

De grond van ruimte en tijd

Van Kant en Einstein naar de ervaringsonzekerheidsrelatie

Inhoudsopgave

Inleiding.....	3
Kant en Einstein over de grond van ruimte en tijd	5
Van de speciale relativiteit naar gekoppelde onzekerheden.....	10
Wat betekent dit zonder de wiskunde	19
Van mathematische koppeling naar ervaringsmatige begrenzing.....	20
De ervaringsonzekerheidsrelatie als grondstructuur van ervaring	22
Bronnen.....	24

Inleiding

De ervaringsonzekerheidsrelatie (EOR) vormt het eindpunt van de redenering die ik in dit essay ontwikkel. Zij verschijnt niet als een losse hypothese die vooraf wordt aangenomen en vervolgens van argumenten wordt voorzien. Ik probeer langs drie verschillende lijnen aannemelijk te maken dat ruimte en tijd binnen het persoonlijke bewustzijn zo fundamenteel met elkaar verbonden zijn dat hun gelijktijdige bepaaldheid aan een onderlinge begrenzing moet zijn gebonden. De EOR vormt daarmee de apotheose van het essay. De voorafgaande filosofische, mathematische en empirische beschouwingen komen in deze relatie samen.

De eerste lijn is filosofisch en fenomenologisch. Zij begint bij Kants inzicht dat wij de werkelijkheid alleen kunnen kennen zoals zij binnen menselijke ervaring verschijnt. Ruimte en tijd vormen bij hem voorwaarden waaronder die ervaring mogelijk wordt. Bergson en William James voegen daaraan het inzicht toe dat ervaren tijd geen mathematisch punt vormt, maar een duur bezit waarin opeenvolgende momenten in elkaar doorwerken. Binnen mijn eigen filosofie krijgen ruimte en tijd vervolgens een gezamenlijke oorsprong in de gelokaliseerde actualisering van het persoonlijke bewustzijn. Zodra een persoonlijk bewustzijn ontstaat, ontstaat een hier en daarmee ruimtelijke ordening. Omdat een begrensd bewustzijn niet alle potenties gelijktijdig kan actualiseren, ontstaat tevens opeenvolging en daarmee temporaliteit. Wanneer ruimte en tijd uit dezelfde gebeurtenis voortkomen, ligt het voor de hand dat zij ook niet volledig onafhankelijk van elkaar functioneren.

De tweede lijn loopt via de speciale relativiteitstheorie van Einstein. De Lorentztransformaties laten zien dat ruimte en tijd bij een verandering van inertiaal perspectief niet afzonderlijk veranderen, maar mathematisch met elkaar verweven zijn. Wanneer vervolgens niet alleen exacte plaats en tijd, maar ook onzekerheden in beide grootheden worden beschouwd, blijkt dat ruimtelijke onzekerheid, temporele onzekerheid en hun onderlinge covariantie gezamenlijk transformeren. Daarmee ontstaat vanuit de speciale relativiteit een gekoppelde onzekerheidsstructuur. Zij levert op zichzelf nog geen minimale ondergrens op, maar zij ondersteunt wel de gedachte dat ruimtelijke en temporele bepaaldheid niet als volledig onafhankelijke grootheden kunnen worden behandeld.

In dit gedeelte wordt de wiskundige afleiding stap voor stap uitgewerkt. Voor het centrale betoog is het echter niet noodzakelijk dat iedere lezer deze berekeningen volgt. Wie minder vertrouwd is met wiskunde kan dit gedeelte zonder bezwaar overslaan en verder lezen vanaf de paragraaf *Wat betekent dit zonder de wiskunde*. Daar wordt de betekenis van de mathematische uitwerking in gewone taal hervat.

De derde lijn is empirisch en komt uit de psychofysica. Onderzoek naar menselijke waarneming laat zien dat ruimtelijke en temporele bepaaldheid elkaar daadwerkelijk kunnen beïnvloeden. Onder bepaalde omstandigheden gaat een grotere temporele resolutie gepaard met een kleinere ruimtelijke resolutie. Daarmee wordt binnen de menselijke ervaring zichtbaar wat de filosofische en mathematische lijnen al deden vermoeden. Ruimtelijke en temporele bepaaldheid functioneren niet onafhankelijk van elkaar en winst in de ene dimensie kan gepaard gaan met verlies in de andere.

Geen van deze drie lijnen vormt afzonderlijk een afdoende bewijs voor de ervaringsonzekerheidsrelatie. Hun betekenis ligt juist in hun convergentie. De filosofische lijn probeert te verklaren waarom ruimte en tijd uit dezelfde grondstructuur van gelokaliseerde ervaring voortkomen. De speciale relativiteit laat zien dat ruimtelijke en temporele bepaaldheid mathematisch één gekoppelde structuur vormen. De psychofysica toont vervolgens dat hun wederzijdse beïnvloeding ook binnen menselijke waarneming empirisch aantoonbaar is.

Vanuit deze drie lijnen krijgt de eerder genoemde ervaringsonzekerheidsrelatie een steeds steviger grond. Wanneer ruimte en tijd uit dezelfde actualisering voortkomen, mathematisch gekoppeld blijken te zijn en ook binnen de menselijke ervaring een wederzijdse begrenzing kunnen vertonen, wijst deze convergentie erop dat de EOR wel eens de juiste insteek kan bieden om hun fundamentele samenhang te begrijpen. De relatie is daarmee nog niet definitief bewezen, maar zij verschijnt aan het slot van dit essay wel als de apotheose van drie convergerende benaderingen die ieder vanuit een ander perspectief naar dezelfde fundamentele samenhang tussen ruimtelijke en temporele bepaaldheid wijzen.

Kant en Einstein over de grond van ruimte en tijd

Kant heeft een grens getrokken die ook voor mijn filosofie beslissend blijft. De mens kent de werkelijkheid niet zoals zij onafhankelijk van iedere menselijke ervaringsvoorwaarde zou bestaan. Wij kennen haar uitsluitend zoals zij binnen onze ervaring verschijnt. Kant bedoelt daarmee niet dat wij in een schijnwereld leven. De fenomenale werkelijkheid vormt juist de enige werkelijkheid waarover wij theoretische kennis kunnen verkrijgen. Wij kunnen denken dat de werkelijkheid onafhankelijk van onze ervaring bestaat, maar wij kunnen niet kennen hoe zij op zichzelf is.

Mijn filosofie handhaaft deze kennisgrens. Ook de zintuiglijke ontvankelijkheid verschaft geen rechtstreekse toegang tot de waarneembare werkelijkheid zoals zij buiten iedere mogelijke ervaring zou bestaan. Wij kennen steeds de concrete en gelokaliseerde ervaring waarin werkelijkheid voor ons actualiseert. Ook de transcendente ontvankelijkheid doorbreekt die grens niet. Zij kan betekenis, waarde, richting en samenhang binnen de ervaring laten actualiseren, maar zij verschaft geen standpunt buiten die ervaring.

Deze begrenzing geldt ook voor de natuurkunde. Een fysicus kan meetinstrumenten gebruiken die veel verder reiken dan zijn eigen zintuigen, maar ook de resultaten van die instrumenten moeten uiteindelijk binnen menselijke ervaring toegankelijk worden. Natuurkundige kennis ontstaat wanneer waarnemingen, metingen en mathematische verbanden met elkaar worden verbonden. Ook de fysicus beschikt daarom niet over een positie buiten iedere mogelijke ervaring vanwaaruit hij kan vaststellen hoe de werkelijkheid op zichzelf bestaat.

Precies hier ontstaat een belangrijk verschil met Einstein. De speciale relativiteit behandelt ruimte en tijd in haar mathematische beschrijving niet als vormen van menselijke ervaring. Waarnemers bepalen vanuit verschillende inertiale stelsels verschillende afstanden, tijdsduren en verhoudingen van gelijktijdigheid, maar de ruimtetijdelijke structuur wordt in de theorie niet opgevat als afhankelijk van een individueel bewustzijn.

Die aanname wordt problematisch wanneer Kants opvatting van ruimte en tijd erbij wordt betrokken. Kant beschouwt ruimte en tijd niet als empirisch ontdekte eigenschappen van de werkelijkheid, maar als a priori voorwaarden waaronder werkelijkheid voor ons kan verschijnen. Juist de mogelijkheid van synthetische kennis a priori vormt voor hem een aanwijzing dat ruimtelijke en temporele ordening niet uit afzonderlijke ervaringen wordt afgeleid. Daarmee ontstaat de vraag of Einstein wel zonder meer mag veronderstellen dat de ruimtetijdelijke structuur die zijn theorie beschrijft ook onafhankelijk van iedere menselijke ervaringsvoorwaarde bestaat.

Daarmee komt een mogelijke ontologische premisse van de speciale relativiteit in beeld die opnieuw moet worden onderzocht. Einstein heeft overtuigend beschreven hoe ruimte en tijd zich onder relatieve beweging gedragen. Daarmee hoeft nog niet te zijn vastgesteld wat ruimte en tijd uiteindelijk zijn. De mathematische geldigheid van de speciale relativiteit en

de ontologische interpretatie van haar begrippen hoeven daarom niet met elkaar samen te vallen.

Einstein heeft Kant niet eenvoudig terzijde geschoven. In 1924 ging hij in een bespreking van Alfred C. Elsbachs *Kant und Einstein* expliciet op diens filosofie in. Hij meende dat de relativiteitstheorie niet verenigbaar was met Kants leer van het a priori en verwierp daarmee Kants concrete invulling van de voorwaarden van ruimte en tijd. Opmerkelijk genoeg erkende Einstein tegelijkertijd dat Kants manier om het probleem te stellen niet door de natuurwetenschap strikt kan worden weerlegd. Daarmee bleef de achterliggende vraag naar de voorwaarden van mogelijke ervaring bestaan.

Einstein werkte die vraag echter niet verder uit als een vraag naar de ervaringsvoorwaarden van het bewustzijn. Zijn aandacht ging uit naar de fysische wetmatigheid waarmee verschillende waarnemers tijd, lengte en gelijktijdigheid bepalen. De waarnemer functioneert daarbij als onderdeel van een referentiestelsel en niet als bewustzijn waarin werkelijkheid tot ervaring komt. Daardoor beschrijft de speciale relativiteit uiterst nauwkeurig hoe ruimtelijke en temporele verhoudingen onder perspectiefwisseling samen veranderen, zonder de vraag te beantwoorden waarom iedere mogelijke ervaring voor ons noodzakelijk ruimtelijk en temporeel geordend is.

Juist daarin blijft ruimte voor een voortzetting van Kants vraag. De relativiteitstheorie maakte Kants concrete invulling van ruimte en tijd problematisch, maar daarmee was nog niet vastgesteld wat ruimte en tijd uiteindelijk zijn. De mogelijkheid blijft open dat hun relativiteit niet slechts een eigenschap vormt van een reeds bestaande ruimtetijd, maar samenhangt met de voorwaarden waaronder werkelijkheid voor een waarnemer tot actuele ervaring kan komen.

Kant had al reden om ruimte en tijd niet eenvoudig als eigenschappen van een ervaringsonafhankelijke werkelijkheid te behandelen. Hij verklaart hun noodzakelijkheid door ze als zuivere vormen van de menselijke aanschouwing op te vatten. Wat uitwendig voor ons verschijnt, wordt ruimtelijk en temporeel geordend, terwijl onze innerlijke ervaring noodzakelijk temporeel wordt geordend. Mijn filosofie neemt deze noodzakelijkheid over, maar probeert haar vanuit een andere grond te verklaren.

Ik vertrek niet vanuit a priori vormen van aanschouwing die iedere mogelijke ervaring structureren. Ik vertrek vanuit het ontstaan van het persoonlijke bewustzijn als concrete en gelokaliseerde actualisering. Zodra een centrum van ervaring ontstaat, ontstaat noodzakelijk een onderscheid tussen hier en daar. Daarmee ontstaat ruimtelijke ordening. Een begrensde persoonlijk bewustzijn kan bovendien niet alle potenties gelijktijdig tot één actuele ervaring brengen. Actualisering krijgt daardoor noodzakelijk het karakter van opeenvolging. Daarmee ontstaat temporaliteit. Ruimte en tijd verschijnen zo als twee dimensies die uit hetzelfde gebeurtenis van actualisering voortkomen.

Wanneer beide dimensies uit dezelfde grondstructuur voortkomen, ligt het voor de hand dat zij niet volledig onafhankelijk van elkaar kunnen functioneren. De ervaringsonzekerheidsrelatie probeert deze wederzijdse begrenzing formeel uit te drukken.

$$\Delta x \cdot \Delta t \geq \Lambda / 2$$

Deze relatie beschrijft binnen mijn model geen natuurkundige meetonzekerheid. Zij veronderstelt dat een gelokaliseerd persoonlijk bewustzijn ruimtelijke en temporele bepaaldheid niet onafhankelijk van elkaar kan actualiseren. Een verandering van de ruimtelijke bepaaldheid kan gevolgen hebben voor de temporele bepaaldheid en omgekeerd. Ruimte en tijd verschijnen daarmee als correlatieve dimensies van één actualisering.

Deze abstracte verhouding krijgt een concrete ervaringsmatige betekenis wanneer wij naar het ervaren NU kijken. Het heden dat wij daadwerkelijk ervaren, vormt geen mathematisch punt zonder duur. Binnen één actuele ervaring kan iets wat zojuist gebeurde nog doorwerken, terwijl het huidige wordt ervaren en een onmiddellijk mogelijke voortgang zich al kan aandienen. Het NU bezit daardoor een temporele breedte.

Hier sluit mijn benadering aan bij Bergson en William James. Bergson begrijpt de beleefde duur als een continuïteit waarin eerdere momenten niet eenvoudig verdwijnen, maar binnen het actuele blijven doorwerken. James beschrijft het ervaren heden eveneens als een temporeel venster waarin het onmiddellijk voorafgaande nog aanwezig blijft en het komende zich al kan aankondigen. Mijn filosofie verbindt de breedte van dat venster met de verhouding tussen ruimtelijke en temporele bepaaldheid.

Wanneer de ruimtelijke lokalisatie minder scherp wordt, kan de NU duur breder worden. Het onmiddellijk voorafgaande, het actuele en een nabije mogelijkheid kunnen dan binnen één ervaringssamenhang blijven resoneren. Wanneer de ruimtelijke lokalisatie sterker wordt, kan het temporele venster smaller worden en raakt de ervaring sterker gebonden aan het onmiddellijk actuele.

Op dit punt komt de speciale relativiteit opnieuw in beeld. Einstein laat zien dat een verandering van inertiaal perspectief nooit uitsluitend een verandering van tijd of uitsluitend een verandering van ruimte met zich meebrengt. Tijdsdilatatie, lengtecontractie en de relativiteit van gelijktijdigheid behoren tot één mathematische structuur. Ruimtelijke en temporele verhoudingen veranderen daarbij niet onafhankelijk van elkaar.

Juist deze samenhang krijgt vanuit de ervaringsonzekerheidsrelatie een mogelijke diepere betekenis. Wanneer ruimte en tijd uit één actualisering voortkomen, mag worden verwacht dat veranderingen in ruimtelijke en temporele bepaaldheid met elkaar samenhangen. De ervaringsonzekerheidsrelatie bepaalt niet hoe groot die veranderingen onder relatieve beweging zijn en levert de Lorentztransformaties niet op. Zij biedt wel een mogelijke filosofische grond voor de gedachte dat ruimtelijke en temporele bepaaldheid niet los van elkaar kunnen worden begrepen.

Daarmee raken beide theorieën elkaar zonder dat zij met elkaar worden vereenzelvigd. De speciale relativiteit beschrijft exact hoe ruimtelijke en temporele verhoudingen tussen verschillende inertiale perspectieven veranderen. De ervaringsonzekerheidsrelatie drukt binnen mijn model de gedachte uit dat ruimtelijke en temporele bepaaldheid noodzakelijk met elkaar samenhangen wanneer werkelijkheid binnen een gelokaliseerd bewustzijn tot actualiteit komt.

Ook de relativiteit van gelijktijdigheid krijgt vanuit deze gedachte een bijzondere betekenis. Gelijktijdigheid kan alleen worden bepaald binnen een bepaalde ordening van ruimte en tijd. Wanneer het inertiale perspectief verandert, verandert ook welke gebeurtenissen binnen die ordening als gelijktijdig gelden. Daarmee laat de speciale relativiteit misschien wel het duidelijkst zien dat ruimte en tijd niet als twee onafhankelijke kaders kunnen worden behandeld.

Juist daarom kan de speciale relativiteit vanuit mijn filosofie anders worden gelezen. Zij hoeft niet noodzakelijk te betekenen dat een volledig ervaringsonafhankelijke ruimtetijd zichzelf onder relatieve beweging op een bepaalde wijze manifesteert. Zij kan ook worden begrepen als de exacte natuurkundige beschrijving van de wetmatige wijze waarop één werkelijkheid onder verschillende perspectivische voorwaarden ruimtelijk en temporeel verschijnt. Deze interpretatie verandert niets aan Einsteins formules. Zij verandert wel de vraag wat die formules ontologisch beschrijven.

Mijn filosofie zoekt het antwoord op die vraag in de gelokaliseerde actualisering van werkelijkheid. Vanuit die gedachte komen ook de eerdere inzichten van Kant, Bergson en James opnieuw samen. Kant begrenst wat wij over een ervaringsonafhankelijke werkelijkheid kunnen kennen, terwijl Bergson en James laten zien dat ervaren tijd zelf een structuur van duur bezit. Einstein voegt daaraan de mathematische verwevenheid van ruimte en tijd toe. Binnen mijn filosofie kunnen deze inzichten worden verbonden doordat ruimte en tijd uit dezelfde gelokaliseerde actualisering voortkomen.

De fundamentele vraag wordt daardoor breder. Wij hoeven niet alleen te vragen waarom een bewegende klok volgens de speciale relativiteit langzamer loopt of waarom een bewegend object in de bewegingsrichting korter wordt gemeten. Daarnaast kunnen wij een niveau dieper vragen waarom werkelijkheid voor ons verschijnt volgens een structuur waarin ruimtelijke en temporele bepaaldheid onderling verbonden zijn.

Mijn antwoord luidt dat ruimte en tijd niet tot een reeds volledig gevormd universum behoren waarin vervolgens een mens verschijnt. Ruimte, tijd en wereld verschijnen als actuele orde wanneer potentie zich tot een gelokaliseerde ervaring differentieert. Vanuit dat uitgangspunt vormt de door Einstein blootgelegde verwevenheid geen toevallige eigenschap van een externe ruimtetijd. Zij vormt de fysische uitdrukking van een diepere voorwaarde waaronder ruimtelijke en temporele bepaaldheid als gecorreleerde dimensies van één actualisering verschijnen.

De speciale relativiteit bewijst deze ontologie niet, en ook de ervaringsonzekerheidsrelatie levert daarvoor geen zelfstandig bewijs. Wel laten beide vanuit verschillende niveaus zien dat ruimtelijke en temporele bepaaldheid fundamenteel met elkaar samenhangen. Daarmee ontstaat de mogelijkheid dat Einstein de juiste mathematische structuur heeft gevonden, terwijl de gebruikelijke ontologische interpretatie daarvan nog op een betwistbare premisse rust. Ruimte en tijd hoeven dan niet eerst onafhankelijk van de mens te bestaan om vervolgens vanuit verschillende perspectieven anders te worden gemeten. Hun relativiteit, onderlinge afhankelijkheid en perspectiefgebondenheid kunnen juist aanwijzingen vormen dat zij als gecorreleerde dimensies verschijnen waar werkelijkheid tot gelokaliseerde ervaring actualiseert. De vraag wordt dan of deze correlatie ook binnen de mathematische structuur van de speciale relativiteit zelf zichtbaar kan worden gemaakt.

Van de speciale relativiteit naar gekoppelde onzekerheden

*Als je niet geïnteresseerd bent in de wiskundige onderbouwing,
kun je nu direct doorgaan naar de paragraaf 'Wat betekent dit zonder wiskunde'.*

De speciale relativiteitstheorie bevat zelf geen onzekerheidsrelatie. Einstein stelt nergens dat er een minimale onzekerheid in plaats en tijd moet bestaan. Zijn theorie beschrijft iets anders. Zij laat zien hoe de plaats en het tijdstip van dezelfde gebeurtenis worden bepaald vanuit verschillende inertiale stelsels die ten opzichte van elkaar bewegen.

Daarvoor gebruikt de speciale relativiteit de Lorentztransformatie. Stel dat een gebeurtenis in het ene stelsel plaatsvindt op positie x en tijdstip t . Een tweede stelsel beweegt met snelheid v ten opzichte van het eerste. Vanuit dat tweede stelsel krijgt dezelfde gebeurtenis de coördinaten x' en t' .

$$\begin{aligned}x' &= \gamma(x - vt) \\t' &= \gamma\left(t - \frac{vx}{c^2}\right) \\ \gamma &= \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}\end{aligned}$$

Hierbij geeft x de positie van de gebeurtenis in het eerste inertiale stelsel aan en geeft t het tijdstip van die gebeurtenis in datzelfde stelsel aan. De grootheden x' en t' geven de positie en het tijdstip van dezelfde gebeurtenis in het tweede inertiale stelsel aan. De grootheid v geeft de relatieve snelheid van het tweede stelsel ten opzichte van het eerste aan. De grootheid c staat voor de lichtsnelheid in vacuüm. De factor γ is de Lorentzfactor en wordt bepaald door de verhouding tussen v en c . Naarmate v dichterbij c komt, wordt γ groter. Bij lage snelheden ligt haar waarde dicht bij één.

Voor mijn vraag is vooral de vorm van de eerste twee vergelijkingen belangrijk. De nieuwe positie x' wordt niet alleen bepaald door de oorspronkelijke positie x , maar ook door het tijdstip t . Omgekeerd wordt het nieuwe tijdstip t' niet alleen bepaald door t , maar ook door x . De Lorentztransformatie behandelt ruimte en tijd dus niet als twee grootheden die onafhankelijk van elkaar veranderen.

Tot zover gaat het om exact bepaalde posities en tijdstippen. Wij kunnen echter ook onderzoeken wat er gebeurt wanneer plaats en tijd niet exact bepaald zijn. Een reeks vergelijkbare waarnemingen kan bijvoorbeeld steeds een iets andere positie en een iets ander tijdstip opleveren. Rond de gemiddelde positie bestaat dan een zekere ruimtelijke onzekerheid en rond het gemiddelde tijdstip een zekere temporele onzekerheid.

Ik schrijf de ruimtelijke onzekerheid als Δx en de temporele onzekerheid als Δt . Het teken Δ staat in dit gedeelte dus niet voor een verandering van positie of tijd, maar uitsluitend voor de mate van onzekerheid waarmee positie en tijd zijn bepaald. Wiskundig geef ik die onzekerheid weer met de standaardafwijking. Een kleine Δx betekent dat de mogelijke

posities dicht bij elkaar liggen. Een grote Δx betekent dat de ruimtelijke onzekerheid groter is. Voor Δt geldt hetzelfde aan de temporele zijde.

Ik gebruik bewust dezelfde symbolen als in de ervaringsonzekerheidsrelatie. Daarmee veronderstel ik nog niet dat beide soorten onzekerheid dezelfde betekenis hebben. Hier beschrijven Δx en Δt eerst statistisch vastgestelde onzekerheden. Pas later kan worden onderzocht of de samenhang die daarbij zichtbaar wordt, aansluit bij de structurele onzekerheid die de ervaringsonzekerheidsrelatie beschrijft.

Wanneer zulke onzekerheden in de Lorentztransformatie worden meegenomen, verschijnt meteen een eerste koppeling. Omdat x' mede van t afhangt, draagt onzekerheid in tijd bij aan de onzekerheid in plaats vanuit het andere stelsel. Omdat t' mede van x afhangt, draagt onzekerheid in plaats op haar beurt bij aan de onzekerheid in tijd.

Stel dat het tijdstip t exact bekend is, terwijl de positie x een onzekerheid Δx bezit. De werkelijke positie kan dan rond x liggen. We kunnen dat schrijven als

$$x \pm \Delta x$$

Wanneer we dit in de Lorentztransformatie voor de tijd invullen, krijgen we

$$t' = \gamma \left(t - \frac{v \cdot (x \pm \Delta x)}{c^2} \right)$$

Uitgeschreven wordt dat

$$t' = \gamma \left(t - \frac{v \cdot x}{c^2} \right) \pm \gamma \left(\frac{v}{c^2} \right) \cdot \Delta x$$

Het eerste gedeelte geeft het berekende tijdstip t' aan en het tweede gedeelte is de onzekerheid rond dat tijdstip t' . Daarom geldt

$$\Delta t' = \gamma \left(\frac{v}{c^2} \right) \cdot \Delta x$$

Hetzelfde kunnen we voor de andere richting doen. Wanneer de positie x exact bekend is, terwijl het tijdstip een onzekerheid Δt bezit, schrijven we

$$t \pm \Delta t$$

Invulling in de Lorentztransformatie voor de positie geeft

$$x' = \gamma(x - v(t + \Delta t))$$

Uitgeschreven wordt dat

$$x' = \gamma(x - vt) \pm \gamma v \Delta t$$

Het eerste gedeelte geeft de berekende positie x' aan en het tweede gedeelte is de onzekerheid rond die positie x' . Daarom geldt

$$\Delta x' = \gamma v \Delta t$$

Daarmee verschijnt een eerste belangrijk resultaat. Ruimtelijke en temporele onzekerheid kunnen onder verandering van inertiaal perspectief niet los van elkaar worden behandeld. Wat in het ene stelsel uitsluitend een ruimtelijke onzekerheid is, kan vanuit een ander stelsel mede als temporele onzekerheid verschijnen. Het omgekeerde geldt eveneens.

Wanneer zowel Δx als Δt aanwezig zijn, wordt nog een derde grootheid belangrijk. De ruimtelijke en temporele afwijkingen kunnen namelijk onderling samenhangen. Stel dat wij een reeks gebeurtenissen meten. Sommige gebeurtenissen liggen iets verder weg dan gemiddeld. Wanneer juist die gebeurtenissen gemiddeld ook iets later plaatsvinden, vertonen de ruimtelijke en temporele afwijkingen een samenhang. Wanneer gebeurtenissen die verder weg liggen gemiddeld eerder plaatsvinden, bewegen de ruimtelijke en temporele afwijkingen juist in tegengestelde richting.

De statistiek drukt zo'n samenhang uit met de covariantie. Ik schrijf deze als

$$C = \text{Cov}(x, t)$$

Deze notatie betekent dat C de covariantie tussen positie x en tijd t weergeeft. De covariantie wordt berekend uit de afzonderlijke afwijkingen van x en t ten opzichte van hun gemiddelde waarden. Wanneer ik die afwijkingen als δx en δt schrijf, geldt

$$C = \langle \delta x \delta t \rangle$$

De covariantie geeft aan of de afzonderlijke afwijkingen δx en δt systematisch samen optreden. Zij vertelt daarmee iets anders dan Δx en Δt . Die twee grootheden geven aan hoe groot de totale ruimtelijke en temporele onzekerheid is, terwijl C aangeeft hoe de afzonderlijke afwijkingen binnen die onzekerheden met elkaar samenhangen.

Wanneer C positief is, gaat een grotere waarde van x dan gemiddeld meestal samen met een grotere waarde van t dan gemiddeld. Een gebeurtenis die verder weg ligt dan gemiddeld, treedt dan bijvoorbeeld ook gemiddeld later op. Wanneer C negatief is, gaat een grotere waarde van x dan gemiddeld meestal samen met een kleinere waarde van t dan gemiddeld. Een gebeurtenis die verder weg ligt dan gemiddeld, treedt dan bijvoorbeeld gemiddeld eerder op. Wanneer C gelijk is aan nul, bestaat binnen het betreffende stelsel geen lineaire samenhang tussen beide afwijkingen. Kennis van de ruimtelijke afwijking geeft dan geen aanwijzing voor de richting van de temporele afwijking.

De covariantie voegt daarmee informatie toe die Δx en Δt afzonderlijk niet bevatten. Twee verzamelingen gebeurtenissen kunnen precies dezelfde ruimtelijke en temporele onzekerheid bezitten en toch verschillend zijn opgebouwd. In de ene verzameling kunnen ruimtelijke en temporele afwijkingen vrijwel onafhankelijk van elkaar optreden. In de andere verzameling kunnen dezelfde afwijkingen sterk met elkaar samenhangen. Δx en Δt zijn in beide gevallen gelijk, maar C verschilt.

Met deze derde grootheid kunnen wij berekenen hoe de volledige onzekerheidsstructuur onder een Lorentztransformatie verandert. We beginnen met

$$x' = \gamma(x - vt)$$

Neem nu niet x en t zelf, maar hun afwijkingen ten opzichte van hun gemiddelde waarden. Ik schrijf die afwijkingen als δx en δt . Dan geldt ook

$$\delta x' = \gamma(\delta x - v\delta t)$$

Om de onzekerheid te vinden, kijken we naar het gemiddelde van het kwadraat van deze afwijking. Omdat Δx en Δt de standaardafwijkingen voorstellen, geldt

$$\begin{aligned}(\Delta x)^2 &= \langle (\delta x)^2 \rangle \\ \text{en} \\ (\Delta t)^2 &= \langle (\delta t)^2 \rangle\end{aligned}$$

We kwadrateren nu de uitdrukking voor $\delta x'$

$$(\delta x')^2 = \gamma^2 (\delta x - v\delta t)^2$$

Na uitwerking krijgen we

$$(\delta x')^2 = \gamma^2 [(\delta x)^2 + v^2(\delta t)^2 - 2v\delta x\delta t]$$

Vervolgens nemen we van alle termen het gemiddelde. Dan wordt

$$\langle (\delta x')^2 \rangle = \gamma^2 [\langle (\delta x)^2 \rangle + v^2 \langle (\delta t)^2 \rangle - 2v \langle \delta x \delta t \rangle]$$

Nu herkennen we drie grootheden. Er geldt

$$\begin{aligned}\langle (\delta x')^2 \rangle &= (\Delta x')^2 \\ \langle (\delta x)^2 \rangle &= (\Delta x)^2 \\ \langle (\delta t)^2 \rangle &= (\Delta t)^2\end{aligned}$$

en voor de covariantie geldt

$$C = \langle \delta x \delta t \rangle$$

Daaruit volgt

$$(\Delta x')^2 = \gamma^2 [(\Delta x)^2 + v^2(\Delta t)^2 - 2vC]$$

We beginnen met de Lorentztransformatie voor de tijd.

$$t' = \gamma \left(t - \frac{vx}{c^2} \right)$$

We kijken vervolgens niet naar één exacte waarde van x en t , maar naar hun afwijkingen ten opzichte van hun gemiddelde waarden. Voor de afzonderlijke afwijkingen schrijven we

$$\begin{aligned}\delta x &= x - \bar{x} \\ \text{en} \\ \delta t &= t - \bar{t}\end{aligned}$$

Omdat de Lorentztransformatie lineair is, transformeren deze afwijkingen op dezelfde manier. Voor de afwijking van t' geldt daarom

$$\delta t' = \gamma \left(\delta t - \left(\frac{v}{c^2} \right) \delta x \right)$$

Om van afzonderlijke afwijkingen naar de totale temporele onzekerheid te gaan, kwadrateren we deze vergelijking eerst.

$$(\delta t')^2 = \gamma^2 \left(\delta t - \left(\frac{v}{c^2} \right) \delta x \right)^2$$

We werken het kwadraat tussen haakjes uit. Daarbij gebruiken we de gewone regel voor het kwadraat van een verschil. Dat geeft

$$(\delta t')^2 = \gamma^2 \left(\delta t^2 + \left(\frac{v}{c^2} \right)^2 \delta x^2 - 2 \delta t \left(\frac{v}{c^2} \right) \delta x \right)$$

De factoren kunnen vervolgens worden vereenvoudigd.

$$(\delta t')^2 = \gamma^2 \left(\delta t^2 + \frac{v^2}{c^4} \delta x^2 - \left(\frac{2v}{c^2} \right) \delta x \delta t \right)$$

Tot zover gaat het nog steeds om één afzonderlijke combinatie van afwijkingen. Om de totale onzekerheid te bepalen, nemen we het gemiddelde over alle waarnemingen.

$$\langle (\delta t')^2 \rangle = \gamma^2 \left(\left\langle \delta t^2 + \left(\frac{v^2}{c^4} \right) \delta x^2 \right\rangle - \left(\frac{2v}{c^2} \right) \langle \delta x \delta t \rangle \right)$$

Nu gebruiken we de definities van de ruimtelijke en temporele onzekerheid.

$$(\Delta t')^2 = \langle \delta t'^2 \rangle$$

$$(\Delta t)^2 = \langle \delta t^2 \rangle$$

$$(\Delta x)^2 = \langle \delta x^2 \rangle$$

Voor de covariantie hadden we al gedefinieerd

$$C = \text{Cov}(x, t)$$

dat is hetzelfde als

$$C = \langle \delta x \delta t \rangle$$

Wanneer we deze vier definities in de vorige vergelijking invullen, krijgen we

$$(\Delta t')^2 = \gamma^2 \left(\left\langle \Delta t^2 + \left(\frac{v^2}{c^4} \right) \Delta x^2 \right\rangle - \left(\frac{2v}{c^2} \right) C \right)$$

Dus wiskundig gebeurt er eigenlijk niets raadselachtigs. We passen de Lorentztransformatie eerst toe op de afwijkingen rond de gemiddelde plaats en tijd. Daarna berekenen we hoe groot die afwijkingen gemiddeld zijn. Omdat de ruimtelijke en temporele afwijkingen samen in dezelfde formule voorkomen, verschijnt automatisch ook hun covariantie C .

Deze vergelijkingen laten zien dat de nieuwe ruimtelijke onzekerheid niet alleen afhangt van de oorspronkelijke ruimtelijke onzekerheid. Ook de temporele onzekerheid en de covariantie dragen eraan bij. Voor de nieuwe temporele onzekerheid geldt hetzelfde. De Lorentztransformatie koppelt dus niet alleen ruimte en tijd. Zij koppelt ook de onzekerheden in ruimte en tijd en de samenhang tussen die onzekerheden.

Ook de covariantie zelf verandert wanneer wij naar een ander inertiaal stelsel overgaan. Voor de nieuwe covariantie geldt

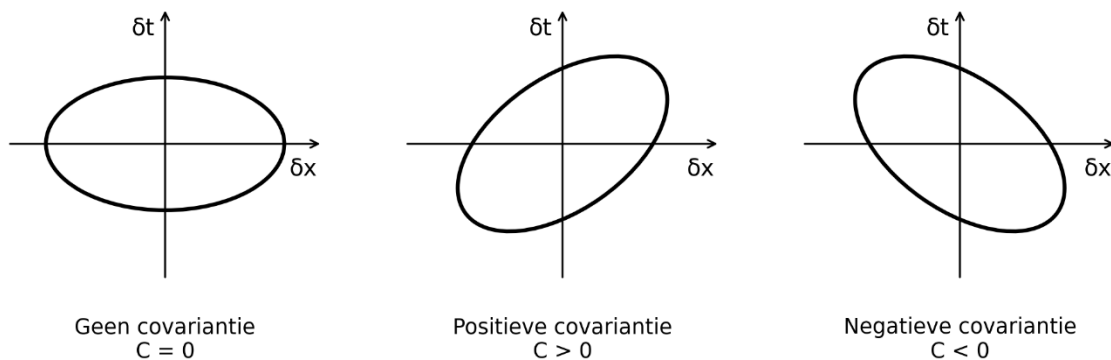
$$C' = \gamma^2 \left(\left(1 + \frac{v^2}{c^2} \right) C - \left(\frac{v}{c^2} \right) \Delta x^2 - v \Delta t^2 \right)$$

Juist deze vergelijking is voor mijn vraag bijzonder interessant. Zij laat zien dat de covariantie tussen ruimtelijke en temporele afwijkingen niet vanuit ieder inertiaal perspectief dezelfde hoeft te zijn.

Stel bijvoorbeeld dat in het eerste stelsel C gelijk is aan nul. De ruimtelijke en temporele afwijkingen vertonen daar dan geen lineaire samenhang. Vanuit een bewegend stelsel kunnen de termen met Δx en Δt er echter voor zorgen dat C' niet langer gelijk is aan nul. Dezelfde verzameling gebeurtenissen vertoont vanuit dat andere perspectief dan wel een correlatie tussen ruimtelijke en temporele onzekerheid. De Lorentztransformatie kan dus niet alleen de onzekerheden anders over ruimte en tijd verdelen. Zij kan ook veranderen hoe de ruimtelijke en temporele afwijkingen met elkaar samenhangen.

Wij kunnen dit meetkundig voorstellen. Wanneer iedere mogelijke combinatie van positie en tijdstip als een punt wordt getekend, ontstaat bij onzekerheid geen enkel punt maar een wolk van mogelijke waarden. Wanneer die wolk ongeveer de vorm van een ellips heeft, hangt haar breedte samen met Δx en haar hoogte met Δt .

De stand van de ellips vertelt iets over de covariantie. Wanneer de ellips recht staat, bestaat weinig of geen lineaire samenhang tussen positie en tijd. Wanneer zij schuin staat, gaan ruimtelijke en temporele afwijkingen systematisch samen. De schuine stand maakt daarmee zichtbaar wat de covariantie wiskundig uitdrukt.



Een Lorentztransformatie kan deze ellips uitrekken, samendrukken en kantelen. Daardoor kunnen Δx , Δt en C alle drie veranderen. Toch blijft een gezamenlijke eigenschap van deze onzekerheidsstructuur behouden. Dat hangt samen met een eigenschap van de Lorentztransformatie. Haar determinant is namelijk gelijk aan één.

De Lorentztransformatie kan voor de ruimtelijke en temporele coördinaten in matrixvorm worden geschreven als

$$L = \begin{pmatrix} \gamma & -\gamma v \\ \frac{-\gamma v}{c^2} & \gamma \end{pmatrix}$$

De eerste rij vertelt hoe x' uit x en t wordt gemaakt. De tweede rij vertelt hoe t' uit x en t wordt gemaakt. De determinant van deze matrix wordt dan

$$\det L = \begin{vmatrix} \gamma & -\gamma v \\ \frac{-\gamma v}{c^2} & \gamma \end{vmatrix}$$

Daarom volgt

$$\det L \equiv \gamma^2 - \frac{\gamma^2 v^2}{c^2}$$

Dit kunnen we schrijven als

$$\det L = \gamma^2 \left(1 - \frac{v^2}{c^2} \right)$$

Omdat

$$\gamma^2 = \frac{1}{1 - \frac{v^2}{c^2}}$$

volgt uiteindelijk

$$\det L = 1$$

Een determinant geeft bij een lineaire transformatie aan hoe een gezamenlijke oppervlakte verandert. Wanneer de determinant gelijk is aan één, kan de vorm veranderen zonder dat de overeenkomstige gezamenlijke maat verandert. De drie grootheden die we hierboven afzonderlijk hebben afgeleid, kunnen gezamenlijk in één matrix worden ondergebracht. Op de diagonaal staan de ruimtelijke en temporele variantie, terwijl de beide andere posities hun covariantie bevatten. Deze zogenoemde covariantiematrix schrijven we als Σ .

$$\Sigma = \begin{pmatrix} \Delta x^2 & C \\ C & \Delta t^2 \end{pmatrix}$$

Je kunt die matrix eigenlijk zo lezen.

$$\begin{pmatrix} \text{spreiding van } x & \text{samenhang met } x \text{ met } t \\ \text{samenhang met } t \text{ met } x & \text{spreiding van } t \end{pmatrix}$$

De twee C 's zijn gelijk, omdat de covariantie van x met t gelijk is aan de covariantie van t met x . De matrix voegt dus geen nieuwe grootheid toe. Hij organiseert alleen de drie grootheden die we al hadden. De determinant van deze matrix is

$$\det \Sigma = \Delta x^2 \cdot \Delta t^2 - C^2$$

De Lorentztransformatie verandert de afzonderlijke waarden van Δx , Δt en C , maar zij verandert niet de gezamenlijke maat die door de determinant van de covariantiematrix wordt weergegeven. Dat komt doordat de determinant van de Lorentztransformatie gelijk is

aan één. Daarom blijft ook de determinant van de covariantiematrix bij de overgang naar een ander inertiaal stelsel gelijk.

Dus voor het andere stelsel geldt uiteraard dezelfde afleiding voor de determinant, zodat

$$(\Delta x')^2(\Delta t')^2 - C'^2 = (\Delta x)^2(\Delta t)^2 - C^2$$

De ruimtelijke onzekerheid kan dus veranderen. Ook de temporele onzekerheid kan veranderen. Zelfs hun covariantie kan veranderen. Toch blijft deze combinatie van de drie grootheden onder de Lorentztransformatie gelijk. Wij kunnen daarom een gezamenlijke maat J definiëren.

$$J = \sqrt{(\Delta x)^2 \cdot \Delta t^2 - C^2}$$

Omdat voor een covariantie altijd geldt dat C^2 niet groter kan zijn dan $(\Delta x)^2(\Delta t)^2$, kan de uitdrukking onder de wortel niet negatief worden. J heeft de dimensie ruimte maal tijd. Zij houdt rekening met de omvang van zowel de ruimtelijke als de temporele onzekerheid en met de mate waarin beide met elkaar samenhangen.

Daarbij speelt de covariantie een wezenlijke rol. Wanneer Δx en Δt afzonderlijk worden bekeken, zien wij slechts twee onzekerheden. Wanneer C wordt meegenomen, verschijnt hun gezamenlijke structuur. De Lorentztransformatie kan de afzonderlijke onzekerheden en hun onderlinge correlatie veranderen, terwijl J als gezamenlijke maat behouden blijft.

Tot hier hebben Δx , Δt en C uitsluitend betrekking op een statistische onzekerheidsstructuur. Binnen mijn filosofie krijgt deze mathematische structuur vervolgens een andere inhoudelijke toepassing. Het persoonlijke bewustzijn wordt binnen één stelsel niet door één mathematisch punt in ruimte en tijd beschreven, maar kent een zekere ruimtelijke lokalisatie en een temporele breedte van de NU duur. Δx geeft binnen deze toepassing de ruimtelijke breedte van de lokalisatie van het persoonlijke bewustzijn weer en Δt de temporele breedte van de NU duur. De covariantie C geeft aan in hoeverre ruimtelijke en temporele afwijkingen binnen dit ervaringsvenster systematisch met elkaar samenhangen. Voor deze formele toepassing worden de ruimtelijke en temporele waarden binnen het ervaringsvenster behandeld als grootheden die rond gemiddelde waarden kunnen variëren, zodat hun covariantie kan worden bepaald.

Daarmee krijgt ook J een ervaringsmatige betekenis. J beschrijft de gezamenlijke ruimtelijk temporele omvang van het ervaringsvenster binnen één stelsel. De statistische onzekerheden worden daarmee niet gelijkgesteld aan ervaringsonzekerheden. Hun mathematische structuur wordt gebruikt om de samenhang tussen de ruimtelijke lokalisatie van het persoonlijke bewustzijn en de temporele breedte van zijn NU duur formeel te beschrijven.

Daarmee hebben wij vanuit de speciale relativiteit iets gevonden dat voor de ervaringsonzekerheidsrelatie relevant is. Ruimtelijke en temporele onzekerheid vormen onder verandering van inertiaal perspectief geen twee onafhankelijke grootheden. Zij

worden met elkaar gekoppeld, hun onderlinge correlatie kan veranderen en toch blijft een gezamenlijke maat van hun onzekerheidsstructuur behouden.

Dit resultaat moet echter zorgvuldig worden begrepen. De speciale relativiteit levert hiermee nog geen ervaringsonzekerheidsrelatie op. Zij schrijft nergens voor dat J een minimale positieve waarde moet bezitten. Mathematisch blijft ook $J = 0$ mogelijk. Wanneer positie en tijdstip exact bepaald zijn, blijft een exact bepaalde gebeurtenis onder een Lorentztransformatie exact bepaald. De speciale relativiteit levert daarom geen ondergrens voor de gezamenlijke ruimtelijke en temporele onzekerheid.

Toch is de uitkomst niet gering. Zonder de ervaringsonzekerheidsrelatie als uitgangspunt te nemen, blijkt uit de speciale relativiteit dat onzekerheid in ruimte en onzekerheid in tijd samen met hun covariantie één gekoppelde mathematische structuur vormen. De theorie beschrijft exact hoe deze structuur tussen verschillende inertiaal perspectieven verandert.

Daar begint mijn eigen vraag. De speciale relativiteit vertelt hoe een reeds aanwezige ruimtelijk temporele onzekerheidsstructuur tussen verschillende perspectieven wordt herschikt. Zij vertelt niet of de gezamenlijke maat J binnen menselijke ervaring willekeurig klein kan worden. Wanneer ruimte en tijd voortkomen uit de wijze waarop werkelijkheid binnen een gelokaliseerde ervaring actualiseert, kan binnen die ervaring een grens bestaan aan hun gelijktijdige bepaaldheid.

Die grens kan niet uit de wiskunde van de speciale relativiteit worden afgeleid. Zij mag evenmin uit de ervaringsonzekerheidsrelatie zelf worden verondersteld. Wanneer J binnen menselijke ervaring werkelijk een positieve ondergrens bezit, moet daarvoor onafhankelijk steun worden gevonden in de structuur van de ervaring.

Wat betekent dit zonder de wiskunde

De speciale relativiteit laat zien dat ruimte en tijd niet los van elkaar veranderen wanneer het perspectief van een waarnemer verandert. Wanneer er onzekerheid bestaat over waar en wanneer een gebeurtenis plaatsvindt, blijken ook die onzekerheden met elkaar verbonden. Een onzekerheid over de plaats kan vanuit een ander inertiaal perspectief mede verschijnen als onzekerheid over het tijdstip. Omgekeerd kan een onzekerheid over het tijdstip bijdragen aan onzekerheid over de plaats. De Lorentztransformatie koppelt dus niet alleen ruimte en tijd aan elkaar, maar ook de onzekerheden waarmee plaats en tijd worden bepaald.

Daar komt nog iets bij. Ruimtelijke en temporele onzekerheid kunnen binnen één perspectief sterker of zwakker met elkaar samenhangen dan binnen een ander perspectief. Vanuit het ene inertiale stelsel kan nauwelijks samenhang bestaan tussen beide onzekerheden, terwijl vanuit een ander stelsel wel een duidelijke correlatie ontstaat. Ook die correlatie behoort dus tot de relativistische structuur.

Toch verandert niet alles. De afzonderlijke ruimtelijke onzekerheid, de afzonderlijke temporele onzekerheid en hun onderlinge correlatie kunnen veranderen, terwijl een gezamenlijke maat van die onzekerheidsstructuur behouden blijft. De speciale relativiteit behandelt ruimtelijke en temporele onzekerheid daarmee als onderdelen van één samenhangend geheel.

De speciale relativiteit levert daarmee nog geen ervaringsonzekerheidsrelatie op. Zij schrijft geen minimale gezamenlijke onzekerheid voor. Een gebeurtenis kan binnen de theorie in beginsel exact in ruimte en tijd worden bepaald en blijft dan ook vanuit een ander inertiaal perspectief exact bepaald.

Precies daar sluit mijn filosofie aan. De speciale relativiteit laat zien dat ruimtelijke en temporele onzekerheid één gekoppelde en gecorreleerde structuur vormen. Mijn filosofie stelt dat ruimte en tijd binnen een gelokaliseerde ervaring uit dezelfde actualisering voortkomen. Daardoor behoren ook hun bepaaldheden tot één onderling verbonden en gecorreleerde structuur.

De volgende vraag luidt daarom of binnen de menselijke ervaring bovendien een grens bestaat aan de mate waarin ruimte en tijd gelijktijdig scherp kunnen worden bepaald. Wanneer winst aan temporele bepaaldheid gepaard gaat met verlies aan ruimtelijke bepaaldheid, of omgekeerd, verschijnt precies de wederzijdse begrenzing die de ervaringsonzekerheidsrelatie beschrijft. Daarom wordt vanaf dit punt psychofysisch onderzoek beslissend.

Van mathematische koppeling naar ervaringsmatige begrenzing

De speciale relativiteit vertelt ons hoe een bestaande ruimtelijk temporele onzekerheidsstructuur tussen verschillende perspectieven wordt herschikt. Zij vertelt ons niet of die gezamenlijke onzekerheid willekeurig klein kan worden. Wanneer ruimte en tijd voortkomen uit de wijze waarop werkelijkheid binnen een gelokaliseerde ervaring actualiseert, rijst daarom de vraag of binnen die ervaring een grens bestaat aan hun gelijktijdige bepaaldheid. Juist op dit punt wordt psychofysisch onderzoek relevant.

Psychofysisch onderzoek heeft langs verschillende wegen laten zien dat ruimtelijke en temporele bepaaldheid in de menselijke waarneming niet onafhankelijk van elkaar functioneren. Manahilov en Simpson brachten ruimtelijk temporele drempelcontouren in kaart en lieten daarmee zien dat de grens van wat kan worden waargenomen mede door de combinatie van ruimtelijke en temporele verschillen wordt bepaald. Yeshurun en Carrasco lieten zien dat ruimtelijke aandacht de ruimtelijke resolutie kan verbeteren. Yeshurun en Levy onderzochten vervolgens de gevolgen van ruimtelijke aandacht voor de temporele resolutie en vonden dat die daardoor juist kan afnemen. In vervolgonderzoek werd dit verlies aan temporele resolutie opnieuw aangetoond.

Gepshtein en Kubovy onderzochten de waarneming van schijnbare beweging door ruimtelijke en temporele afstanden gezamenlijk te variëren. Zij vonden dat beide grootheden elkaar onder bepaalde omstandigheden daadwerkelijk kunnen compenseren. Bij lage snelheden kon een verandering van de ruimtelijke afstand worden gecompenseerd door een tegengestelde verandering van de temporele afstand. Bij hogere snelheden veranderde deze verhouding, maar ook daar bleven beide grootheden gezamenlijk bepalend voor de waarneming. In een verwante theoretische analyse beschreven Gepshtein, Tyukin en Kubovy de ruimtelijke en temporele gevoeligheid van het visuele systeem vanuit een evenwicht tussen verschillende vormen van meetonzekerheid.

Het meest rechtstreeks voor de hier onderzochte vraag is echter het experiment van Bocanegra en Zeelenberg. Zij maten de ruimtelijke en temporele drempelresolutie met vergelijkbare visuele taken en veranderden de toestand van het visuele systeem door vooraf een neutraal of angstig gezicht aan te bieden. Een angstig gezicht veroorzaakte niet eenvoudig een algemene verbetering of verslechtering van de waarneming. De twee vormen van resolutie veranderden juist in tegengestelde richting. De onderzoekers vonden dat snelle temporele verwerking werd gewonnen ten koste van fijnmazige ruimtelijke verwerking. In de toestand waarin de temporele resolutie verbeterde, verslechterde de ruimtelijke resolutie.

Daarmee is experimenteel vastgesteld dat winst aan temporele bepaaldheid binnen de ervaring gepaard kan gaan met verlies aan ruimtelijke bepaaldheid. Dat bewijst nog niet de specifieke ondergrens die de ervaringsonzekerheidsrelatie veronderstelt. Het ondersteunt wel haar centrale gedachte dat ruimtelijke en temporele bepaaldheid elkaar binnen de ervaring kunnen begrenzen.

Juist daar ontstaat de verbinding met de speciale relativiteit. De speciale relativiteit beschrijft mathematisch dat ruimtelijke en temporele bepaaldheid onder verandering van inertiaal perspectief niet onafhankelijk van elkaar veranderen. De psychofysica laat zien dat ook binnen de menselijke ervaring een samenhang tussen ruimtelijke en temporele bepaaldheid aantoonbaar is en dat winst in de ene dimensie onder bepaalde omstandigheden gepaard kan gaan met verlies in de andere.

Daarmee komen drie lijnen bij elkaar. De speciale relativiteit toont dat ruimtelijke en temporele bepaaldheid mathematisch één gekoppelde structuur vormen. De psychofysica laat zien dat deze koppeling ook binnen de menselijke ervaring werkzaam is en dat winst aan bepaaldheid in de ene dimensie onder bepaalde omstandigheden gepaard gaat met verlies aan bepaaldheid in de andere. De ervaringsonzekerheidsrelatie brengt beide bevindingen samen door deze wederzijdse begrenzing te begrijpen als een structurele eigenschap van gelokaliseerde ervaring. Daarmee krijgt de gedachte dat de relativistische verwevenheid van ruimte en tijd mede kan samenhangen met de voorwaarden waaronder werkelijkheid voor een waarnemer tot ervaring komt zowel mathematische als empirische ondersteuning.

De ervaringsonzekerheidsrelatie als grondstructuur van ervaring

De ervaringsonzekerheidsrelatie beschrijft de ruimtelijke en temporele begrenzing van het persoonlijke bewustzijn binnen het universele bewustzijn. Een persoonlijk bewustzijn bevindt zich nooit in een mathematisch punt in ruimte en tijd, maar kent binnen ieder stelsel een zekere ruimtelijke lokalisatie Δx en een temporele breedte Δt van de NU duur. Deze twee grootheden staan niet los van elkaar. Hun onderlinge samenhang wordt mede uitgedrukt door de covariantie C .

De gezamenlijke ruimtelijk temporele omvang van dit ervaringsvenster wordt in het wiskundige gedeelte aangeduid met J . Deze maat houdt niet alleen rekening met de afzonderlijke ruimtelijke en temporele breedte van de ervaring, maar ook met hun onderlinge samenhang. Wanneer de covariantie gelijk is aan nul, valt deze uitgebreidere beschrijving terug op de oorspronkelijke vorm van de ervaringsonzekerheidsrelatie.

Binnen mijn model veronderstel ik vervolgens dat deze gezamenlijke ruimtelijk temporele omvang van het ervaringsvenster niet willekeurig klein kan worden. De ervaringsonzekerheidsrelatie drukt daarmee uit dat de ruimtelijke lokalisatie van het persoonlijke bewustzijn en de temporele breedte van zijn NU duur gezamenlijk niet tot een mathematische grens zonder ruimtelijk temporele omvang kunnen worden teruggebracht. De constante Λ bepaalt daarbij de schaal van deze minimale gezamenlijke omvang.

De betekenis van de ervaringsonzekerheidsrelatie reikt daarmee verder dan haar mathematische formulering. Zij biedt een grondstructuur waarmee verschillende vormen van bewustzijnservaring kunnen worden onderzocht. Zij kan bijvoorbeeld inzicht geven in het verschil tussen wachten en volledig opgaan in een handeling en in de veranderde tijdservaring tijdens meditatie of flow. Zij maakt bovendien begrijpelijk waarom veranderingen in ruimtelijke of temporele verankering gevolgen kunnen hebben voor aanwezigheid, continuïteit en zelfervaring.

De grondstructuur die met de EOR wordt beschreven, kan vervolgens helpen om concrete veranderingen van de bewustzijnservaring te begrijpen. Dementie vormt daarvan binnen mijn filosofie een belangrijk voorbeeld. In een samenhangende ervaring overlappen opeenvolgende NU duren elkaar gedeeltelijk. Een ervaringsmoment verdwijnt daardoor niet volledig voordat het volgende zich aandient. Die overlap maakt continuïteit mogelijk en draagt bij aan herkenning en aan het gevoel dezelfde persoon te blijven door de tijd heen. Het emergente ik kan zich binnen deze voortdurende samenhang als een betrekkelijk stabiel verschijnsel handhaven.

Bij dementie raakt volgens mijn model juist deze samenhang steeds verder verstoord. De NU duur wordt korter, opeenvolgende ervaringsmomenten overlappen minder en ook de intensiteit waarmee ervaring zich aandient kan afnemen. Daardoor kan ervaring zichzelf steeds moeilijker over opeenvolgende momenten heen dragen. Het emergente ik wordt minder stabiel en kan steeds momentaner verschijnen, terwijl het bewustzijn zelf daarmee niet noodzakelijk verdwijnt. Herkenning, oriëntatie en zelfgevoel kunnen hierdoor

instabieler worden. Ook gevoelens van leegte, apathie of somberheid kunnen binnen deze verarmde ervaringsdynamiek begrijpelijk worden.

De EOR verklaart daarmee niet de medische oorzaak van dementie. Zij biedt wel een ruimtelijk en temporeel raamwerk waarbinnen kan worden begrepen wat er met de samenhang van het persoonlijke bewustzijn gebeurt wanneer neurologische beschadiging de continuïteit van ervaring aantast. Dementie laat daarmee zien hoe een verandering in de structuur van ervaring kan doorwerken in herkenning, identiteit en het emergente ik.

Op het tabblad **Animaties** van deze website kunnen zowel de ervaringsonzekerheidsrelatie zelf als de toepassing ervan op dementie interactief worden onderzocht. In de animatie **Onzekerheidsrelatie** kan de bezoeker zelf Δx en Δt veranderen en zien hoe hun verhouding volgens de EOR samenhangt met de ruimtelijke lokalisering en de temporele breedte van het persoonlijke bewustzijn. In de afzonderlijke animatie **Dementie** kan de bezoeker onderzoeken wat er volgens het model gebeurt wanneer de NU duur afneemt, opeenvolgende ervaringsmomenten steeds minder met elkaar overlappen en ook de ervaringsintensiteit afneemt. De eerste animatie maakt daarmee de fundamentele verhouding tussen ruimte en tijd binnen het persoonlijke bewustzijn zichtbaar, terwijl de tweede laat zien hoe een verstoring van die ervaringsstructuur kan doorwerken in de continuïteit van het persoonlijke bewustzijn. Samen maken beide animaties zichtbaar hoe mijn filosofie de abstracte structuur van ruimte en tijd verbindt met concrete vormen van menselijke ervaring.

Daarmee komen de drie lijnen van dit essay opnieuw samen. De filosofische benadering wijst op een gemeenschappelijke oorsprong van ruimte en tijd in de gelokaliseerde ervaring, de speciale relativiteit maakt hun mathematische verwevenheid zichtbaar en de psychofysica laat zien dat ruimtelijke en temporele bepaaldheid elkaar binnen de menselijke waarneming daadwerkelijk kunnen begrenzen. Vanuit deze convergentie verschijnt de ervaringsonzekerheidsrelatie als de formele uitdrukking van een mogelijke grondstructuur van ervaring.

$$\sqrt{(\Delta x^2 \cdot \Delta t^2 - C^2)} \geq \frac{\Lambda}{2}$$

Bronnen

- Bergson, H. (1889). *Essai sur les données immédiates de la conscience*. Félix Alcan.
- Bocanegra, B. R., & Zeelenberg, R. (2011). Emotion-induced trade-offs in spatiotemporal vision. *Journal of Experimental Psychology: General*, 140(2), 272–282. doi 10.1037/a0023188
- Einstein, A. (1905). Zur Elektrodynamik bewegter Körper. *Annalen der Physik*, 17, 891–921. doi 10.1002/andp.19053221004
- Einstein, A. (1924). Elsbachs Buch: Kant und Einstein. *Deutsche Literaturzeitung*, 45, 1685–1692.
- Gepshtein, S., & Kubovy, M. (2007). The lawful perception of apparent motion. *Journal of Vision*, 7(8), Article 9, 1–15. doi 10.1167/7.8.9
- Gepshtein, S., Tyukin, I., & Kubovy, M. (2007). The economics of motion perception and invariants of visual sensitivity. *Journal of Vision*, 7(8), Article 8, 1–18. doi 10.1167/7.8.8
- James, W. (1890). *The principles of psychology* (Vol. 1). Henry Holt and Company.
- Kant, I. (2004). *Kritiek van de zuivere rede*. Vertaling en annotaties door Jabik Veenbaas en Willem Visser. Amsterdam, Boom.
- Manahilov, V., & Simpson, W. (1999). Energy model for contrast detection: Spatiotemporal characteristics of threshold vision. *Biological Cybernetics*, 81, 61–71. doi 10.1007/s004220050544
- Yeshurun, Y. (2004). Isoluminant stimuli and red background attenuate the effects of transient spatial attention on temporal resolution. *Vision Research*, 44(12), 1375–1387. doi 10.1016/j.visres.2003.12.016
- Yeshurun, Y., & Carrasco, M. (1999). Spatial attention improves performance in spatial resolution tasks. *Vision Research*, 39(2), 293–306. doi 10.1016/S0042-6989(98)00114-X
- Yeshurun, Y., & Levy, L. (2003). Transient spatial attention degrades temporal resolution. *Psychological Science*, 14(3), 225–231. doi 10.1111/1467-9280.02436