snelheid is echter een verplaatsing in een bepaalde tijd en met de lichtsnelheid als natuurconstante gaat dáár nu het verschil zitten. Wij doen niet meer dezelfde tijdwaarnemingen!

Tijd is *niet* iets universeels dat als het ware over ons heen hangt, maar tijd is individueel. Moeder Natuur heeft géén masterklok. **DÉ** tijd bestaat niet. We hebben allen onze eigen tijd en die ervaren we vanuit ons eigen perspectief. Daarmee is tijd relatief.

Laat dat even heel goed tot je doordringen. We hebben dus elk onze éígen tijd. En dat geldt niet alleen voor levende wezens, maar ook voor bijvoorbeeld rotsblokken of elementaire deeltjes, het is fundamenteel. Normaal gesproken merken we er helemaal niets van omdat jouw en mijn tijd keurig gelijk lopen, maar als we elkaar met zo'n idioot grote snelheid passeren gaan jouw en mijn tijd merkbaar van elkaar afwijken. Dat heet *tijddilatatie*.

Dat is hét toverwoord van de relativiteitstheorie, die je dus ook gerust *relatievetijdstheorie* kunt noemen. Als je wilt pretenderen dat je er iets van weet moet je het begrip *tijddilatatie* kennen en snappen. We hebben elk onze eigen tijd en bij heel grote onderlinge snelheid gaan die van elkaar afwijken. Vanuit ons eigen perspectief ervaren we onze eigen tijd elk als volkomen normaal, en we zullen allebei zeggen dat de tijdwaarnemingen van de ander (de voorbijganger dus) niet deugen. Soortgelijk als die niet zo toonvaste passerende toeter.

Als we nu de tijddilatatie als fundamenteel beschouwen is de constantheid van de lichtsnelheid daar ineens een logisch gevolg van. En daarmee heeft Einstein dat rare meetresultaat dus eigenlijk toch verklaard!

Het moge duidelijk zijn dat de tijddilatatie groter is naarmate onze onderlinge snelheid groter is. En, zoals gezegd, vanuit het eigen perspectief blijft alles volkomen normaal, maar met de snelle voorbijganger is dus kennelijk iets gek aan de hand, wat bij grotere snelheid steeds gekker wordt, maar dan alleen vanuit het perspectief van de stilstaande waarnemer. Voor de passant zelf is er niets aan de hand. En je móét vanaf nu blijven denken in termen van *jouw tijd* en *mijn tijd*. Als je terugvalt op het idee van DE tijd ga je de boot missen.

Overigens is de constantheid van de lichtsnelheid nog veel fundamenteler te onderbouwen dan hoe Einstein dat in eerste instantie deed. Reeds in zijn eerstvolgende publicatie gaf hij aan dat het "natuurlijk is vervat in de vergelijkingen van Maxwell". Voor de liefhebbers: $c = 1/\sqrt{\epsilon_0\mu_0}$ en dat ga ik hier niet verder uitleggen, maar het is dus écht een fundamentele natuurconstante. Verder heeft de c waarmee de lichtsnelheid wordt aangeduid niets te maken met *constant*. Hij komt van het Latijnse *celeritas*, wat snelheid betekent.

En nou moet je ook nog abstract kunnen denken. Tijddilatatie komt erop neer dat jouw en mijn tijd scheef uit elkaar gaan lopen! Denk maar aan een grafiek waarin onze tijdlijnen scheef uit elkaar lopen. En hoe groter onze onderlinge snelheid, hoe schever. Vanuit het eigen perspectief loopt de eigen tijd echter altijd precies recht vooruit; die van de voorbijganger loopt scheef.

En dan ga ik nu even héél kort door de bocht: omdat schever dan loodrecht niet mogelijk is, kan die voorbijganger niet sneller dan het licht! Dat is een rechtstreeks gevolg van de lichtsnelheid als fundamentele natuurconstante.

Stel nu dat ik jou met pakweg drie kwart van de lichtsnelheid voorbij zie komen. Dan loopt jouw tijd voor mij dus scheef (de mijne loopt voor mijzelf altijd gewoon recht vooruit) en dat leidt tot een perspectivische vertekening. Maar, anders dan bij gewoon tekenen, waar je voor iets scheefs een korter lijntje moet zetten, worden al jóúw tijdspannen zoals ze voor jóú in jóúw tijd gelden nu voor míj in míjn tijd opgerekt! En dat is dus vanuit jouw perspectief precies net zo! Eh, nee, omgekeerd, want jíj ziet míj voorbijkomen. Eh, nee, toch net zo! Jíj ziet in jóúw tijd al míjn tijdspannen opgerekt! Dat verschijnsel heet *tijdrek*. Strikt genomen is *tijdrek* de manier waarop *tijddilatatie* tot uiting komt, maar in de praktijk van de theoretische fysica zijn het in theorie praktisch synoniemen. En het gaat nadrukkelijk om *tijdspannen*, beslist niet om *tijdstippen*!

Goed, jij komt dus met drie kwart van de lichtsnelheid voorbij. Je hebt een lamp die je twee keer laat flitsen met in jóúw tijd een tussenpoos van precies één seconde. Dan zie ik die flitsen in míjn tijd met een tussenpoos van anderhalve seconde. Zelf geef ik ook twee lichtflitsen met één seconde ertussen in míjn tijd en díé zie jíj dan in jóúw tijd met anderhalve seconde ertussen! We zijn het volstrekt oneens over de timing van onze wederzijdse lichtflitsen, soortgelijk als hoe we het ook oneens waren over onze toeters, maar nu speelt het zich af in de tijd. Jouw tijd en mijn tijd, wel te verstaan.

Stel dat we allebei de eerste flits van de voorbijganger zo goed als tegelijk met onze eigen eerste flits zien. Vanwege de benodigde oversteektijd van het licht kan dat nooit exact, maar laten we zeggen dat de verschillen zo klein zijn dat we die kunnen verwaarlozen. We zien dus allebei onze wederzijdse eerste flitsen tegelijk. Na één seconde in míjn tijd zie ik dan mijn eigen tweede flits, en pas na anderhalve seconde zie ik jouw tweede flits. Maar jij ziet in jóúw tijd reeds na één seconde je eigen tweede flits en na anderhalve seconde de mijne. We zijn het volstrekt oneens over de volgorde waarin zich onze wederzijdse tweede flitsen voordoen!

Soortgelijk als met de toeters ligt het niet aan die flitsen, maar aan het voorbijkomen. De tweede flits van de voorbijganger komt later dan de eigen tweede flits. Dat is voor beide gelijk, maar dus elk vanuit het eigen perspectief. We hebben allebei evenveel gelijk. Je moet je gewoon helemaal niet druk maken om de waarnemingen van de ander. Zelf ben je normaal, de ander is een rare...

Het betekent natuurlijk ook dat we het totaal niet meer eens zijn over het al dan niet gelijktijdig plaatsvinden van een tweetal willekeurige gebeurtenissen, zelfs niet over de volgorde. Maar we hebben allebei evenveel gelijk, elk vanuit ons eigen perspectief.

En nu het volgende. Er staan twee lantaarnpalen op de stoep en er is een bus geparkeerd die daar qua lengte precies tussen past. Diezelfde bus gaat nu echter met drie kwart van de lichtsnelheid voorbijkomen, terwijl jij erin zit. Zelf sta ik op de stoep bij die lantaarnpalen. Vanuit jouw perspectief zie jij die lantaarns voorbijkomen met

precies de snelheid die je bij de chauffeur op het dashboard kunt aflezen en vanuit mijn perspectief komt er gewoon een heel snelle bus voorbij.

En je doet iets heel gevaarlijks: je geeft beide lantaarns een tik. Daar zit in j^{óúw} tijd een bepaalde tijdsparre tussen die ik *j^{óúw} tiktijd* noem. Ik zie die tikken terwijl ik op de stoep sta als de bus voorbijkomt. Díe tijdsparre noem ik *míjn tiktijd*, maar het blijven j^{óúw} tikken! Door de tijdrek is *míjn tiktijd* anderhalf keer zo groot als *j^{óúw} tiktijd*. En je weet toch wel dat afstand gelijk is aan tijd maal snelheid? Dat betekent dat j^{íj} tussen die lantaarns een afstand meet van *j^{óúw} tiktijd* maal de snelheid van die lantaarns en die is gelijk aan de snelheid waarmee de bus rijdt. Ík zie die bus dan een afstand afleggen van *míjn tiktijd* maal de bussnelheid en dat is natuurlijk gelijk aan de lantaarnafstand.

Dus volgens jou is de lantaarnafstand: *j^{óúw} tiktijd* maal de bussnelheid en volgens mij is dat *míjn tiktijd* maal diezelfde bussnelheid, maar *míjn tiktijd* was anderhalf keer zo groot als *j^{óúw} tiktijd*... Volgens mij is die lantaarnafstand dus anderhalf keer zo groot als volgens jou! Omgekeerd meet j^{íj} dus slechts twee derde van de afstand die ík meet. Maar voor mij zijn het gewoon stilstaande lantaarns, dat is een alledaagse situatie waarin niets bijzonders aan de hand is, en j^{íj} ziet die lantaarns met een bloedgang voorbijkomen en dat is verre van alledaags. Vanuit jouw perspectief staan die snel voorbijkomende lantaarns dichter bij elkaar dan vanuit mijn perspectief!


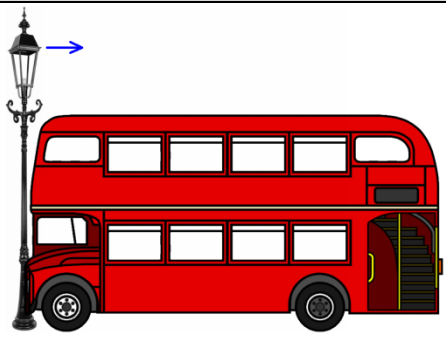

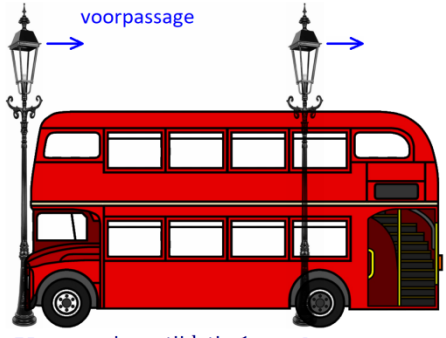
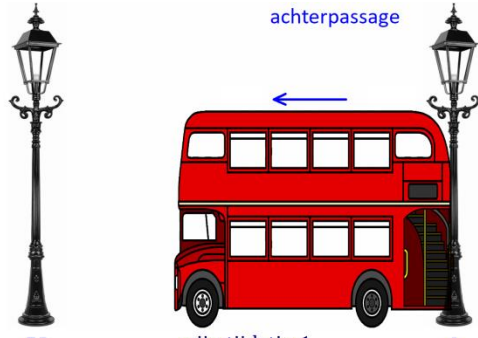
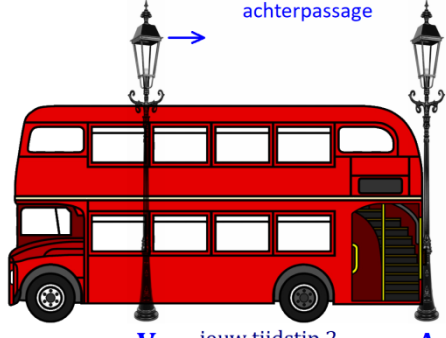
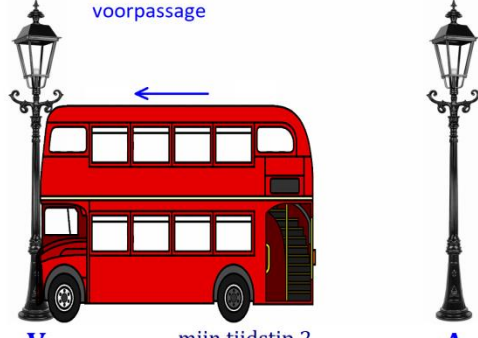
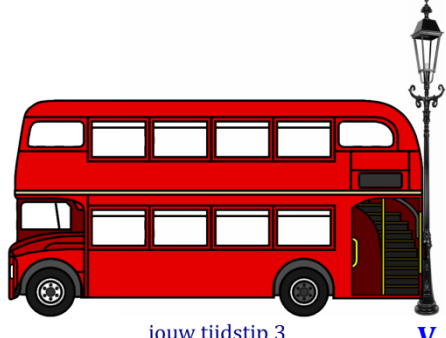

Nu heb ik zelf, terwijl de bus voorbijkwam, de voor- en achterraut aangetikt en dan geldt verder dezelfde redenering, maar dan vanuit de tegenovergestelde perspectieven. Ik zie dus een korte bus voorbijkomen met twee derde van de lengte die dat ding bij stilstand heeft.

In het algemeen geldt dat heel snel bewegende dingen voor de stilstaande waarnemer korter worden in de bewegingsrichting. Dat ding zelf houdt vanuit het eigen perspectief gewoon zijn zogeheten *rustlengte*. Het is een direct gevolg van de tijddilatatie. Zo'n verkorting was reeds pre-Einstein gesuggereerd door ene George Francis Fitzgerald (in weinig detail) en enige tijd later door onze landgenoot prof. Hendrik Antoon Lorentz. Maar weet je nog dat Newton had gezegd dat je géén veronderstellingen moet doen? Deze hypothese van Lorentz en Fitzgerald was op geen enkele wijze afgeleid uit bekende vastgestelde waarheden, hoewel hij uiteindelijk correct bleek. Einstein omschreef het in 1907 als een "ad hoc ingevoerde aanname die slechts te voorschijn kwam als een kunstgreep om de theorie te redden". Omdat Lorentz er veel dieper op in was gegaan dan Fitzgerald wordt deze verkorting van snel bewegende dingen meestal *Lorentzcontractie* genoemd, maar de naam van Fitzgerald wordt er - terecht - ook nogal eens aan gekoppeld. Behalve *tijddilatatie* is ook *Lorentzcontractie* een essentieel aspect van de relativiteitstheorie, ze horen onlosmakelijk bij elkaar.

Het volgende moet je wellicht meer dan één keer lezen. Terwijl de bus geparkeerd stond bij die palen heb ik de paal die bij de voorruit stond de *voorpaal* genoemd en die bij de achterraut de *achterpaal*. Hoe zie jij nu vanuit de bus die palen voorbijkomen? Voor jou is de paalafstand slechts twee derde van de buslengte. Jij ziet allereerst de achterpaal de voorruit passeren en daarna, terwijl die achterpaal nog naast de bus is, zie je de voorpaal bij de voorruit. Die gebeurtenis van voorpaal bij voorruit noem ik de *voorpassage*. Vervolgens, als die voorpaal reeds naast de bus is, zie je de achterpaal bij de achterraut en dat noem ik de *achterpassage*. Tenslotte zie je de voorpaal bij de achterraut en daarna zijn ze beide voorbij. Van belang is dat je eerst de *voorpassage* ziet en daarna de *achterpassage*.

Maar wat zie ik? Een voorbijkomend busje met een lengte die slechts twee derde is van de paalafstand. Als eerste passeert de voorruit de achterpaal; jouw eerste waarneming was dat die achterpaal de voorruit passeerde. Vervolgens zie ik de achterraut bij de achterpaal, dus de *achterpassage*, terwijl de voorruit nog lang niet bij de voorpaal is. Dat duurt nog even. Dan zie ik de voorruit de voorpaal passeren, oftewel de *voorpassage*. Tenslotte zie ik ook nog de achterraut de voorpaal passeren en dan is de bus voorbij. Maar ik zie dus eerst de *achterpassage* en daarna pas de *voorpassage*. Dat is in de tegenovergestelde volgorde van wat jij ziet! De beelden op de volgende pagina zeggen ongetwijfeld meer dan al deze woorden (maar lees eerst nog even de volgende alinea).

Wederom hebben we allebei evenveel gelijk wat betreft onze waarnemingen! Er ontstaan echter verschillen in onze tijdwaarnemingen. Wat we door de Lorentzcontractie aan lengte kwijtraken, krijgen we kennelijk terug in de vorm van een tijdsverschil tussen de voor- en achterpassage, maar dan zodanig dat wij die - elk vanuit ons eigen perspectief - in tegenovergestelde volgorde zien.

Bij stilstand geen Lorentzcontractie:	
<p>geparkeerde bus</p> 	
Voorbijkomende lantaarns, gezien vanuit de bus:	Voorbijkomend busje, gezien vanaf de stoep:
 <p>A jouw tijdstip 0</p>	 <p>V mijn tijdstip 0 A</p>
 <p>voorpassage A</p> <p>V jouw tijdstip 1 A</p>	 <p>achterpassage</p> <p>V mijn tijdstip 1 A</p>
 <p>achterpassage</p> <p>V jouw tijdstip 2 A</p>	 <p>voorpassage</p> <p>V mijn tijdstip 2 A</p>
 <p>V jouw tijdstip 3 V</p>	 <p>V mijn tijdstip 3 A</p>
Lantaarns zélf ook gecontraheerd (smaller)!	

Aangezien jij stil zit in de bus bespeur je geen enkele Lorentzcontractie van de bus, net zo als dat ik niets bijzonders zie aan de lantaarnpaalafstand. Maar ik zie dus een kortere bus naarmate die sneller voorbij komt. En hoe harder die gaat, hoe korter die vanuit mijn perspectief wordt. Naarmate hij dichterbij de lichtsnelheid komt gaat die Lorentzcontractie steeds meer naar de nul toe. En omdat een bus nu eenmaal niet korter kan zijn dan nul, kan hij niet sneller dan het licht.

Natuurlijk staan er lantaarns over de hele straatlengte en de Lorentzcontractie geldt uiteraard voor elk tweetal lantaarns. Dat betekent dat voor jou, vanuit de bus gezien, de hele straat wordt geLorentzcontracteerd. Vanuit jouw perspectief komt de straat met een rotgang onder je door en die hele straat is dus verkort. En natuurlijk gaat ook de straatlengte richting nul als de snelheid richting lichtsnelheid gaat. En dan geldt weer hetzelfde: omdat de straat niet korter kan zijn dan nul, kan die niet sneller onder de bus door dan het licht.

De straat wordt dus korter naarmate ~~de bus harder rijdt~~ die sneller onder de bus doorkomt. Dat levert dus bovenop de tijdwinst vanwege hogere snelheid nog een extra tijdwinst op omdat de hele reisafstand wordt gecontracteerd! En hoe groter de snelheid, hoe korter de straat, dus naarmate je dichterbij de lichtsnelheid komt, gaan zowel de totale reisafstand als de totale reistijd steeds meer naar nul!

En dan het licht zelf. Dat gaat natuurlijk met precies de lichtsnelheid. Het kan niet anders, want het is licht. En bij de lichtsnelheid is de totale reisafstand dus tot helemaal nul geLorentzcontracteerd. Daarmee is ook de reistijd doodgewoon nul. Het licht zelf ervaart dus nul reisafstand en nul reistijd. In de eigen beleving is licht een instantane energieoverdracht van lichtbron naar ontvanger. Als jij naar bijvoorbeeld de poolster kijkt (weet je die te vinden?) dan is het licht in jÓúw tijd een paar honderd jaar onderweg geweest, want zover is die wel bij ons vandaan. Maar in de eigen beleving van dat licht heeft het NUL afstand afgelegd in NUL tijd!

E.e.a. betekent dat het ook nog eens zinloos is om sneller te willen dan het licht. Met de lichtsnelheid heb je immers je eindbestemming al bereikt op exact hetzelfde moment als waarop je vertrekt!

Nog even terug naar de tijdrek. Als stilstaande waarnemer zie je alle tijdspannen van een snelle voorbijganger opgerekt. Dat geldt dus ook voor de tijd tussen twee opeenvolgende kloktikken, zodat je een snel voorbijkomende klok langzamer ziet tikken. En ook dat is dus wederzijds. En dat ligt niet aan die klokken. Het is de voorbijgangertijd zelf die voor de stilstaande waarnemer langzamer gaat. Soortgelijk als hoe we allebei hoorden dat de andere toeter raar deed, zien we allebei dat de tijd van de snelle voorbijganger langzamer voorbijtikt dan de eigen tijd!

Als je daar goed over nadenkt kom je tot de zogeheten *tweelingparadox*: beiden zien dat hun broer/zus na een zeer snelle reis minder oud is dan hij/zijzelf. Maar voor wat tot nu toe is uitgelegd had Einstein zich beperkt tot de situatie van constante snelheid. Dat betekent dat geen van die tweelingen ooit omkeert en dus komen ze nooit meer bij elkaar. Daarmee is die paradox de wereld uit. Vanwege die beperking tot constante snelheid heet dit de *speciale relativiteitstheorie*. Tien jaar later kwam hij met de *algemene relativiteitstheorie* waarin snelheden wel mogen veranderen, en die biedt uiteindelijk daar de oplossing voor, maar daar ga ik nu niet verder op in.

Voor snelheidsverandering is een kracht nodig, maar heb jij ook wel eens gemerkt dat je in een versnellende of vertragende lift wat zwaarder of lichter bent? Einstein beseftte dat gravitatie en acceleratie eigenlijk één en hetzelfde is. Dat is wederom een conclusie, géén veronderstelling! En als er nu sprake is van een van die twee, oftewel als er een kracht wordt uitgeoefend, ontstaat er zogeheten gravitationele tijdrek en lengtecontractie. Dat is soortgelijk als bovenstaande, maar dan alleen voor degene die die kracht ondervindt, waardoor de situatie asymmetrisch wordt tussen beide waarnemers. Daardoor manifesteert het zich niet als scheef maar als krom, wat er uiteindelijk de oorzaak van is dat de maan om de aarde cirkelt etc. Daar laat ik het bij.

Quid est ergo tempus? Si nemo ex me quærat, scio; si quærenti explicare velim, nescio.

Wat is dan tijd? Als niemand het me vraagt, weet ik het; maar als ik het wil uitleggen, weet ik het niet.

Aurelius Augustinus Hipponensis, AD354-430, Confessiones 11.14.

*Tijd is de opeenvolging van verschijnselen
zoals die vanuit het eigen perspectief worden waargenomen.
Ikke (de enige echte in het hele universum).*