

Visualisatie Causaliteit als Proces

Inhoudsopgave

1.0 Visualisaties onder de loep.....	2
1.1 Alles beweegt.....	3
1.2 Visualisaties in constructie, elektriciteit en elektronica.....	4
1.3 Technische middelen zijn zinloos als de inhoud niet klopt.....	5
1.4 Misvattingen over Natuurlijke Selectie van Darwin.....	8
1.5 Valkuilen van de statistiek.....	10
1.6 Verzamelingenleer werkt niet voor ecologische systemen.....	14
1.7 Gerichte Gewogen Grafen en Gerichte grafen.....	16
1.8 Bijdrage tot AI geletterdheid.....	18
2.0 Overzicht verschillende benaderingen van Causaliteit.....	19
3.0 Causaliteit in de modale logica versus implicatie in de klassieke logica.....	21
4.0 Visualisatie van oorzakelijkheid als proces met grafen.....	24
4.1 Causaliteit als proces en uitwisseling energie.....	24
4.2 Causale triplets, integratie van beeld en tekst.....	24
4.3 Proces structuur met tijd als onderdeel van de structuur.....	26
4.4 Metingen, waarnemingen en tijdsvenster bij discrete processen.....	26
4.5 Hyperlinks naar het bewijs.....	27
5.0 Een voorstel voor een Proces Notatie.....	27
5.1 Interne Proces Structuur.....	27
Eerste Axioma.....	27
Operatoren.....	27
Tijdsvenster en andere tijdsparameters waarnemingen en/of metingen.....	28
5.2 Externe proces structuur.....	30
Toegelaten operatoren.....	30
Tweede Axioma.....	31
6.0 Discussie.....	31
6.1 Paradoxen van de implicatie in de klassieke logica.....	31
6.2 Constructieve logica.....	34
6.3 Nog op te lossen problemen ivm interdisciplinariteit.....	36

1.0 Visualisaties onder de loep

Vandaag moet men zich bij elke visualisatie afvragen of ze gemaakt is met AI of niet. Het aantal beelden per seconde (frames per seconde of fps) is de snelheid waarmee een reeks foto's elkaar opvolgen om een analoog bewegend beeld te vormen. De belangrijkste normen zijn 24 fps voor films en 30 fps voor normale video's. Bij 3D scanners spreekt men niet langer van frames. Daar wordt de scansnelheid doorgaans weergegeven door het aantal 3D-gegevenspunten dat het systeem per seconde van het oppervlak van een object kan vastleggen en verwerken. 3D-scanners verwerken 3D beeldpunten aan snelheden variërend van enkele tienduizenden tot honderdduizenden punten per seconden. Dat op die manier vervalsen van bewegend beeld een enorme rekencapaciteit nodig is, spreekt voor zich, maar toch doet men het.

Voor het digitaal tijdperk werd er ook al geknipt, geplakt en geretoucheerd, maar nu is het hek helemaal van de dam. Reden genoeg om bij visualisaties kritisch te blijven, want beelden hebben dikwijls meer invloed dan om het even welk rationeel argument. Hoe bereiden leraars en docenten leerlingen en studenten voor op die fake wereld¹? AI wordt ook gebruikt om social bots te sturen die desinformatie verspreiden². Ondertussen zijn ook 'clickfarms' onderbetaalde platform arbeid geworden³. Wat of wie kunnen ze nog geloven.

"Hannah Arendt zag dat mechanisme al lang voor de komst van de smartphone. Wanneer mensen voortdurend worden voorgelogen, stelde ze, gaan ze niet noodzakelijk de leugens geloven, maar uiteindelijk niets meer. En wie niets meer gelooft, verliest ook het vermogen om te denken en te oordelen."⁴

Sedert 2 augustus 2026 is de Europese [AI Act](#) van 13 juni 2024 van toepassing. Vanaf dan moeten bedrijven eerlijk zeggen wanneer ze AI gebruiken. 'Transparantieplichting' heet dat in de AI Act. Zet een immobiëlen website een AI-afbeelding online in plaats van een echte foto? Dan moet er vanaf nu bij staan dat die afbeelding met AI is gemaakt of bewerkt. Maar op dat moment heeft noch België, noch Nederland al een toezichthouder⁵, die net als in de [DSA act](#) en [DMA act](#) het aanspreekpunt is nationaal voor de burgers. Ondanks de juridisch rompslomp die dat meebrengt is er hoop voor de toekomst.

- 1 Vaino, K., Korfiatis, K., Astapova, A. et al. Navigating Post-truth: Challenges and Opportunities for Science Education Through Evolving Scientific Literacy Visions. Sci & Educ (2026). <https://doi.org/10.1007/s11191-026-00736-6>, <<https://link.springer.com/article/10.1007/s11191-026-00736-6>>.
- 2 Disinformation in Social Media: The Challenges of Artificial Intelligence. Brit J Manage, 33: 1238-1253. <https://doi.org/10.1111/1467-8551.12554>
- 3 Grohmann, R., Aquino, M. C., Rodrigues, A., Matos, E., Govari, C., & Amaral, A. (2026). Click farm as platform labor: Human bots in parasite platforms. Media International Australia, 0(0), <https://journals.sagepub.com/doi/full/10.1177/1329878X261425312>.
- 4 Temicheva, Hava, 30 juli 2026, Wanneer niets meer waar is, wordt alles mogelijk, Opinie in de krant De Standaard, <<https://www.standaard.be/opinies/wanneer-niets-meer-waar-is-wordt-alles-mogelijk/159389397.html>>.
- 5 vrt nws, 2 augustus 2026, Strengere regels maar geen toezichthouder: hoe ver staat België met de Europese wetgeving rond AI die vandaag ingaat?, <https://www.vrt.be/vrtnws/nl/2026/07/29/geen-toezichthouder-wel-al-strengere-regels-hoe-ver-staat-belg/>

Maar dit veronderstelt wel enige AI geletterdheid, zoals door de komst van internet digitale geletterdheid noodzakelijk werd. Uit onderzoek door het Centrum voor digitale inclusie aan de Universiteit Twente in 2011 bleek dat door de algemene verspreiding van internet, de kennis kloof tussen laag opgeleiden en hoog opgeleiden niet afnam maar eerder toenam door een gebrek aan digitale geletterdheid⁶.

Er is dus nog een lange weg te gaan. Het is onder andere in het onderwijs dat daarvoor mogelijkheden liggen.

In een bredere context, welke vragen kunnen gesteld worden?

- Geeft de visualisatie een bestaande werkelijkheid weer?
- Is de visualisatie verhelderend?
- Is ze functioneel?
- Zorgt ze voor eenduidige interpretatie?
- Zijn beeld en tekst samen relevant?
- Welke kennis is nodig om ze te begrijpen?
- Welke visualisaties ontbreken er?

De lezer wordt uitgenodigd om ook zelf suggesties te doen.

1.1 Alles beweegt

Na de tweede wereldoorlog deed het bewegend beeld zijn intrede in de huiskamer. In 1989 integreerde Tim Berners-Lee beeld, tekst en tekstopmaak voor digitale transmissie (HTML). Het intussen opgerichte World Wide Web Consortium (W3C) definieerde in 2001 Scalable Vector Graphics (SVG). SVG beschrijft afbeeldingen die bestaan uit tekst, vectoren en rasterafbeeldingen met dezelfde functionaliteit als HTML. SVG is onderdeel van het semantische web gebaseerd op XML. Deze protocols laten niet alleen toe bewegende beelden te bekijken, maar je kan ook enorme stilstaande beelden tot in het kleinste detail bestuderen via de zoom-in en zoom-out functie zoals bijvoorbeeld het tapijt van Bayeux.

Die faciliteiten vind je niet in gedrukte boeken. Daar staat noodgedwongen elk beeld stil. Toch worden nog altijd gedrukte leerboeken verspreid in het onderwijs. Zelfs boeken die maar een jaar gebruikt kunnen worden en ouders op kosten jagen, de fameuze invulboeken. De in 2022 opgerichte Kwaliteitsalliantie leermiddelen pleitte in 2024 voor het [afschaffen van die invulboeken](#). Sedert 19 februari 2026 is er een Kwaliteitslabel leermiddelen beschikbaar. Maar als je de begeleidende nota bij het label leest, dan stel je vast dat de richtlijnen allesbehalve eenduidig zijn, de uitvoering omslachtig is en dat er geen extra middelen voor zullen vrij gemaakt worden⁷. Het is ook merkwaardig dat de grootste uitgeverij van leerboeken, Van In uit Lier, ondertussen overgenomen door door de Nederlandse boekengigant VNU, geen publieke lijst van beschikbare boeken publiceert. Je moet ingelogd zijn om achter die informatie te komen.

6 Van Deursen, A.J.A.M. & Helsper, E.J. (2020). Digitale vaardigheden: een onderzoeks- en beleidsagenda, Enschede: Centrum voor digitale inclusie, Universiteit Twente, https://www.eerstekamer.nl/overig/20211221/digitale_vaardigheden_een/document.

7 Leerpunt, Kwaliteitslabel leermiddelen, Begeleidende nota, VR 2025 1912 MED.0511/2, <https://themis.vlaanderen.be/files/2f55e5a0-d98d-11f0-9f89-8b390237f631/download>. p. 3.

Bij JMU Library Pressbooks vindt je niet alleen de lijst van de boeken online, de boeken zijn gewoon publiek beschikbaar ter inzage in HTML. Ze bevatten naast gedegen wetenschappelijke teksten, ook beeld en bewegend beeld. Hier zie je [cataloog](#) van de online boeken. Ze zijn [Creative Commons Attribution NonCommercial](#).

Engelstaligen hebben natuurlijk het voordeel dat ze, net als de Chinezen en Spaanstaligen, publiceren voor een heel groot taalgebied. In Europa zijn de taalgebieden versnipperd. Top-down is zo'n project hier niet realiseerbaar, maar bottom-up met Europese subsidies kan het wel lukken. Alleen het is nog nooit geprobeerd.

1.2 Visualisaties in constructie, elektriciteit en elektronica

Plannen voor constructies en gebouwen, en schema's voor elektriciteit en elektronica zijn onmisbaar. De regels om die te maken en te interpreteren zijn stringent en dat moet ook zo, want er is als het ware een relatie tussen beeld en bedoelde uitkomst. Wanneer uitvoerders deze schema's fout interpreteren kan dit desastreuze gevolgen hebben.

Een bekend rampzalig incident in de ruimtevaart is het verlies van de '[Mars Climate Orbiter](#)' van de NASA in 1999. Het ruimtevaartuig ter waarde van 125 miljoen dollar verbrandde in de atmosfeer van Mars omdat het ene team van ingenieurs metrische eenheden (decimale) gebruikte, terwijl het andere team imperiale eenheden (het Anglo-Amerikaans systeem) gebruikte.

Minder spectaculair en dichterbij huis, het verhaal over de aannemer/metser die op een plan de binnen afmetingen had verwisseld met de buiten afmetingen. Gevolg de oppervlakte van de keuken was kleiner dan bedoeld met als resultaat dat de bestelde inbouwkeuken niet paste in de voorziene ruimte.

Elektriciteit is bovendien gevaarlijk. Een condensator meet je pas uit door hem eerst veilig te ontladen, los te koppelen van de schakeling en de multimeter in te stellen op de aangepaste capaciteit. Doe je dat niet en je benadert zonder aan te raken met een geïsoleerde schroevendraaier, de uitgangen van die condensator, die geladen is met 10.000 ampère in een wisselstroom circuit van 480 volt dan springen er al vonken over op 30 cm. Die ampèrages en voltages zijn gewoon bij puntlassen. Dus eerst veilig ontladen en loskoppelen is de boodschap.

Elektronica werkt meestal op laagspanning van 6 à 12 volt en zeer lage ampèrages, maar het werkt wel of het werkt niet. Een verkeerde schakeling volstaat meestal om een toestel onklaar te maken. Dit is als in de fysica, formules, procedures, protocollen en algoritmen moeten kloppen.

Als men alle wetenschappen op een lijn zet kan je twee bewegingen waarnemen in tegengestelde richting. De eerste richting is die van elementair naar complex, beginnende bij fysica, scheikunde en thermodynamica, gaande over biologie, evolutieleer, ecologie, geneeskunde, neurologie, psychologie, economie, sociologie en geschiedenis. De tweede richting die paradoxaal genoeg in omgekeerde richting verloopt is deze van het concreet met het blote oog waarneembare naar het meest abstracte model van atomen.

Het online boek '[Chemistry](#)' start bij de atomen en bevat tal van correcte visualisaties met tekst en context. [Pin on physics and math](#) is ook een indrukwekkende collectie, maar zonder tekst of context. Insgelijks ook op Pinterest de visualisaties voor [thermodynamica](#) en [chemie](#). Pinterest

draait vooral rond beelden. De tekstuele uitleg ontbreekt meestal. Wel een interessant leerplatform voor het secundair onderwijs waar beeld en tekst zijn geïntegreerd, is [Geeks for Geeks](#). Je vindt er voor alle hoofdvakken degelijke cursussen in het Engels.

1.3 Technische middelen zijn zinloos als de inhoud niet klopt

We kennen ze allemaal, de tijdlijnen uit de geschiedenisles, maar proportioneel zijn ze maar zelden zoals je kan zien in voorbeeld Afbeelding 1. Bron: '[Explain Everything](#)':

"The leading online whiteboard for teaching"

een divisie van de groep [Promethean](#). De groep promoot zichzelf als:

"Promethean creates interactive displays and technology that turn classrooms and workplaces into engaging, collaborative spaces."

De site is in het Engels maar het voorbeeld is in het Spaans. Het moet de volledige geschiedenis van de mensheid weergeven. Ik vertaal de bovenste lijn naar het Nederlands.

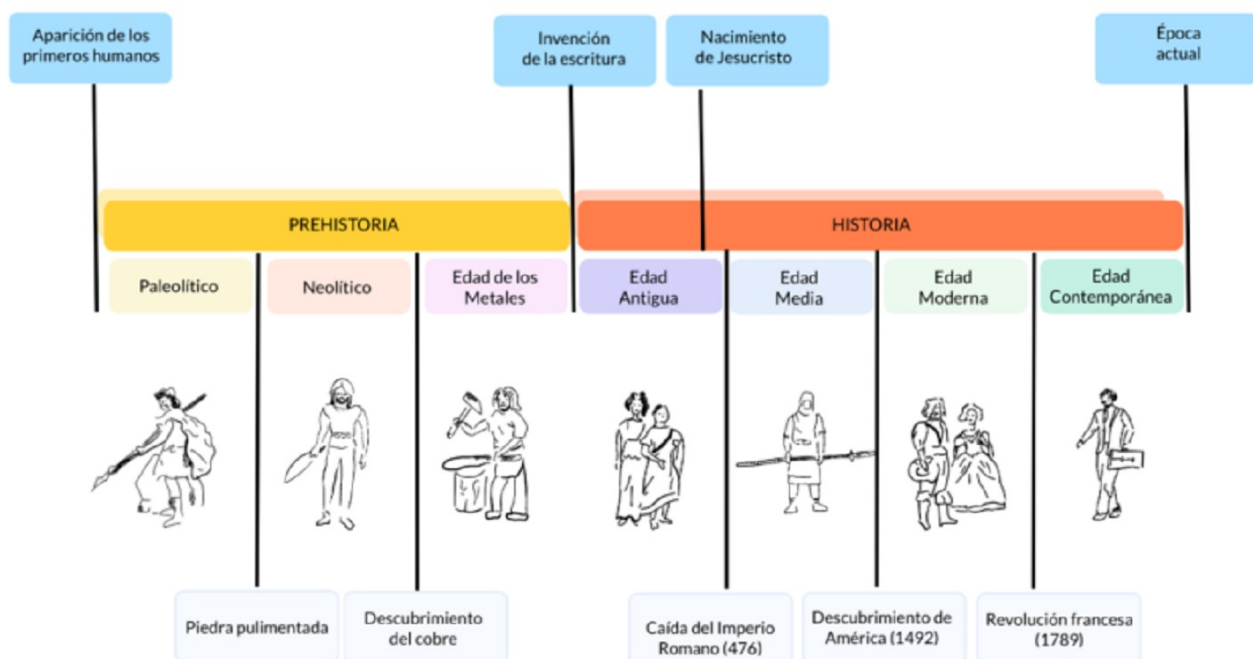
Het verschijnen van de eerste mensen.

De uitvinding van het schrift.

De geboorte van Jezus Christus.

Huidig tijdperk.

Daaronder krijg je dan Prehistorie en Historie.

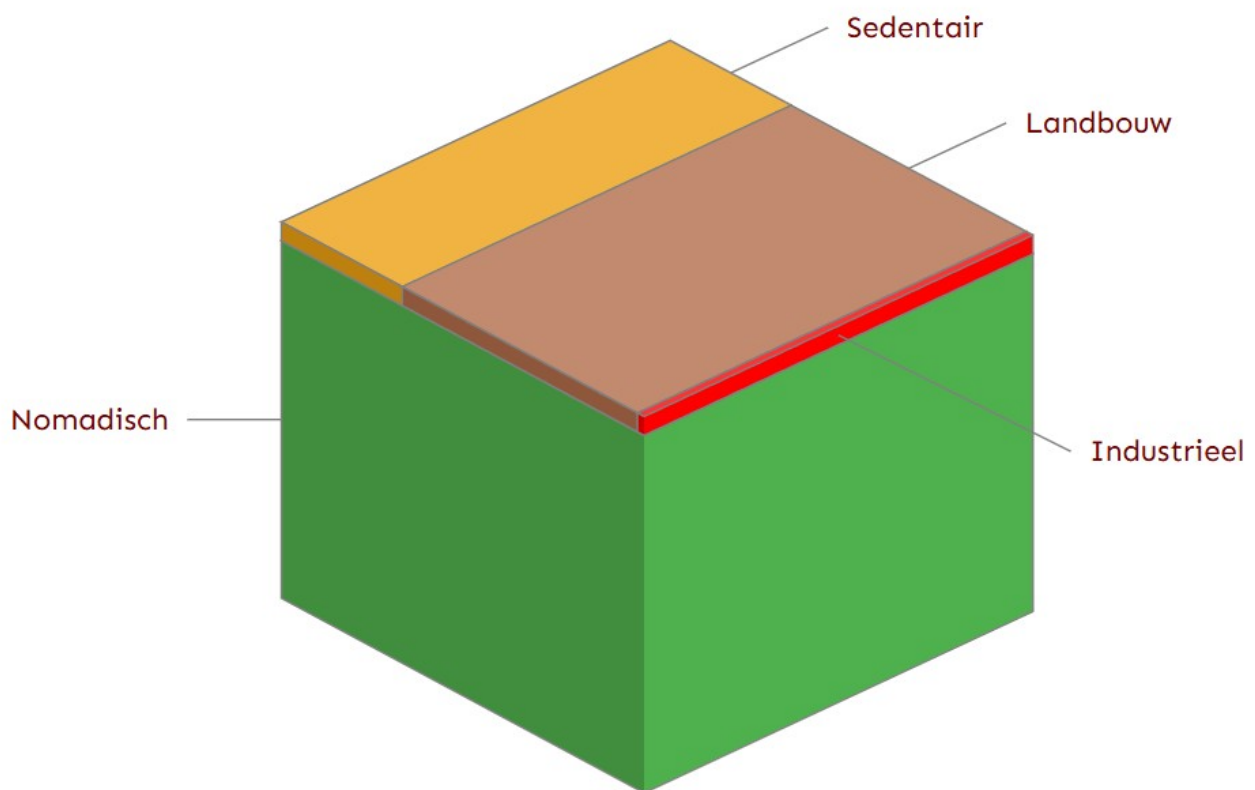


Afbeelding 1: Disproportionele tijdlijn voorgesteld door 'Explain Everything'.

De visualisatie laat blijken dat de prehistorie korter – of minder belangrijk is - dan de geschreven geschiedenis. Het schrift is in Mesopotamië uitgevonden ongeveer 3300 jaar voor onze tijdrekening, (zo'n 5330 jaar geleden). De Homo Sapiens splitste zich ongeveer 300.000 jaar geleden af van de

Neanderthaler⁸. Dus genetisch biologisch is de mens ook 300.000 jaar oud. De paleogenetica en antropologie gaan er ook vanuit dat de Homo Sapiens minstens 135.000 jaar geleden al over de taalcapaciteit beschikte^{9 10}. Bovenstaande tijdlijn is dus disproportioneel. Een echt precieze tijdlijn kan enkel in 3D weergegeven worden, zie *Afbeelding 2*, gemaakt met een [applicatie](#) voor 'isometric graph'.

Tijdschaal Homo Sapiens



Afbeelding 2: Volumetrische tijdlijn van de geschiedenis van de mensheid

-
- 8 Zanella, Matteo et al., Dosage analysis of the 7q11.23 Williams region identifies BAZ1B as a major human gene patterning the modern human face and underlying self-domestication. Sci. Adv.5, eaaw7908 (2019). DOI:10.1126/sciadv.aaw790, <https://www.science.org/doi/10.1126/sciadv.aaw7908>.
- 9 Miyagawa S, DeSalle R, Nóbrega VA, Nitschke R, Okumura M and Tattersall I (2025) Linguistic capacity was present in the Homo sapiens population 135 thousand years ago. Front. Psychol. 16:1503900. doi: 10.3389/fpsyg.2025.1503900, <<https://www.frontiersin.org/journals/psychology/articles/10.3389/fpsyg.2025.1503900/full>>.
- 10 Ragsdale, A.P., Weaver, T.D., Atkinson, E.G. et al. A weakly structured stem for human origins in Africa. Nature 617, 755–763 (2023). <https://doi.org/10.1038/s41586-023-06055-y>.

Het is ook niet zo dat de 285.000 jaar durende prehistorie onbelangrijk is voor de Homo Sapiens. In die lange periode ontwikkelde de mens prosociaal gedrag, heel uitzonderlijk bij de primaten. Alleen de Bonobo's vertonen sociabiliteit. Ook een kleine apensoort, de Marmoset, vertonen gedrag vergelijkbaar met het Bonobo's. Die sociabiliteit stelde de mens een staat symbolische taal te ontwikkelen^{11 12}. De eerste etnolinguïstische gemeenschappen ontwikkelden ook een uniek egalitair politiek systeem^{13 14 15}.

Zie voor de scalar vector graphics (SVG) met links naar tekst en uitleg over elke periode van bovenstaand beeld, [hier](#). De argumentatie voor zo'n verwrongen tijdlijn is dat geschiedenis pas controleerbaar werd eens er geschreven bronnen waren. Dat excuus geldt al meer dan twintig jaar niet meer. Ten eerste zijn historici er ondertussen achter dat geschreven bronnen ook niet altijd betrouwbaar zijn. In de [bibliotheek van Alexandrië](#) gingen door een brand in 48 voor onze tijdrekening 40.000 boekrollen verloren¹⁶, en uiteindelijk ging de bibliotheek volledig verloren. Een andere reden waarom geschiedschrijving onbetrouwbaar is, is natuurlijk dat hiërarchieën in het verleden streng toekeken op wat over hen, hun praktijken en het leven van de burgers geschreven werd. Het formele systeem van peer reviews ontstond pas in de 18e en 19e eeuw. De moderne vorm en term ontstonden pas in de 20e eeuw¹⁷.

Ten tweede is de paleogenetica en forensisch onderzoek in de prehistorie minstens even betrouwbaarder dan geschreven bronnen. DNA liegt niet. Het hedendaags archeologisch/forensisch onderzoek maakt gebruik van geavanceerde technieken: bioarcheologie en paleopathologie.

-
- 11 Hrdy SB, Burkart JM. The emergence of emotionally modern humans: implications for language and learning. *Philos Trans R Soc Lond B Biol Sci*. 2020 Jul 20;375(1803):20190499. doi: 10.1098/rstb.2019.0499. Epub 2020 Jun 1. PMID: 32475330; PMCID: PMC7293152, <https://royalsocietypublishing.org/rstb/article/375/1803/20190499/31263/The-emergence-of-emotionally-modern-humans>.
 - 12 Boeckx, Cedric, 2023, What made us “hunter-gatherers of words”, *Front. Neurosci.*, 09 February 2023, Sec. Neurogenomics, Volume 17 - 2023, <https://doi.org/10.3389/fnins>. 2023. 1080861, <<https://www.frontiersin.org/journals/neuroscience/articles/10.3389/fnins.2023.1080861/full>>.
 - 13 Boehm, C., Harold B. Barclay; Robert Knox Dentan; Marie-Claude Dupre; Jonathan D. Hill; Susan Kent; Bruce M. Knauff; Keith F. Otterbein; Steve Rayner 1993, Egalitarian behavior and reverse dominance hierarchy. *Curr. Anthropol.* 34, 227–240. <https://takku.net/mediagallery/mediaobjects/orig/3/3_christopher-boehm---egalitarian-behavior-and-reverse-dominance-hierarchy-pdf.pdf>.
 - 14 Erdal, D., Whiten, A., Boehm, C., & Knauff, B. (1994). On human egalitarianism: An evolutionary product of Machiavellian status escalation? *Current anthropology*, 35(2), 175–183, https://www.academia.edu/113315875/On_Human_Egalitarianism_An_Evolutionary_Product_of_Machiavellian_Status_Escalation.
 - 15 Ruiz Collantes, Xavier F., 2024, Democracy against Homo sapiens alpha: Reverse dominance and political equality in human history, *Constellations*, 31, 233–252. <https://doi.org/10.1111/1467-8675.12680>, <<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/1467-8675.12680>>.
 - 16 Seneca. *De tranquillitate animi*. 9.5
 - 17 Moxham N, Fyfe A. THE ROYAL SOCIETY AND THE PREHISTORY OF PEER REVIEW, 1665–1965. *The Historical Journal*. 2018;61(4):863-889. doi:10.1017/S0018246X17000334, <<https://kar.kent.ac.uk/65042/3/Peer%20review%20v30%20AAM%20SUBMTD.pdf>>.

Volgend voorbeeld laat zien dat in de 20ste eeuw heel wat misvattingen verspreid waren over de voeding van de nomadisch foerageerders. Zo leefde de opvatting dat 73% van de jager-verzamelaars gemeenschappen wereldwijd 56% tot 65% van hun energie uit dierlijk voedsel haalde¹⁸. Een onderzoek uit 2024 weerlegt die hypothese. De onderzoekers gebruikten stabiele isotopen chemie van menselijke botten van 24 individuen uit vroege Holoceen-vindplaatsen: Wilamaya Patjxa (9,0–8,7 cal. ka) en Soro Mik'aya Patjxa (8,0–6,5 cal. ka), gelegen op 3800 meter boven zeeniveau op het Andes-Altiplano in Peru. In tegenstelling tot wat verwacht werd, blijkt uit Bayesiaanse statistische meng modellen op basis van de isotopensamenstelling dat planten het dieet domineerden en 70–95% van het gemiddelde dieet uitmaakten. Paleo-etno-botanische gegevens tonen bovendien aan dat knollen mogelijk de belangrijkste voedselbron waren¹⁹.

1.4 Misvattingen over Natuurlijke Selectie van Darwin

De volgende visualisaties zijn geïnspireerd op een artikel van T. Ryan Gregory²⁰, “Understanding Natural Selection: Essential Concepts and Common Misconceptions”²¹ in [Evolution: Education and Outreach](#). Het besteedt grondig aandacht aan de misvattingen die de ronde doen over de theorie van natuurlijke selectie geformuleerd door Darwin. De meest rampzalige verspreiding van fake nieuws in dat verband is de toeschrijving van de frase ‘survival of the fittest’ aan Darwin. Deze term komt van Herbert Spencer, de voorstander van [sociaal darwinisme](#) een verzameling pseudowetenschappelijke theorieën. In de eerste vier edities van ‘Origin of Species’ kwam de term zelfs niet voor. Check it out²². Pas in de vijfde druk laste Darwin op enkele plaatsen de term ‘survival of the fittest’ in. Volgens het ‘Darwin Correspondence Project’ van Cambridge University, onder druk van Alfred Russel Wallace²³. Maar hij bleef zijn theorie wel overal ‘natural selection’ noemen.

T. Ryan Gregory stelt dat term “survival of the fittest” een povere beschrijving is van “natural selection”. Dit omwille van de vier volgende redenen. (1) In Darwins context betekende "fittest" eerder "het best geschikt voor een bepaalde omgeving" dan "fysiek het fitst". (2) De nadruk op “survival” is misleidend, het aantal leefbare nakomelingen is cruciaal, of iemand nu lang of kort

18 Loren Cordain, Janette Brand Miller, S Boyd Eaton, Neil Mann, Susanne HA Holt, John D Speth, Plant-animal subsistence ratios and macronutrient energy estimations in worldwide hunter-gatherer diets¹², The American Journal of Clinical Nutrition, Volume 71, Issue 3, 2000, Pages 682-692, ISSN 0002-9165, <https://doi.org/10.1093/ajcn/71.3.682>.

(<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0002916523070582>).

19 Chen, Jennifer C., Mark S. Aldenderfer, Jelmer W. Eerkens, BrieAnna S. Langlie, Carlos Viviano Chen JC, Aldenderfer MS, Eerkens JW, Langlie BS, Viviano Llave C, Watson JT, et al. (2024) Stable isotope chemistry reveals plant-dominant diet among early foragers on the Andean Altiplano, 9.0–6.5 cal. ka. PLoS ONE 19(1): e0296420.

<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0296420>.

20 Department of Integrative Biology, University of Guelph, Guelph, Ontario, N1G 2W1, Canada.

21 Gregory, T.R. Understanding Natural Selection: Essential Concepts and Common Misconceptions. Evo Edu Outreach 2, 156–175 (2009). <https://doi.org/10.1007/s12052-009-0128-1>, <<https://evolution-outreach.biomedcentral.com/articles/10.1007/s12052-009-0128-1>>.

22 Charles Darwin, 1859, On the Origin of Species, PDF, <https://www.vliz.be/docs/Zeeijfers/Origin_of_Species.pdf>.

23 Darwin Correspondence Project, Fake Darwin: myths and misconceptions, website <https://www.darwinproject.ac.uk/>, <<https://www.darwinproject.ac.uk/fake-darwin>>.

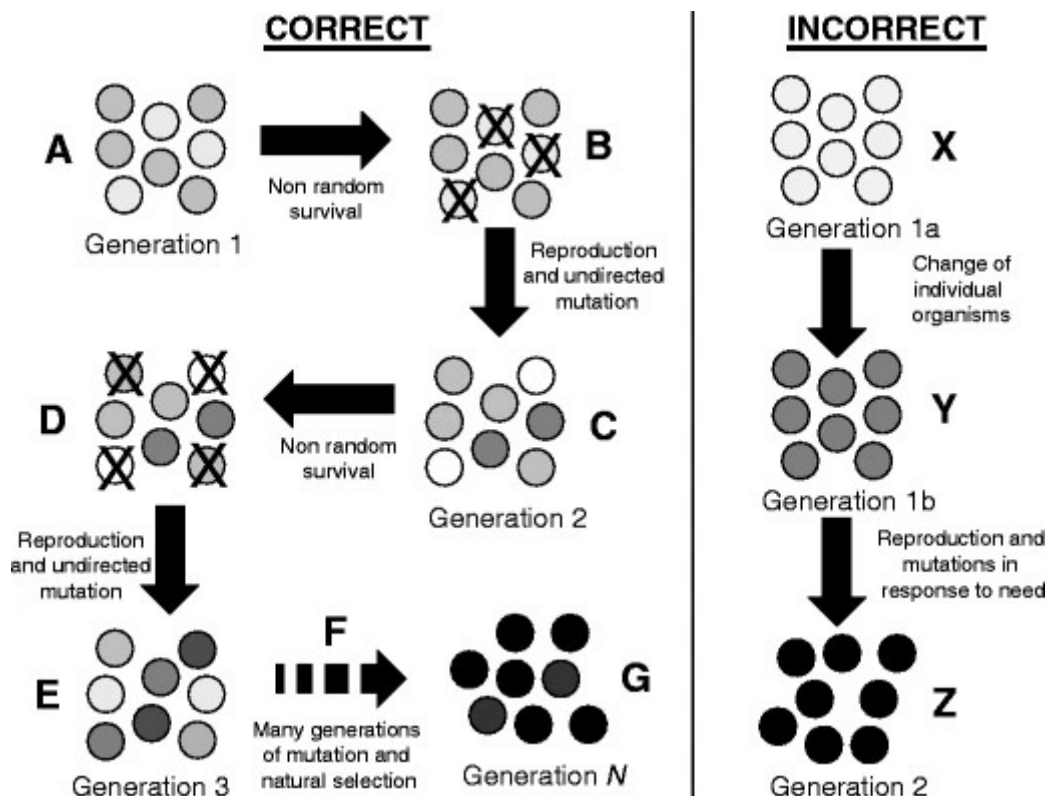
overleeft. (3) Dit impliceert ook een buitensporige focus op organismen, terwijl in feite eigenschappen of de onderliggende genen evenzeer kunnen worden geïdentificeerd als meer of minder geschikt voor een bepaalde omgeving. (4) Deze zin wordt ook vaak gepresenteerd als een tautologie. Dan krijg je cirkelredeneringen: “Wie overleeft? De sterkste. Wie zijn de sterkste? Zij die overleven. enzovoort.” Ook dit is een verkeerde interpretatie van de betekenis van “fitness” die Darwin voor ogen had²⁴.

Dit is een heel korte samenvatting van een heel lange tekst. Een bevattelijke samenvatting in het Nederlands, niet met AI gegenereerd, vind je [hier](#). In de lange tekst illustreert T. Ryan Gregory zijn betoog met verschillende schema's. Je kan de tekst lezen en de schema's bekijken waarnaar verwezen wordt. Een van de schema's (Afbeelding 3) is herwerkt en geconverteerd naar een SVG beeld. SVG beelden hebben dezelfde functionaliteit als een HTML pagina en kunnen ook hyperlinks bevatten. In dat schema wijzen de links naar zeven verschillende teksten die de inhoud van de lange tekst uitsplitsen. Alle teksten zijn voorzien van referenties, behalve twee stukken die letterlijk vertaald overgenomen zijn met vermelding van de auteur van de Engelse tekst. Extra zijn een aantal paragrafen gewijd aan resultaten van genetische en biologische research van de laatste twintig jaar.

De theorie van het “zelfzuchtige gen” van Dawkins gen wordt vandaag door veel biologen gezien als een simplistische metafoor. Wetenschappers dachten ooit dat er in een chromosoom een stuk DNA zou zijn dat codeert voor gen A, dat de aanmaak van proteïne A aanstuurt. En een stuk DNA dat codeert voor gen B, dat proteïne B codeert, enzovoort. Maar zo simpel is het niet²⁵. In de afgelopen decennia hebben onderzoekers in de evolutionaire biologie vrijwel alle belangrijke aannames in het “zelfzuchtige gen” verhaal ontkracht. In plaats daarvan hebben ze een veel verfijnder beeld ontwikkeld van hoe evolutie werkt. Genexpressie en structurele variatie van genen nemen evenzeer deel aan de omzetting van genotype naar fenotype. De moderne wetenschap benadrukt dat genetische netwerken en complexe interacties de werking van de genen verklaren.

24 Gregory, T.R., 2009, p. 159 in PDF versie.

25 Lawrence, Kathryn A., Tamara Gjorgjieva, Daniel Nachun, Stephen B. Montgomery, Focus on single-gene effects limits discovery and interpretation of complex-trait-associated variants, The American Journal of Human Genetics, 2026, ISSN 0002-9297, <https://doi.org/10.1016/j.ajhg.2026.02.022>, <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0002929726001084>.



Afbeelding 3: Bron: 'Understanding Natural Selection: Essential Concepts and Common Misconceptions', T. Ryan Gregory,
<https://link.springer.com/article/10.1007/s12052-009-0128-1/figures/2>

Het herwerkte en geconverteerde schema van de correcte interpretatie van Darwins Natuurlijke Selectie in SVG kan je [hier](#) bekijken. De herwerkte en geconverteerd foute interpretatie van Darwins Natuurlijke Selectie vind je [hier](#) in portable network graphics (PNG) formaat.

Genexpressie is het proces waarbij de informatie die in een gen is gecodeerd, wordt omgezet in een functie. Dit gebeurt voornamelijk via de transcriptie van RNA-moleculen die coderen voor eiwitten, of van niet-coderende RNA-moleculen die andere functies vervullen. Genexpressie kan worden gezien als een 'aan/uit schakelaar' die bepaalt wanneer en waar RNA-moleculen en eiwitten worden aangemaakt, en als een 'volumeregelaar' die bepaalt hoeveel van die producten worden aangemaakt. Het proces van genexpressie wordt zorgvuldig gereguleerd en verandert aanzienlijk onder verschillende omstandigheden en in verschillende celtypen. De RNA- en eiwitproducten van veel genen dienen om de expressie van andere genen te reguleren²⁶.

1.5 Valkuilen van de statistiek

26 San Segundo-Val, I., Sanz-Lozano, C.S. (2016). Introduction to the Gene Expression Analysis. In: Isidoro García, M. (eds) Molecular Genetics of Asthma. Methods in Molecular Biology, vol 1434. Humana Press, New York, NY. https://doi.org/10.1007/978-1-4939-3652-6_3, <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/27300529/>

Geen kwaad woord over [StatBel](#), ook de EU levert heel betrouwbare en nuttige statistieken. Ze hebben zelfs richtlijnen uitgevaardigd voor data verzameling en verwerking ervan, de '[Data Visualisation guide](#)'. Het hoofdstuk '[pitfalls](#)' van de EU is een goede gids. Onderwerpen die daar aangesneden worden zijn:

Pitfalls in metadata

[Pitfalls in metadata: 3 stories](#)

[What metadata should contain](#)

Pitfalls in statistics

[The mean versus the median](#)

[Distributions](#)

[Correlations](#)

[Percentages versus percentage points](#)

[Normalising data](#)

[Correlation is not causation](#)

[Ecological fallacy](#)

[Small sample size effect](#)

[Comparing apples to oranges](#)

[Absolute and relative probabilities](#)

Pitfalls in data

[File encoding](#)

[Missing values](#)

[Duplicates, aggregates and totals](#)

[Unstandardised data](#)

[Data type mismatches](#)

[Pitfalls with dates](#)

[Outliers](#)

[Ambiguity in data](#)

[Clean spreadsheets](#)

Pitfalls in dataviz:scales

[Breaking scales](#)

[Scales in line charts](#)

[Width to height ratio](#)

[Respecting proportions](#)

[Preserving scales for comparisons](#)

Pitfalls in dataviz:colours

[Go beyond the defaults](#)

[Accessible colours](#)

[Colour on colour](#)

[#EndRainbow](#)

[Perceptual uniformity](#)

Pitfalls in dataviz:colours

[Save the pies for dessert](#)

[Line charts: double y axes](#)

[Line charts: line interpolations](#)

[Line charts: perception of differences between lines](#)
[Stacked charts](#)

Pitfalls in cartography

[Map projections](#)
[Normalising data for mapping](#)
[Choropleth classification methods](#)
[Disputed territories](#)

Ethics in data visualisation

[Data acquisition](#)
[Data quantification](#)
[Data transformation](#)
[Data aggregation](#)
[Anonymisation](#)
[Visual representation](#)
[Representing people](#)

Het zijn er heel wat, maar ze zijn wel geordend per thema, dat maakt het wat overzichtelijk. De auteurs gebruikten ook telkens duidelijke en toegankelijke voorbeelden.

Is er vandaag nog een wetenschap waar geen statistiek gebruikt wordt? Waarschijnlijk niet. In het hoger en universitair onderwijs wordt daar per vak dieper op ingegaan. In de geneeskunde heb je epidemiologie en sociale epidemiologie, die we ons herinneren van tijdens de pandemie. In de sociologie is het verstandig de kritiek van de Amerikaanse socioloog en antropoloog C. Wright Mills ter harte te nemen²⁷. Hij stelde dat de sociale wetenschap gebaseerd op oppervlakkige enquêtes zonder historische achtergrond tekortschoten ten aanzien van haar sociale verantwoordelijkheid. De wetenschapper dient zich bewust te zijn de maatschappelijke consequenties van zijn onderzoek volgens Mills. In de sociologie is er een probleem van re-entrance. De resultaten een sociologisch onderzoek dat een fout beeld geeft van de sociale realiteit hebben bij de acceptatie door het publiek ook invloed op dat publiek.

Enquêtes over delicate kwesties kampen ook met terughoudendheid van de ondervraagden. Respondenten geven soms het meest maatschappelijk aanvaardbaar antwoord, ook al denken ze er privé anders over. Een ander probleem dat opgedoken is sedert de algemene verspreiding van internet toegang is de zelf selectie bias van web panels die leidt tot onbetrouwbare enquêteresultaten²⁸. Het is dus wel goed dat statistiek eindelijk in het curriculum zit van het secundair onderwijs en dat er ruimte is om die kritisch te benaderen.

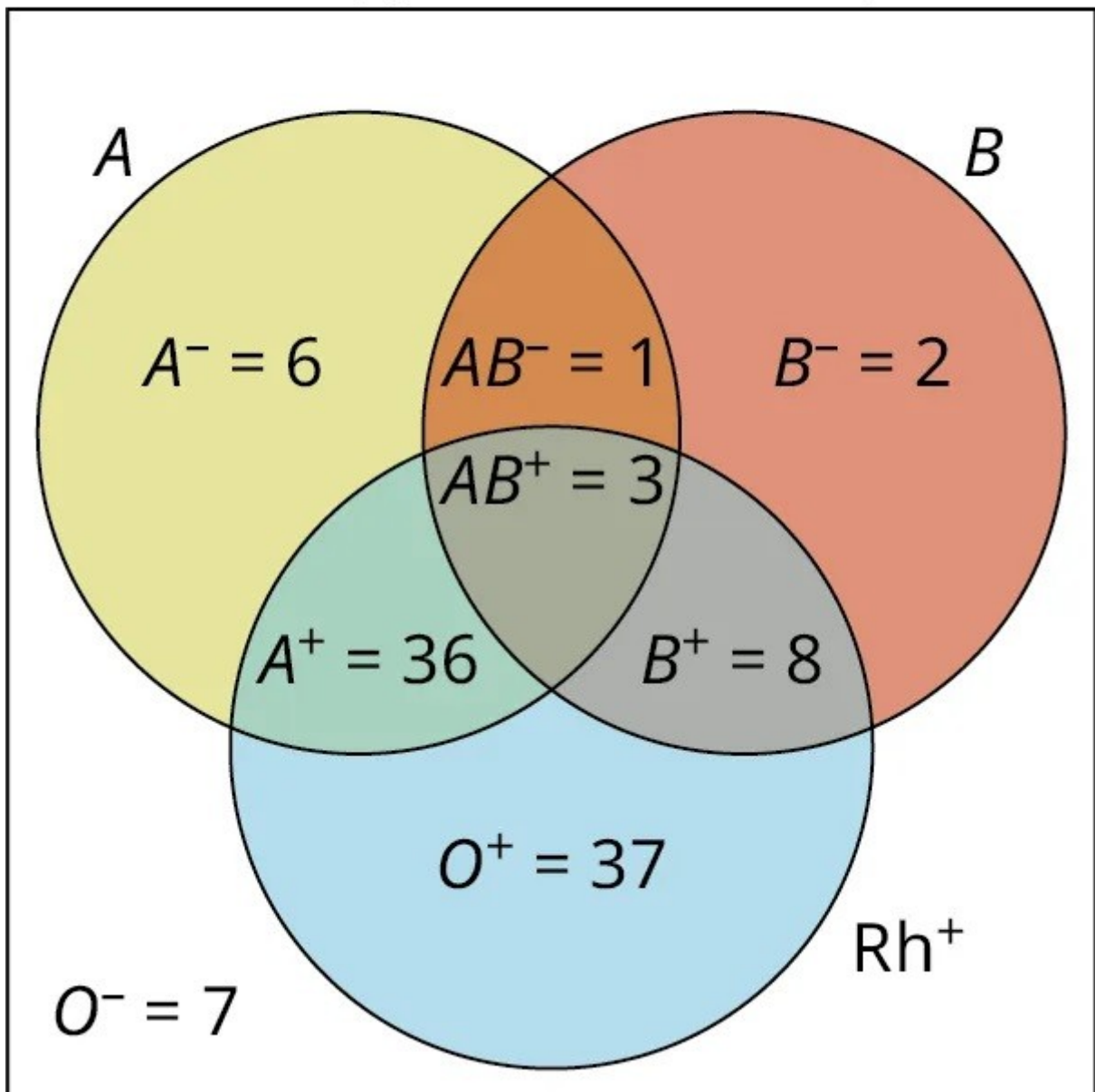
Hiermee komen we op het terrein van de wiskunde dat onmisbare abstract gereedschap dat in alle wetenschappen gebruikt wordt. Maar zoals je al kon lezen in 1.4, is het paradigma van de moderne wiskunde, gebaseerd op de verzamelingenleer en formele logica, aan het verschuiven in de richting van een netwerk benadering.

27 Mills, C. W. (2000). The Sociological Imagination. Oxford University Press.
<https://sociologiac.net/?p=22261>

28 Bethlehem, J. (2010), Selection Bias in Web Surveys. International Statistical Review, 78: 161-188. <https://doi.org/10.1111/j.1751-5823.2010.00112.x>

In de verzamelingenleer kennen we de visualisaties met Venn diagrammen. Onderstaande voorbeeld is ontleend aan [LOUIS Pressbooks](https://louis.pressbooks.pub/finitemathematics/chapter/5-5-set-operations-with-three-sets/), Open Educational Resources from the Louisiana Library Network, '[Set Operations with Three Sets](https://louis.pressbooks.pub/finitemathematics/chapter/5-5-set-operations-with-three-sets/)'.

U = Blood types of 100 People



Afbeelding 6: Blood types of 100 people Venn diagram,
<https://louis.pressbooks.pub/finitemathematics/chapter/5-5-set-operations-with-three-sets/>

1.6 Verzamelingenleer werkt niet voor ecologische systemen

De ecooloog Ulanowicz maakt gebruik van technieken uit de informatietheorie en de thermodynamica om de organisatie van energiestromen en voedselstromen binnen ecosystemen te bestuderen. Hoewel Ulanowicz zijn carrière begon met het modelleren van ecologische systemen aan de hand van differentiaalvergelijkingen, stuitte hij al snel op de grenzen van die benadering²⁹. In de paper 'The dual nature of ecosystem dynamics' legt hij uit waarom de wiskunde gebaseerd op de verzamelingenleer tekort schiet:

"Although one usually takes the liberty of calling a collection of organisms a set, the reality is that one can always distinguish among its individual members. Making such distinctions among generic matter, such as the molecules of hydrogen, is impossible. This difference between sets of physical and chemical entities and groupings of biological individuals is far from moot when one learns that Whitehead and Russell (1913) demonstrated in *Principia Mathematica* that the force laws of physics are logically equivalent to operations between true sets. It follows that if one cannot identify true (as opposed to pseudo) sets in ecology, proper proper laws, like those that govern forces in physics cannot ensue."³⁰

Het probleem is dat de verzamelingenleer veronderstelt dat alle leden van een verzameling homogeen zijn. De diversiteit en heterogeniteit van een ecologisch systeem verhoogt niet alleen zijn weerstand, het maakt het systeem ook niet echt geschikt voor bewerkingen gebaseerd op de verzamelingenleer.

In het besef dat elk ecosysteem een complex systeem is, besloot Ulanowicz afstand te nemen van van die reductionistische benadering. In plaats daarvan besloot hij te werken aan de ontwikkeling van theoretische meetmethoden die het ecosysteem als geheel kon analyseren. Hij wou namelijk het vermogen bestuderen van een systeem om zichzelf en zijn omgeving te ordenen³¹.

Gaandeweg ging hij inzien dat het gedrag van een ecosysteem niet simpelweg een kwestie is van "mechanica met ruis", maar eerder een ingewikkeld samenspel tussen tegengestelde tendensen: autocatalytische zelforganisatie³² en entropisch verval³³. Deze natuurlijke interactie kon kwantitatief worden opgevolgd met behulp van informatietheoretische meetmethoden die werden toegepast op netwerken van trofische processen. Samen met collega onderzoekers Brian D. Fath, Ursula M.

29 Mann, K.H., T.C. Platt, and R.E. Ulanowicz, (eds.) 1981. *Mathematical Models in Biological Oceanography*. UNESCO Monographs on Oceanographic Methodology 7. UNESCO Press, Paris. 157 p

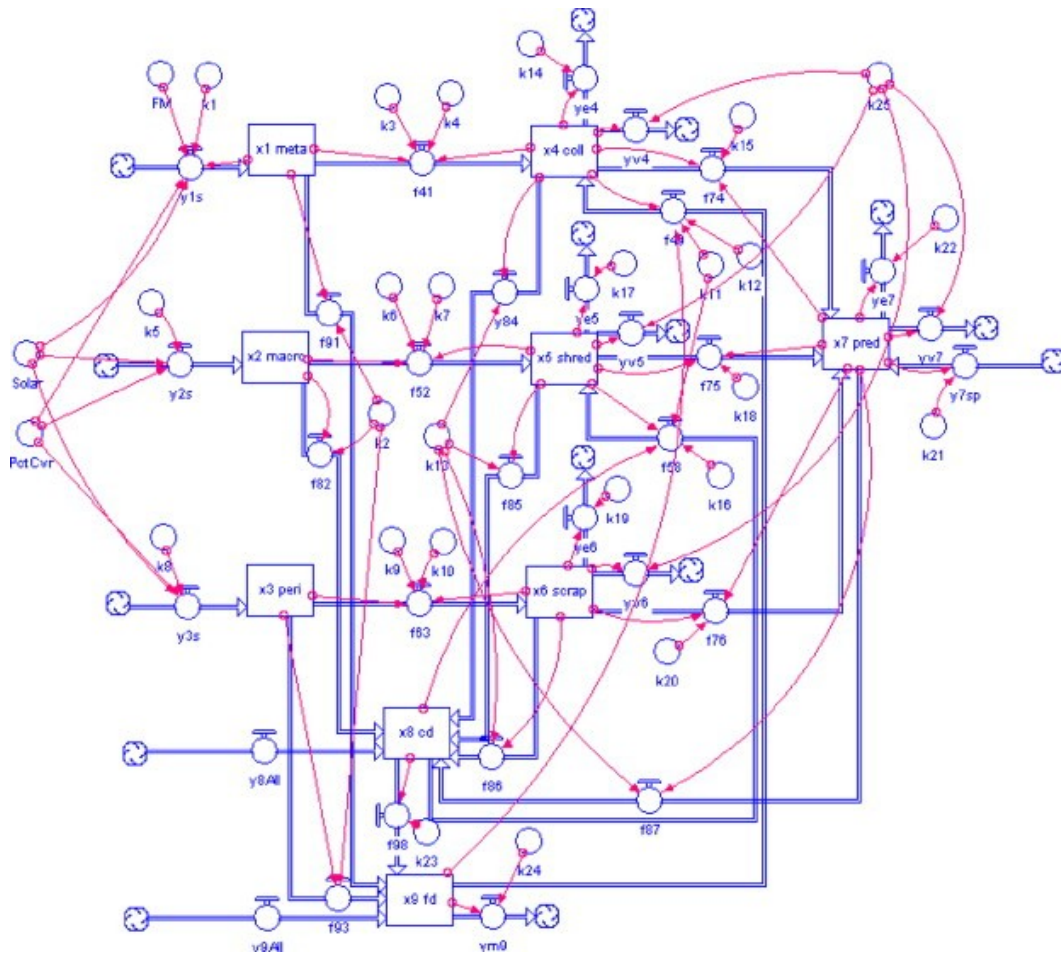
30 Ulanowicz, Robert E., 2009, The dual nature of ecosystem dynamics, *Ecological Modelling*, Volume 220, Issue 16, 2009, Pages 1886-1892, ISSN 0304-3800, <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2009.04.015>. (<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0304380009002695>), p. 1887.

31 Ulanowicz, R.E., *A Third Window. Natural Life beyond Newton and Darwin* (2009) Templeton Press ISBN-13: 978-1599471549.

32 Cyclische reeks van zelf-onderhoudende reacties tussen primitieve prebiotische biologische moleculen, nucleïnezuuren en eiwitten.

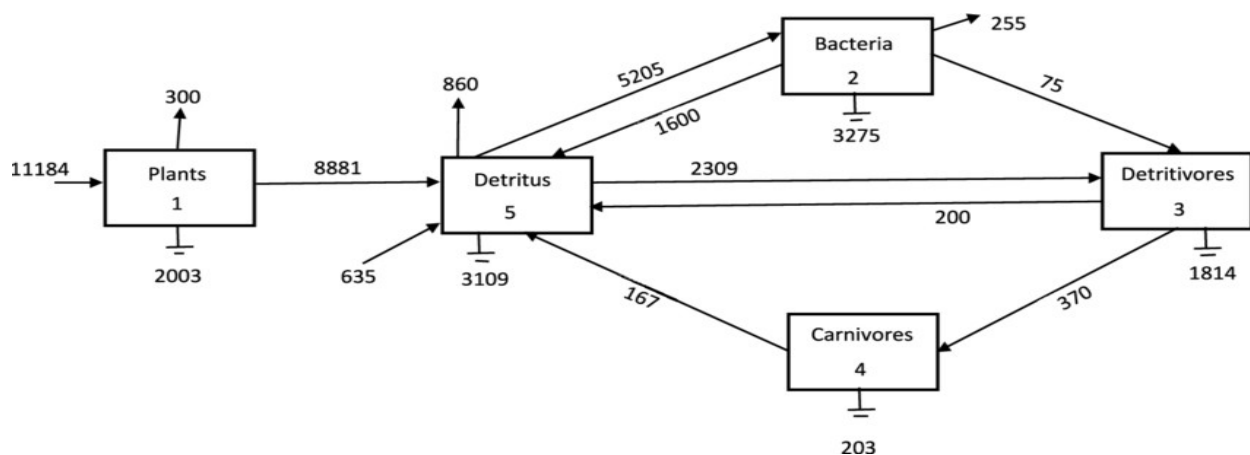
33 Entropie is een wetenschappelijke maatstaf voor wanorde, willekeurigheid en de beschikbaarheid van energie in een systeem.

Scharler, en Bruce Hannon werkte hij aan een analyse methodiek gebaseerd op het netwerk paradigma³⁴. Zie Afbeelding 7 en Afbeelding 8.



Afbeelding 7: Trofisch model van het Olentangy-moerasgebied in STELLA (opnieuw gemaakt naar Spieles en Mitsch, 2003). Bron: Fath, Brian D., Ursula M. Scharler, Robert E. Ulanowicz, Bruce Hannon, Ecological network analysis: network construction, Ecological Modelling, Volume 208, Issue 1, 2007, Pages 49-55, ISSN 0304-3800, <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2007.04.029>.

34 Fath, Brian D., Ursula M. Scharler, Robert E. Ulanowicz, Bruce Hannon, Ecological network analysis: network construction, Ecological Modelling, Volume 208, Issue 1, 2007, Pages 49-55, ISSN 0304-3800, <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2007.04.029>. (<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0304380007002517>).



Afbeelding 8: Energie-uitwisselingen in het ecosysteem van Cone Springs, gemeten in kcal/m²/jaar (Tilly 1968). De basis symbolen geven verliezen door ademhaling weer, pijlen zonder staart geven exogene input aan en pijlen die niet in compartimenten eindigen, geven export naar de buitenwereld aan. Bron: Robert E. Ulanowicz, 2026, *Ecoduality*, doi: <https://doi.org/10.1101/2025.06.21.660866>, Now published in *Biological Theory* doi: 10.1007/s13752-026-00542-x.

Een belangrijke ontdekking van Ulanowicz was dat ecosystemen zich niet ontwikkelen naar maximale efficiëntie. Ecosystemen die te veel activiteit langs de meest efficiënte paden kanaliseren, doen dit ten koste van redundante, minder efficiënte processen die essentiële activiteiten kunnen overnemen als de efficiëntere processen verstoord raken. Ecosystemen die standhouden, zijn ecosystemen die een evenwicht vinden tussen de elkaar uitsluitende eigenschappen van efficiëntie en betrouwbaarheid³⁵.

Ecologische processen spelen zich af op verschillende niveaus, van individuele cellen of populaties tot levensgemeenschappen en mondiale kringlopen van stoffen en energie. Alle organismen zijn afhankelijk van zowel biotische als abiotische omgevingsfactoren. Biotische factoren bestaan uit interacties met andere organismen, zoals concurrentie, predatie en symbiose. Abiotische factoren worden gevormd door de niet-levende natuur, zoals licht, temperatuur, zoutgehalte en de aanwezigheid van voedingsstoffen. Samen bepalen deze factoren welke soorten zich in een bepaald gebied kunnen handhaven.

Dit brengt ook mee dat er verschillende wetenschappelijk disciplines bij betrokken zijn waardoor interdisciplinariteit onmisbaar is. Dit brengt ons meteen dicht bij een antwoord op de vraag “Welke visualisaties ontbreken er?”, dat zijn namelijk visualisaties die interdisciplinaire problemen kunnen weergeven. Een andere conclusie uit dit overzicht is dat uit slecht onderzoek ook misleidende visualisaties voortspuiten. Dat vinden we onder andere in 1.3, 1.4 en 1.5. Ook een povere integratie van tekst en beeld viel op in 1.2. Er is dus werk aan de winkel.

1.7 Gerichte Gewogen Grafen en Gerichte grafen

³⁵ Ulanowicz, Robert E., 2009.

Een **gerichte graaf** is een graaf die bestaat uit een verzameling knooppunten die met elkaar verbonden zijn door gerichte pijlen.

Voorbeeld gerichte graaf: [ABC]

$A \rightarrow B \rightarrow C$

Matrix van deze graaf:

	A	B	C
A	0	1	0
B	0	0	1
C	0	0	0

Een **gewogen graaf** wordt gedefinieerd als een speciaal type graaf waarin aan de pijlen gewichten worden toegekend die kosten, afstand en vele andere relatieve meeteenheden vertegenwoordigen. Het 'Department of Mathematics and Computer Science' van Emory Oxford geeft een [uitgebreide definitie](#). Eenvoudige [theoretische voorbeelden](#) zijn ook te vinden op een pagina van Geeks for Geeks, inclusief programma voorbeelden om ze te genereren in C++, Java, Python 3 en Java Script.

Ulanowicz en collega's gebruiken **gerichte gewogen grafen** om ecologische processen te beschrijven en de input en output van het ecologisch systeem te berekenen. Gerichte gewogen grafen zijn heel efficiënt maar proces afhankelijk. Dit wil zeggen bij elk ander soort proces is de combinatie en structuur van gewogen grafen verschillend³⁶.

Om **interdisciplinaire problemen** op een algemene manier te beschrijven wordt een stap teruggenomen. De weging wordt weggelaten bij de pijlen en vervangen door een de naam van een **causaal proces of sequentiële actie**. In de nodes is dan ruimte voor een beschrijving van het **verloop** ervan en de **voorwaarden** waaraan moet voldaan zijn. De bedoeling van deze opzet is **didactisch** voor het secundair onderwijs, maar niet in tegenstelling tot de aanpak van Ulanowicz en zijn academisch team. Zoals je verder zal zien worden bij die verklaringen ook **beeld en korte teksten geïntegreerd** in elke node van de graaf.

Als men beeld en taal zou integreren in gerichte gewogen grafen zou dat in een quasi onontwarbaar kluwen resulteren. Maar het is wel mogelijk om de stap te zetten van het de gerichte grafen van de didactische visualisatie naar de visualisatie van gerichte gewogen grafen als daar vraag naar zou zijn vanuit het secundair onderwijs. Bij complexe processen worden dan best codes gebruikt in plaats van procesnamen en de beschrijving van het verloop en de voorwaarden worden niet in de graaf zelf opgenomen maar als aparte tekst. Anders wordt het een doolhof. Bovendien moet men

36 Rottman BM, Hastie R. Reasoning about causal relationships: Inferences on causal networks. Psychol Bull. 2014 Jan;140(1):109-39. doi: 10.1037/a0031903. Epub 2013 Apr 1. PMID: 23544658; PMCID: PMC3988659. <<https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC3988659/>>.

dan ook beschikken over geverifieerde [datasets](#) die de implementatie van gerichte weging mogelijk maken. Een voorbeeld van zo'n dataset zie je in deze paper³⁷.

Voor er dieper wordt op ingegaan met constructie van een formeel systeem in de volgende hoofdstukken, geven we hier eerst hyperlinks naar pagina's met concrete voorbeelden waar je al wat uitleg zal vinden. We vertrekken van zes basisstructuren:

[default noodzakelijkheid](#); [interactief met noodzaak](#); [parallel met noodzaak](#); [circulair met noodzaak](#); [feedback met noodzaak](#), wat in feite een combinatie is van circulair en interactief; [sequentieel. zonder noodzaak](#).

Voorbeelden van een **interdisciplinaire aanpak** zie je in het voorbeeld [fotosynthese](#). Daarin komen zowel organische scheikunde als plantenfysiologie aan bod. Maar de verklarende teksten komen allemaal uit de Wikipedia behalve de link naar '[Plant Physiology](#)', 3rd ed, van Lincoln Taiz en Eduardo Zeiger. Een team van vak docenten kan dit veel beter natuurlijk.

Een voorbeeld dat volledig door de auteur zelf is uitgewerkt, inclusief alle teksten is '[Taalacquisitie Homo Sapiens](#)'. Komen aan bod, genetica, evolutionaire biologie, biologie, neurologie, vocale anatomie en pragmatische linguïstiek. In dat voorbeeld wordt ook [een van de bestaande controversen](#) rond het onderwerp besproken.

1.8 Bijdrage tot AI geletterdheid

In welke mate kan dit **bijdragen tot AI geletterdheid**? Alles wat bestaat heeft een oorsprong, is het resultaat van een combinatie van causale en toevallige sequentiële processen. Indien die processen niet **expliciet** kunnen weergegeven worden met taal en beeld, dan is er ook geen aantoonbare concrete oorsprong, dus is het fake. Dit veronderstelt wel een basiskennis van verschillende wetenschappelijke domeinen, de wetten en afleidingen die er geldig zijn en daarin spelen de causale en sequentiële verbanden de hoofdrol. Die kennis vergemakkelijkt de zoektocht naar de kennis die ontbreekt om twijfelachtige uitspraken te ontzenuwen of te aanvaarden

Er is ook een meer directe pragmatische aanpak. Men kan via Google zowel lappen tekst tussen aanhalingstekens als beelden opzoeken. Voor video kan je Google Lens gebruiken. Als test kan men de beelden die in deze tekst gebruikt worden opzoeken en men zal zo probleemloos hun oorsprong kunnen achterhalen. Tevens bevatten digitale beelden zelf altijd een oorsprong vermelding of watermerk. Gewoon de binaire code van een beeld bekijken en je kan die terugvinden.

Maar die pragmatische aanpak blijkt niet altijd te werken bij mensen die zich hebben laten misleiden door samenzweringstheorieën. Meestal verwerpen ze 'fact checks' en hebben totaal geen vertrouwen in de media. Die zijn voor hen een onderdeel van van het complot. Complottheorieën

37 Fath, Brian D., Ursula M. Scharler, Robert E. Ulanowicz, Bruce Hannon, Ecological network analysis: network construction, Ecological Modelling, Volume 208, Issue 1, 2007, Pages 49-55, ISSN 0304-3800, <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2007.04.029>.
(<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0304380007002517>).

komen veel voor bij mensen die vinden dat ze de controle verliezen op hun leven^{38 39} en/of ook bij mensen die zich totaal machteloos⁴⁰ voelen. Door zich vast klampen aan een theorie die alles verklaart proberen ze te ontsnappen aan die angst en onzekerheid. Een gedegen wetenschappelijke opleiding die toelaat een wereldvisie op te bouwen die geaard is in de werkelijkheid is een perfect antidotum tegen de ontvankelijkheid voor complot denken

2.0 Overzicht verschillende benaderingen van Causaliteit

Invalshoek: regelmaat en constante conjunctie. Belangrijkste verdediger, David Hume.

“Causality is the science of cause and effect. As identifying causal mechanisms is often regarded as a fundamental aspect of most sciences, causality becomes elemental in advancing our knowledge.”⁴¹.

Basis 'wat als'-scenario's van David Lewis.

Lewis defines causality as, “We think of a cause as something that makes a difference, and the difference it makes must be a difference from what would have happened without it. Had it been absent, its effects—some of them, at least, and usually all—would have been absent as well.”⁴²

Omvat interventie of manipulatie, geformuleerd door Michael Sobel.

“view the cause as an event or state that can be manipulated (or at least potentially manipulated); under this view, causation resides in the existence of a one-to-one correspondence between the state of the manipulated cause and the state of the effect.”⁴³

Richt zich op de onderliggende mechanismen van processen, weergegeven door M.Z. Naser.

“One of the simplest ways to think about mechanisms is to think about processes (that is, biological or chemical processes) with an inherent temporal order.”

38 Whitson, Jennifer A. and Galinsky, Adam D., (2008), ‘Lacking Control Increases Illusory Pattern Perception’, Science 322, 115 (2008), DOI: 10.1126/science.1159845, Available at http://rfters.com/real/articles/Science_LackingControlIncreasesIllusoryPatternPerception.pdf.

39 Wood, Michael J., Karen M. Douglas and Robbie M. Sutton, social-psychologists at the University of Kent made up their own questionnaires and reported their results in an article: ‘Dead and Alive: Beliefs in Contradictory Conspiracy Theories’ (2011), https://sites.pitt.edu/~jdnorton/teaching/Phil_Sci_Core/HPS_2501_2020/conspiracy/Wood_2012.pdf.

40 Swami, Viren and Coles, Rebecca, (2010), ‘The truth is out there’, The Psychologist, Volume 23 – Part 7 (July 2010), https://www.researchgate.net/publication/281331502_The_truth_is_out_there.

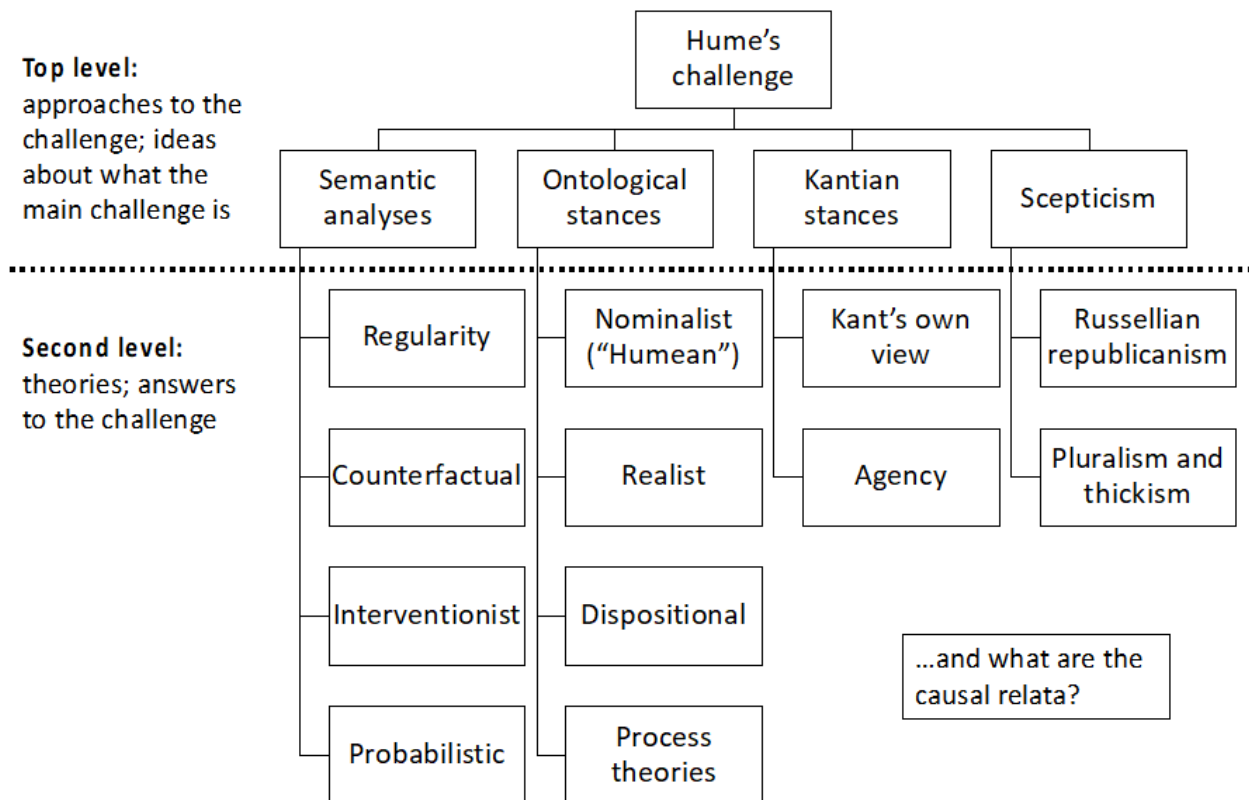
41 M.Z. Naser, Simplifying Causality: A Brief Review of Philosophical Views and Definitions with Examples from Economics, Education, Engineering, Medicine, Policy, and Physics, She Ji: The Journal of Design, Economics, and Innovation, Volume 9, Issue 4, 2023, Pages 437-457, ISSN 2405-8726, <https://doi.org/10.1016/j.sheji.2024.01.002>. (<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2405872624000029>)

42 Idem.

43 Idem.

Het is niet zo dat deze benaderingen elkaar uitsluiten. Het tegendeel geldt zelfs voor Hume en Lewis. Lewis vertrok van Hume's visie. In het project visualisatie van causaliteit kunnen alle vier benaderingen die Naser voorstelt probleemloos worden geïntegreerd.

In het artikel over causation in de Internet Encyclopedia of Philosophy wordt gesteld dat alle theorieën over causaliteit terug gaan op Hume's challenge ⁴⁴. Je vind er ook een schema dat de relaties aangeeft tussen verschillende historisch belangrijke en nog steeds invloedrijke theorieën over causaliteit.



David Hume's uitspraak, "we may define a cause to be an object followed by another", weerspiegelt zijn kijk op oorzakelijkheid, die het belang van constante conjunctie en temporele prioriteit benadrukt. Dit betekent dat om een gebeurtenis als de oorzaak van een andere te kunnen beschouwen, de twee gebeurtenissen consequent samen moeten voorkomen (constante conjunctie) en dat de oorzaak het gevolg in de tijd moet voorafgaan.

Hume's perspectief op oorzakelijkheid is diep geworteld in zijn empiristische filosofie, die de nadruk legt op ervaring als bron van kennis. Hij stelde dat ons idee van oorzakelijkheid niet gebaseerd is op een inherente noodzaak in de objecten zelf, maar eerder op onze herhaalde observatie van gebeurtenissen die elkaar regelmatig opvolgen.

⁴⁴ Peer Reviewed, Internet Encyclopedia of Philosophy, Causation, Hume's Challenge, IEP, <<https://iep.utm.edu/causation/#H2>>.

3.0 Causaliteit in de modale logica versus implicatie in de klassieke logica

Het fundamenteel onderzoek naar oorzakelijkheid is het terrein van de modale logica. Er zijn echter enkele belangrijke verschillen tussen enerzijds de modale logica en specifiek voor onze toepassing de causaliteit en anderzijds de implicatie in de formele logica.

(1) Een causale relatie impliceert een logische implicatie, maar niet omgekeerd

$$(p \Box \rightarrow q) \rightarrow (p \rightarrow q)$$

Dit leest als “als q een noodzakelijk gevolg is van p” dan impliceert p, q”.

(2) Terwijl de formele logica tijdloos lijkt is oorzakelijkheid gebonden aan de tijd (David Hume). Het gevolg komt na de oorzaak.

(3) Modale logica heeft geen waarheidstabellen maar wel beslissingsprocedures.

(4) Oorzakelijkheid kan weergegeven worden door een gerichte graaf.

“Our basic idea is simply this: we describe properties of directed graphs consisting of points (‘possible worlds’ if you like grandeur) with directed links encoded in an ‘accessibility relation’ between points. A universal modality $\Box \emptyset$ is true at a point in a graph if $\emptyset$ is true at all points reachable by a directed arrow.”⁴⁵

(5) De belangrijkste beslissingsprocedure voor oorzakelijkheid is de ‘counterfactual’ test. Schürman definieerde de test bij de ‘Why-Because’ analyse (WBA).

“To check the correctness of a cause-and-effect relationship, the Counterfactual Test (CT), based on work of David Lewis and David Hume, is used. "If the (potential) causal factor had not occurred, could the effect have occurred?" If this test is answered with "no", then the potential causal factor is a "necessary causal factor" (abbr. NCF). Use of the CT ensures that all nodes in the WBG are correctly linked.”⁴⁶

Een voorbeeld om de afhankelijkheid van de 'counterfactual'-test te verduidelijken. De vorming van regenwolken is afhankelijk van de aanwezigheid van atmosferisch condensaat van waterdamp en ijskristallen boven de nulgradengrens. Wanneer de lucht afkoelt tot het dauwpunt en verzadigd raakt, condenseert waterdamp normaal gesproken tot wolkendruppels. Deze condensatie vindt gewoonlijk plaats op condensatiekernen zoals zout- of stofdeeltjes die klein genoeg zijn om door de normale luchtcirculatie in de lucht te worden gehouden.

Je moet dus wolken hebben om regenwolken te kunnen vormen. De regen valt door de basis van de regenwolk nadat druppels van 20 micron zijn gegroeid tot 2000 micron door botsingen tijdens de op- en neerwaartse beweging van druppels en ijskristallen. De regen is dus afhankelijk van de aanwezigheid van die wolken. We hebben hier dus ondubbelzinnige transitiviteit. Als die wolken er niet waren geweest, zou het niet hebben geregend.

45 van Benthem, Johan, (IEP), Modal Logic: A Contemporary View, University of Amsterdam, Stanford University, and Tsinghua University, The Netherlands, U. S. A., and China, <<https://iep.utm.edu/modal-lo/>>.

46 Schürmann, Tim, (WBA) 'Counterfactual Test', Workgroup RVS, Faculty of Technology, Bielefeld University) <<https://rvs-bi.de/research/WBA/IntroWBA-ENG.pdf>>.

Deze ‘counterfactual’ test vinden we ook in juridische redeneringen. Daar is de ‘conditio sine qua non’ een veelgebruikte term. Het betekent dat we concluderen dat "A B heeft veroorzaakt" als "als A niet was gebeurd, B niet zou zijn gebeurd". Bij het gebruik van de disjunctie kan deze regel leiden tot paradoxen.

Beschouw het volgende geval:

1. A deed 120 mg van het gif P in de koffie van C om C te doden.
2. B deed 120 mg van hetzelfde gif P in dezelfde koffie om C te doden, zonder te weten dat A hetzelfde gif erin had gedaan.
3. C dronk de koffie en stierf.

In dit geval kunnen we volgens het c.s.q.n.-principe niet zeggen dat de handeling van A of B de dood van C heeft veroorzaakt, aangezien C ook zonder een van beide handelingen zou zijn gestorven. Dit lijkt een paradox, aangezien het risico op de dood van C in dit geval veel groter is dan in het andere geval waarin A en B elk 60 mg toevoegen, maar in dat laatste geval worden A en B volgens c.s.q.n. wel verantwoordelijk gehouden.

"We believe that that the source of the paradox is a confusion between disjunction of causes and disjunctive cause. The former means that "A is a cause" or "B is a cause" whereas the latter means that "A or B is a cause". We show that c.s.q.n. cannot express the former one, but confuse the former with the latter. Then, we show that minimal abduction can distinguish the former from the latter naturally."⁴⁷.

In het voorbeeld hierboven kan de disjunctie vervangen worden door de conjunctie. Het is een beetje ver gezocht, maar het is wel een geldig voorbeeld.

Om deze verwarring de pas af te snijden is besloten de disjunctie niet te gebruiken in de schema's van causaliteit zelf maar wel tussen de schema's onderling. De conjunctie van processen in de schema's noemen we voortaan parallelle processen. Zo scheiden we de interne logica van de structuur van oorzakelijkheid van de externe structuur.

Bij het gebruik van causale schema's in plaats van implicaties kan men eventueel voor de logische combinaties van verschillende oorzakelijke schema's de klassieke logica blijven gebruiken, maar buiten de wiskunde stuit je al gauw op problemen.

De dubbele negatie van een causaal schema is zinledig. Het bewijs uit ongerijmde is enkel verantwoord als 100% zeker is dat er maar twee mogelijkheden zijn: waar of vals. In gesloten systemen werkt dat, maar in open systemen is dat veel minder waarschijnlijk.

Een driewaardige constructieve logica is een optie. Bijvoorbeeld deze van Jan Łukasiewicz. De keuze is aan de lezer. Zelf heeft de auteur gekozen voor het constructivisme.

47 Ken Satoh, Satoshi Tojo, 2006, Disjunction of Causes and Disjunctive Cause: a Solution to the Paradox of Conditio Sine Qua Non using Minimal Abduction, Proceedings of the 2006 conference on Legal Knowledge and Information Systems: JURIX 2006: The Nineteenth Annual Conference, Pages 163 - 168, Published: 02 June 2006, <<https://research.nii.ac.jp/~ksatoh/juris-informatics-papers/jurix2006-ksatoh.pdf>>.

(6) In de wiskundige logica van Frege is het voor een argument niet vereist dat de premissen werkelijk waar zijn, maar wel dat de premissen, als ze waar waren, de waarheid van de conclusie van het argument zouden garanderen. Omwille van de ‘counterfactual’ test geldt dit niet voor oorzakelijkheid. Oorzaak en gevolg moeten beiden observeerbaar waar zijn om oorzakelijkheid te bewijzen.

(7) Terwijl de implicatie transitief is, wordt de transitiviteit bij causaliteit betwist. In de klassieke logica hebben we als X impliceert Y en Y impliceert Z dan impliceert X ook Z.

David Lewis grondlegger van de moderne modale logica zag de causaliteit als transitief. Sara Bernstein :

"Closeness of worlds is to be judged in terms of comparative overall similarity to the actual world based on similarities between those worlds and the actual one. Additionally, so that causation is transitive, causation is the ancestral of counterfactual dependence: there is a string of counterfactual dependencies between c and e."⁴⁸

Lewis' visie uit 1973 werd echter geconfronteerd met duidelijke tegenvoorbeelden in verschillende soorten van redundante oorzakelijkheid, of gevallen waarin er meerdere voldoende oorzaken zijn om een uitkomst te bewerkstelligen⁴⁹. In stabiele ecologische systemen is redundantie ook alom aanwezig. Maar die redundantie is net de garantie van hun stabiliteit. Sterft er een soort uit dan wordt de functie van die soort overgenomen door een andere soort. Maar zo redeneren logici niet. In de modale logica is er een extra afhankelijke relatie tussen oorzaak en gevolg, de ‘counterfactual dependence’. Als Z niet ook contrafactueel afhankelijk is van X, is er geen transitiviteit volgens Beckers and Vennekens⁵⁰. Volgens deze auteurs zijn alle voorbeelden van niet-transitiviteit te herleiden tot drie fenomenen: ‘symetric overdetermination’, ‘early preemption’ en ‘late preemption’⁵¹.

Een ander probleem kan zijn dat een voor de hand liggende gemeenschappelijke oorzaak van alle processen niet vermeld wordt. Als het gaat over processen waarbij levende wezens betrokken zijn zal de overlevingsdrang dikwijls een belangrijke rol spelen. In alle gevallen van twijfel over transitiviteit kan een “dotted line” of “dashed line” i.p.v. een “solid line” gebruikt worden.

Wie zich verder wil verdiepen in causaliteit kan terecht bij de Stanford Encyclopedia of philosophy, waar je artikels vind over modale logica, counterfactuals en conditionals. In de peer reviewed Internet Encyclopedia of Philosophy vind je dan artikels over modale logica en causation.

48 Bernstein, Sara. (2019). Lewis’s Theories of Causation and Their Influence. 10.1017/9781316779651.015., <<https://sarajbernstein.github.io/sjb/LewisTCTI.pdf>>.

49 Menzies, Peter and Helen Beebe, "Counterfactual Theories of Causation", The Stanford Encyclopedia of Philosophy (Fall 2025 Edition), Edward N. Zalta & Uri Nodelman (eds.), forthcoming URL = <<https://plato.stanford.edu/archives/fall2025/entries/causation-counterfactual/>>.

50 Sander Beckers and Joost Vennekens, 2017, The Transitivity and Asymmetry of Actual Causation, Ergo: An Open Access Journal of Philosophy, volume 4, pp 1-27. <<https://quod.lib.umich.edu/ergo/12405314.0004.001/--transitivity-and-asymmetry-of-actual-causation?rgn=main;view=fulltext>>.

51 Idem

4.0 Visualisatie van oorzakelijkheid als proces met grafen

4.1 Causaliteit als proces en uitwisseling energie

Wesley Salmon stelde voor om causaliteit te identificeren met een bepaalde fysische grootte of eigenschap, die hij omschreef als de overdracht van een „teken” van oorzaak naar gevolg⁵².

Dit idee werd bekritiseerd en vervolgens verder uitgewerkt door Phil Dowe, die stelde dat de overdracht van energie als de onderliggende fysische grootte moest worden aangemerkt⁵³.

De benadering van Dowe heeft het voordeel dat ze zich losmaakt van de beperkingen van de conceptuele analyse, terwijl ze tegelijkertijd een aantal bekende problemen oplost. Effecten van een gemeenschappelijke oorzaak geven geen energie door aan elkaar. Men kan stellen dat ze parallel lopen. Voorafgaande gebeurtenissen geven geen energie door aan de effecten van de voorafgaande oorzaken, die dat daarentegen wel doen. Causaliteit is dus niet transitief.

Dat de materiële implicatie zo afwijkt van de natuurlijke taal en daardoor contra intuïtief wordt ervaren is een handicap bij het leren van logisch redeneren, zeker in het secundair onderwijs. De (visualisatie van) noodzakelijkheid als proces heeft niet alleen het voordeel van eenvoud en duidelijkheid ze is bovendien 100% consistent, empirisch verifieerbaar en ze sluit aan bij concrete ervaringen en waarnemingen.

4.2 Causale triplets, integratie van beeld en tekst

Hoewel de modale logica zowel de regels van de noodzakelijkheid als deze van de mogelijkheid bestudeert, beperkt deze opzet zich tot de noodzakelijkheid⁵⁴.

Bij oorzakelijkheid spreken we van oorzaak en gevolg, een onlosmakelijk duo, maar voor de visualisatie van causaliteit wordt oorzakelijkheid behandeld als een proces: met

(1) beginsituatie,

(2) actuele actie die verandering te weeg brengt aangegeven door een gerichte pijl en

(3) eindsituatie.

Een triplet dus.

De algemene vorm van zo'n triplet is: **meetbare status -> proces -> meetbare status.**

Bij complexe processen kan het de vorm aannemen van:

meetbare status -> proces -> proces -> proces -> meetbare status.

Dit triplet wordt weergegeven als een gerichte graaf:

node begin situatie -> gerichte pijl -> node eind situatie.

52 Salmon, W. C. (1998). Causality and Explanation. Oxford: Oxford University Press.

53 Dowe, P. (2000). Physical Causation. Cambridge: Cambridge University Press.

54 Voor een volledige benadering van de modale logica zie [Kripke semantics](#).

De nodes van de graaf worden omgevormd in **kleine tabellen**.

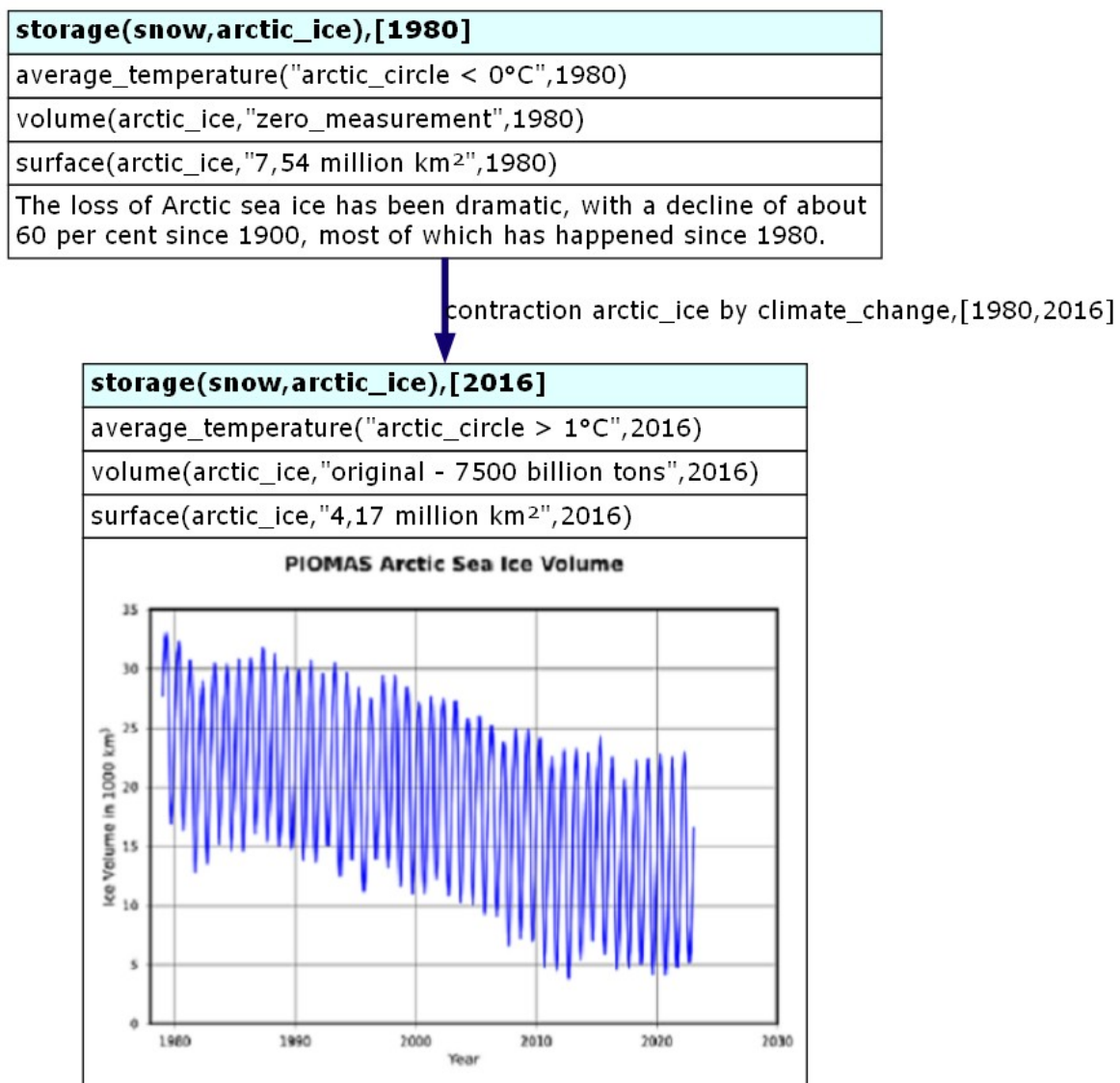
Zie Afbeelding 9.

Als je die twee kleine tabellen bekijkt zie bovenaan met achtergrond in licht cyaan de object hoofding de naam van een object, feit, status of van een proces,

daaronder drie condities die telkens deze specifieke toestand beschrijven en

op de laatste lijn een beschrijving van de actie die tot die toestand geleid heeft.

Merk op dat ook in de bovenste tabel een beschrijving staat. Die toestand komt niet uit het niets tot iets en er was ook een proces dat er aan voorafging. In de onderste tabel, de eindsituatie wordt de beschrijving weergegeven met een statistiek. Aangezien elke node een link bevat naar het bewijs zal daar dan die statistiek uitvoerig beschreven worden.



Contraction Arctic Ice, Climatology, Time frame 36 yrs, Time unit: yrs, Frequency: yearly mean.

Afbeelding 9: Voorbeeld van een causale triplet voor visualisatie van causaliteit

Bij interactie kunnen processen als een node gedefinieerd worden. Op die manier kan de actie die zorgt voor verandering ook expliciet en uitvoerig worden beschreven. Zie daarvoor het voorbeeld van [fotosynthese](#).

De termen 'situatie' en 'status' mogen in deze opzet niet geïnterpreteerd worden als stilstand. Het is gewoon de relevante meting of waarneming die men doet relatief tot het tijdsvenster dat men voor ogen heeft. Dat kan één moment zijn, maar ook het gemiddelde van verschillende metingen over een langere periode. Alhoewel we ons beperken tot discrete processen stellen we ook dat als op die manier een relevante meting mogelijk is tijdens een lopend proces, dit als een verifieerbaar feit kan gezien worden.

De triplets kunnen nu terug vertaald worden naar de gebruikelijke formulering in de natuurlijke spreektaal als :

oorzaak gezien als = beginsituatie

gevolg gezien als = actuele actie die verandering te weeg brengt en eindsituatie

Concrete processen worden hierbij afzonderlijk geanalyseerd, of in interactie, parallel, dit wil zeggen gelijktijdig verloop van twee processen, of aaneenschakeling, dit wil zeggen opeenvolgende processen, of circulariteit en eventuele terugkoppeling als die er is.

Deze indeling is gebaseerd op de structuur van de processen.

4.3 Proces structuur met tijd als onderdeel van de structuur

Tussen oorzaak en gevolg is altijd een tijdsverschil. In een enkelvoudig proces bestaande uit enkel een oorzaak en gevolg wordt wel verwacht dat zowel de elementen van de oorzaak als de elementen van het gevolg gelijktijdig waar zijn. Indien dat niet het geval is moet een nieuw proces aan de structuur toegevoegd worden.

In de reële wereld komen deze soorten processen voor in allerlei combinaties. De studie van de synthese ervan is dus even belangrijk, zo niet nog belangrijker. Maar enkel teams, zoals bijvoorbeeld het Intergovernmental Panel on Climate Change, zijn instaat de complexiteit van deze combinaties te ontrafelen en samen te vatten.

4.4 Metingen, waarnemingen en tijdsvenster bij discrete processen

De metingen moeten **relevant** zijn en als wetenschappelijk geaccepteerde maat kunnen dienen voor de causale relatie of de relatie tussen de onmiddellijk opeenvolgende sequentiële acties. De oorsprong van de metingen en de opslag van de meetgegevens moeten openbaar en transparant toegankelijk zijn voor iedereen.

Als we bijvoorbeeld voor neerslag als **tijdsvenster** een gans jaar nemen, kan je stellen dat het zowel regent, sneeuw en hagelt in dat jaar (conjunctie). Maar als het **tijdsvenster** enkel over de moment gaat dat het werkelijk regent, dan moet je vaststellen dat het nooit tegelijdertijd op de zelfde plaats sneeuwt, regent en hagelt (exclusieve disjunctie).

Tenzij het niet relevant is, is vermelding van het **tijdsvenster** verplicht, indien mogelijk aangevuld met methode **tijdsmeting en frequentie** van meting. Er is een gemakkelijke **beslissingsregel om te bepalen of tijdsvenster, tijdsmeting en frequentie relevant zijn, namelijk zodra in de metingen of bij de waarnemingen de factor tijd een rol speelt is tijd onderdeel van de structuur**. Het debiet van een rivier bijvoorbeeld is de hoeveelheid water die per tijdseenheid door een bepaalde doorsnede van de rivier stroomt. Zo zijn er honderden voorbeelden te bedenken. Is dat niet het geval dan kan men het tijdsvenster weglaten. Maar bij eenmalige gebeurtenissen, bijvoorbeeld bij incidenten analyse, moet ook de **eenheid voor tijdsmeting** aangegeven worden.

Vermelding van locatie is enkel verplicht al dat relevant is. Bij incidenten analyse is dat altijd het geval.

4.5 Hyperlinks naar het bewijs

De causale verbanden die in het concept weergegeven worden, vertrekken van bewezen wetenschappelijke kennis. De grafen op zich zijn echter geen bewijs maar een tool om bewijzen voor te stellen. Het voorstel is enkel te gebruiken voor discrete processen. De overgang van de ene status naar de andere moet empirisch verifieerbaar zijn.

Het eigenlijke bewijs wordt weergegeven in de teksten waarnaar verwezen wordt in de hyperlinks in de graaf.

5.0 Een voorstel voor een Proces Notatie

5.1 Interne Proces Structuur

Eerste Axioma

De interne logica van een proces of actie kan niet weergegeven met wiskundige of logische operatoren omdat ze het tijdsverschil tussen oorzaak en gevolg niet weergeven.

Operatoren

Bij deze notatie maak ik geen onderscheid tussen spontane natuurlijke processen en door de mens gestuurde processen, terwijl dit **onderscheid** in de dagelijkse realiteit wel **fundamenteel** is. Het KIS principe (Keep It Simple) wordt hier gehanteerd. Het is aan de pedagogen de keuze om dit verschil wel of niet uit te leggen.

Noodzakelijk : ► (default voor elke causale relatie, vervangt “ $\square \rightarrow$ ”, bij sequentiële actie moet ze weggelaten worden, maar daar kunnen de overige operatoren voor gebruikt worden)

Interactief : ⇐ (verwant met de reciproque van de INRC groep die Piaget voorstelde als basis van logische denkstructuren⁵⁵)

⁵⁵ De INRC-groep is een logisch-mathematisch model, ontwikkeld door psycholoog Jean Piaget en wiskundige Bärbel Inhelder. Het beschrijft de mentale operaties die mensen gebruiken tijdens de

Parallel : $\parallel$ (verwant met de correlatie van de INRC groep die Piaget voorstelde als basis van logische denkstructuren)

Circulair : $\circ$ (de tricky one in de logica en wiskunde, maar dat er circulaire processen bestaan zal niemand ontkennen)

Aaneenschakelend : $\gg$ (enkel te gebruiken bij sequentiële actie voor opeenvolging van acties zonder causale relatie)

Deze proces operatoren interpreteren en expliciteren wel de structuur van het proces. De formalisering van de structuur geeft ook een goede samenvatting van de graaf, niet onbelangrijk. De operatoren voegen dus betekenis toe. Soms is er een **meervoudige relatie** en dan worden alle relaties weergegeven aan de hand van deze verschillende notaties. **Feedback** noteren we bijvoorbeeld als “ $\blacktriangleright \circ \neg$ ”.

Er moet nog verder nagedacht worden over de toegelaten combinaties van de operatoren.

Alle triplets moeten gescheiden worden met een komma. De reeks eindigt met een punt. Voor de leesbaarheid is het noodzakelijk om voor **elk triplet een nieuwe lijn** te beginnen. Boven de volledige declaratie wordt de unieke naam van de EDAG graaf voorafgegaan door het letterlijk token **name**: weergegeven gevolgd door een punt. De lijst van triplets wordt afgesloten door een label aangegeven door het letterlijk token **label**:. Daar achter komen de tijdsparements of indien niet relevant bij algemene processen zoals fotosynthese, een reeks van disciplines die in die specifieke EDAG graaf aan bod komen.

Tijdsvenster en andere tijdsparements waarnemingen en/of metingen

Bij elke graaf moeten de bekende tijdsparements van de metingen gegeven worden, tenzij bij algemene processen waar ze niet van toepassing zijn omdat de noodzakelijkheid zich voordoet onafhankelijk van een gekend tijdsvenster

Als deze tijdsparements niet van toepassing zijn omdat de causaliteit onbetwistbaar aangetoond is onafhankelijk van om het even welk tijdsvenster, kan men deze parements vervangen door precies te omschrijven in welke wetenschappelijke discipline de noodzakelijkheid is vastgesteld.

Deze parements worden onderaan de graaf getoond. In de proces notatie komen ze direct na de lijst van processen voorafgegaan door het letterlijk token **label**:

Deze zijn in volgorde van belangrikheid: tijdsvenster, tijdseenheid, frequentie meting

formele operationele fase van de cognitieve ontwikkeling. Het verklaart hoe een persoon logische gedachten omkeert met behulp van twee systemen: inversie (het ongedaan maken van een actie) en wederkerigheid (het vinden van een alternatieve actie die hetzelfde resultaat oplevert). In Piagets theorie kan cognitief gedrag in probleemsituaties worden vergeleken met een viergroep – een wiskundige groep waarvan de elementen bestaan uit vier transformaties. Deze vier transformaties worden als volgt weergegeven: I (identiteit), N (negatie), R (wederkerigheid), C (correlatie). De INRC-groep heeft logische en fysieke "realisaties", dat wil zeggen verschillende systemen die de eigenschappen ervan illustreren.

Als de graaf zich baseert op een statistische verwerking moet dit aangegeven worden bij de frequentie met bijvoorbeeld distributie, gemiddelde, mediaan, percentage, punten...maar **correlatie is niet toegelaten**. Correlatie is geen causaliteit.

Voorbeelden

name:[regen](#).

wolkvorming [1,2] = opstijgende waterdamp [1] ► coalescentie [2] ,

vorming nimbostratus [2,3] = coalescentie [2] ► nimbostratus [3] ,

uitregenen nimbostratus [3,4] = nimbostratus [3] ► uitregenen [4].

label: nimbostratus regen, tijdsvenster:week, tijdseenheid:minuut, frequentie meting:continu.

name:[fotosynthese](#) :

verzadigen bladeren mesofyl chloroplasten [1,2] = mesofyl bladeren palissadeparenchym [1] ► opslaan water bladeren chloroplasten [2],

opnemen water [2,5] = opslag water bladeren chloroplasten [2] ► ¼ || proces fotosynthese [5],

schijnen zon bladeren [3,5] = zon licht [3] ► ¼ || proces fotosynthese [5],

opnemen koolstof dioxide [4,5] = koolstof dioxide [4] ► ¼ || proces fotosynthese [5],

vrijkomen zuurstof [5,6] = proces fotosynthese [5] ► ¼ || output zuurstof [6],

vrijkomen glucose [5,7] = proces fotosynthese [5] ► ¼ || output glucose [7],

vrijkomen water [5,8] = proces fotosynthese [5] ► ¼ || output water [8].

label: proces fotosynthese, tijdsvenster: aanwezigheid zonlicht, bovengrondse planten, biologie, organische chemie, zuurstofcyclus, watercyclus, koolstofcyclus.

De **nummers tussen haakjes staan voor de volgorde van de gebeurtenissen** maar niet zijn geen exacte tijdsaanduidingen. Het **grootste getal van beide geeft altijd de richting van de graaf aan** in overeenstemming met de algemene regel dat het gevolg na de oorzaak komt.

Ze kunnen enkel voor een exacte tijdsaanduiding staan als bij metingen altijd dezelfde tijdsverschillen worden vastgesteld of bij eenmalige gebeurtenissen waarvan de exacte tijden gekend zijn. Bijvoorbeeld een auto die een trein aanrijdt door het negeren van verbodsbepalingen. Desnoods vermeldt men in het label dan de gebruikte tijdseenheid naast het tijdsvenster.

De twee getallen van de nummers tussen haakjes mogen noch in de linkerhelft, noch in de rechterhelft van de proces notatie **identiek** zijn anders wijzen ze op **tautologie**. Een oorzaak kan geen oorzaak zijn van zichzelf.

De getallen in de linkerhelft van de proces notatie moeten wel overeenkomen met de getallen in de rechterhelft van de proces notatie.

Voorbeeld

...

trein op spoor aan sein S87 [0] ...

toeschouwers voor bareel [0] ...

auto op de weg aan kruispunt Staden station [0] ...

trein passeert gesloten overweg [16] ...

toeschouwers voor bareel [16] ...

auto op gesloten overweg [16] ...

label:auto trein botsing aan gesloten overweg, locatie: 50.97566038782838, 3.0123521772732307

tijdsvenster: 0-600, tijdseenheid: seconden.

We gebruiken hier dus zinnen in een natuurlijke taal omdat we verplicht zijn te verwijzen naar een bestaande concrete werkelijkheid omwille van de ‘counterfactual test’. Het is ook een kwestie van duidelijkheid.

5.2 Externe proces structuur

EDAGS moeten unieke namen hebben. De unieke naam moet betekenis in de natuurlijke taal. Enkel kleine letters en underscores mogen gebruikt worden, geen nummers. De reden daarvoor is dat de betekenis van namen verwijst naar het proces en daarom zo dicht mogelijk bij natuurlijke taal moet aanleunen. Als in de natuurlijke taal echter ook al een nummer gebruikt wordt, zoals bijvoorbeeld wereldoorlog_2, is het wel toegelaten. De **namen van de EDAG verwijzen naar een concrete bestaande graaf met een URL**. Als je zinnens bent om er een database van aan te leggen maak dan duidelijk een onderscheid met behulp van die namen. Er is zoiets als regen; motregen, dretsen, stortregen enzovoort.

Voorbeeld

[regen](#)

Voor de formulering van syntaxis die verschillende EDAG's met elkaar verbindt mogen uitzonderlijk symbolen gebruikt worden. Ze mogen enkel uit hoofdletters en getallen bestaan.

Voorbeeld: S1

Toegelaten operatoren

Toegelaten operatoren zijn de conjunctie, de exclusieve disjunctie, inclusieve disjunctie, en de negatie. De dubbele negatie en de implicatie zijn echter verboden. De betekenis van de enkelvoudige negatie is “de actie of het proces dat ontbreekt” en moet ontbreken voor de geldigheid van een samengestelde bewering. Eenvoudig voorbeeld in natuurlijke taal: “Hij ging uit de bocht en botste tegen een boom omdat hij niet remde voor hij de bocht nam.” Deze negatie mag echter niet gebruikt worden in combinatie met de disjunctie.

Toegelaten combinaties:

$S1 \wedge S2 \wedge S3 \dots$ (conjunctie)

$S1 \oplus S2 \oplus S3 \dots$ (exclusieve disjunctie)

$S1 \vee S2 \vee S3 \dots$ (inclusieve disjunctie)

$S1 \wedge S2 \wedge S3 \wedge \neg S4 \dots$ (conjunctie plus negatie)

Voorbeelden

watercyclus = verdamping $\wedge$ neerslag $\wedge$ afvloeien $\wedge$ infiltratie

neerslag = regen $\oplus$ motregen $\oplus$ dretsregen $\oplus$ slagregen $\oplus$ stortregen $\oplus$ sneeuw $\oplus$ sneeuwstorm $\oplus$ sneeuwregen $\oplus$ hagel $\oplus$ hagelstorm $\oplus$ virga

Tweede Axioma

Ik pleit voor het gebruik van minstens twee logicas voor het benaderen van de wereld en minstens een ervan moet woordelijk verwijzen naar de concrete realiteit.

Het gebruik naast elkaar van zowel een interne logica van één proces, één structuur van meerdere met elkaar verbonden causale triplets van acties/processen en een externe logica van meerdere processen en meerdere structuren van processen op een andere manier logisch met elkaar verbonden, daar zal menigene de wenkbrauwen bij fronsen. Tenslotte kan men dan enorm van 'viewpoint' variëren: (1) door bijvoorbeeld te kijken vanuit een satelliet die rond de aarde draait, of van ver of van dichtbij, door verschillende lenzen, door een vergrootglas, door een microscoop tot en met een elektronen microscoop en (2) op de koop toe stelt mijn epistemologie dat je die waarnemingen op verschillende manieren mag organiseren, verschillende tijdsvensters gebruiken, je richten op een detail, je richten op de grootst mogelijke behapbare realiteit enzovoort.

Eenvoudig voorbeeld van zo'n variatie de notatie van het regen proces geschreven als een conjunctie:

name:[regen](#) :

wolkvorming [1,2] = opstijgende waterdamp [1] $\blacktriangleright$ coalescentie [2] ,

vorming nimbostratus [2,3] = coalescentie [2] $\blacktriangleright$ nimbostratus [3] ,

uitregenen [nimbostratus = nimbostratus [3] $\blacktriangleright$ uitregenen [4].

label: nimbostratus regen, tijdsvenster:week, tijdseenheid:minuut, frequentie meting:continu.

[regen](#) :: wolkvorming $\wedge$ vorming nimbostratus $\wedge$ uitregenen

Noteer dat het nog niet onderzocht is of dit tot paradoxen leidt. De intuïtie zegt van niet, want dat zou betekenen dat ook in de klassieke logica de conjunctie tot paradoxen leidt en dat is niet zo. Het is daar de disjunctie gecombineerd met de negatie die tot paradoxen leidt

6.0 Discussie

6.1 Paradoxen van de implicatie in de klassieke logica

De contextvrije benadering van redeneren die eind 19de en begon 20ste opgang maakte in Europa bleek niet van paradoxen gespaard. Reeds in de jaren dertig van vorige eeuw kwam daar heel wat kritiek op. De klassieke logica geformaliseerd door Frege bleek ofwel onvolledig ofwel inconsistent (Kurt Gödel). Alan Turing, tijdgenoot van Gödel, van zijn kant toonde aan dat sommige wiskundige functies onberekenbaar waren. Computers en informatica konden pas echt uit de startblokken schieten, dank zij die wetenschap. Turing legde ook de basis voor de algoritmen die in computers gebruikt worden.

De materiële implicatie (de inferentieregel die stelt dat de bewering "P impliceert Q" gelijkwaardig is aan de bewering "Q OF niet P") maakt het mogelijk dat een waar gevolg volgt uit een onwaar antecedent (dus als P niet waar is, kan Q nog steeds waar zijn, omdat je alleen hebt aangegeven wat een ware P impliceert, maar niet wat er wordt geïmpliceerd als P onwaar is). De eigenschappen van materiële implicatie uit de klassieke logica zijn totaal niet in overeenstemming zijn met het gebruik van implicaties in natuurlijke taal. De volgende twee afleidingen die gelden in klassieke logica zijn hiervan de meest vermelde voorbeelden:

$\neg A, A \rightarrow B$

Leest als: niet A en A impliceren B

$B, A \rightarrow B$

Leest als: B en A impliceren B

Pogingen om deze paradoxen op te lossen hebben onder meer geleid tot de ontwikkeling van modale logicas en relevante logicas⁵⁶.

"Dat de strikte implicaties van modale logicas niet bevredigend zijn, is genoegzaam bekend. De relevante implicatie is een stuk meer bevredigend, maar relevante logica's hebben toch een aantal zeer controversiële eigenschappen. De meest frappante is dat *Disjunctief Syllogisme*, de afleidingsregel van de vorm

$A \vee B, \neg A / B$ (leest als: Uit 'A of B' en 'niet A' volgt B)

en

$A \vee B, \neg B / A$ (leest als: Uit 'A of B' en 'niet B' volgt A)

niet geldt. Daar zijn natuurlijk redenen voor, namelijk om het Ex Falso Quodlibet,

$A, \neg A$ leidt tot B

te vermijden. Dit wordt door relevante logici beschouwd als één van de belangrijkste problemen van Klassieke Logica."⁵⁷

56 Liza Verhoeven, 2004-2005, De Disjunctie Adaptief-logische formalisering van een aantal Griceaanse implicaturen, Universiteit Gent Faculteit Letteren en Wijsbegeerte, Vakgroep Wijsbegeerte en Moraalwetenschap, pp 1-2.

57 Idem.

Ex falso quodlibet (Latijn voor "uit onwaarheid volgt alles") is een logische regel. Het betekent dat als één enkele onware of tegenstrijdige bewering als waar wordt aangenomen, je die kunt gebruiken om op logische wijze absoluut elke bewering te "bewijzen", hoe absurd die ook mag zijn.

In het secundair wordt de verzamelingenleer onderwezen. Die is erfplichtig aan de predicaat logica van Frege en steunt dus ook op de formalisering van de klassieke logica door diezelfde Frege. Maar hij bevat geen implicatie. Ook Hilbert heeft quasi tegelijkertijd dezelfde formalisering van de klassieke logica voorgesteld. Het merkwaardige is nu, dat beide wiskundigen het nooit konden eens worden over het bereik van die formalisering. Frege vond ze universeel toepasbaar, Hilbert niet. Hilbert was tevens een veel creatievere wiskundige. Zie bijvoorbeeld de '[Hilbert space](#)'. Hilbert en Einstein waren regelmatig in dialoog over de algemene relativiteit theorie. Ze werkten er allebei aan op het zelfde moment. Er wordt ook aangenomen dat Einstein voorstellen van Hilbert heeft overgenomen⁵⁸. Zie de '[Einstein–Hilbert](#) action'.

De visualisatie van de verzamelingenleer is zeer toegankelijk en het is wel een zeer nuttig gereedschap. Natuurlijk heeft de verzamelingenleer ook zijn paradoxen. Paradoxen ontstaan door de combinatie van onbeperkt kwantificeren van een eigenschap over 'alle verzamelingen' en de 'existentiële operator $\exists$ '. De fameuze [paradox van Russell](#) is daar een voorbeeld van. In de vroege verzamelingenleer, geformuleerd door Cantor en Frege, kon je voor elke eigenschap een verzameling definiëren. Dat doet men nu niet meer en daarmee heeft men het probleem opgelost of net onder de mat geveegd? In algemene termen geformuleerd, als men bij een verzameling de regel die aan de basis ligt van die verzameling op die verzameling onbeperkt zelf wil toepassen, loopt het wel eens mis. Zelfreferentie leidt dan tot een paradox. Vergelijkbaar met de eeuwenoude [paradox van Epimenides](#). Als alle Kretenzer leugenaars zijn en een Kretenzer herhaalt die uitspraak, is hij dan een leugenaar of niet? Als je uitlegt dat er een 'work around' is om de paradoxen in de verzamelingenleer te vermijden, is deze weer een handige tool om homogene data te analyseren. Maar niet in de ecosystemen, die hebben een netwerk analyse nodig^{59,60}.

Het belangrijkste probleem met de verzamelingsleer is echter dat hij statisch is. De wereld is niet statisch, hij staat nooit stil. In de predicaat logica kunnen eigenschappen van en relaties tussen verzamelingen objecten worden beschreven. De verzamelingenleer is echter niet echt uitgerust om relaties te manipuleren. Hij is daardoor ook niet in staat om de causale relatie goed weer te geven alhoewel die super belangrijk is in alle wetenschappen. Causaliteit is een kennis tool dat grotendeels ontbreekt in het secundair onderwijs. Daarop is dit project gericht, tegelijkertijd biedt het een van de oplossingen voor de paradoxen van de materiële implicatie en opent het een deur naar interdisciplinair onderzoek.

58 Kennefick, Daniel, 2020, Was Einstein the first to discover general relativity?, Essay, March 09, 2020, Princeton University Press, <<https://press.princeton.edu/ideas/was-einstein-the-first-to-discover-general-relativity>>.

59 Ulanowicz, Robert E., The dual nature of ecosystem dynamics, Ecological Modelling, Volume 220, Issue 16, 2009, Pages 1886-1892, ISSN 0304-3800, <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2009.04.015>. (<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0304380009002695>), <<https://people.clas.ufl.edu/ulan/files/Dual.pdf>>.

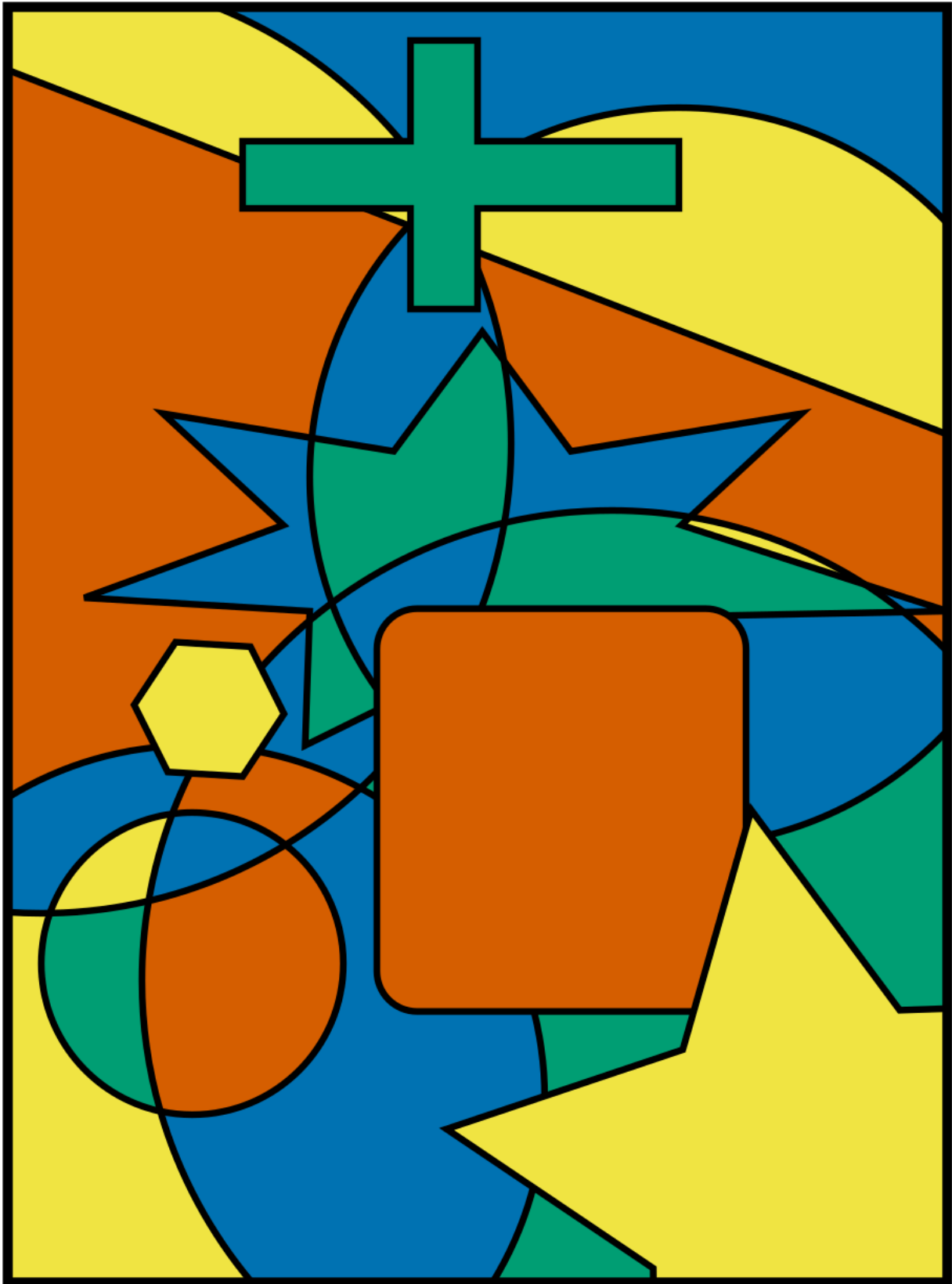
60 Brian D. Fath, Ursula M. Scharler, Robert E. Ulanowicz, Bruce Hannon, Ecological network analysis: network construction, Ecological Modelling, Volume 208, Issue 1, 2007, Pages 49-55, ISSN 0304-3800, <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2007.04.029>.

6.2 Constructieve logica

Het is niet de bedoeling om de klassieke logica op te geven. Ze gaf de wiskunde het bewijs uit het ongerijmde dat heel snel kan begrepen worden. De constructieve logica aanvaardt die bewijsmethode niet. Deze logica speelt in de informatica een belangrijke rol, onder andere bij correctheidsbewijzen van algoritmen. In deze logica wordt een bewijs alleen geaccepteerd als men met een concreet voorbeeld kan aantonen dat een propositie stand houdt. Blijkbaar is die methode krachtiger dan de klassieke methode. Ze leverde het bewijs voor het vierkleuren theorema⁶¹. Deze stelling hield wiskundigen meer dan honderd jaar lang in haar greep, totdat er een bewijs werd ontwikkeld dat grote groepen mogelijke tegenvoorbeelden uitsloot, maar toch voldoende mogelijkheden openliet, zodat er een computerprogramma nodig was om het bewijs af te ronden⁶². De meeste wiskundigen zijn van mening dat constructieve wiskunde onnodig streng is. Wel is het zo dat een constructief bewijs, door constructie van een object, hoger wordt aangeslagen dan een bewijs uit het ongerijmde van dezelfde stelling.

61 De vierkleurenstelling is de stelling in de wiskunde dat het mogelijk is elke willekeurige landkaart waarin de landen elk een geheel vormen, dus zonder exclaves, met behulp van slechts vier kleuren zo in te kleuren dat geen twee aangrenzende landen dezelfde kleur krijgen.

62 Appel, Kenneth; Haken, Wolfgang (1977), "Every Planar Map is Four Colorable. I. Discharging", *Illinois Journal of Mathematics*, 21 (3): 429–490, doi:10.1215/ijm/1256049011, MR 0543792, <<https://mathscinet.ams.org/mathscinet/relay-station?mr=0543792>>.



Afbeelding 9: Voorbeeld van een vierkleurenkaart

We pleiten dus voor een pluralisme van logicas zonder dat een bepaalde logica bevoordeeld wordt zoals de klassieke; Waarom? Omdat ze de oudste is en teruggaat tot Aristoteles? Toen reden ze ook nog met paard en kar. Trouwens de oude Grieken bedreven hun logica in natuurlijke taal. Het was Frege die besloot daar nog een symbolische laag aan toe te voegen. Wie daarbij vreest dat we onze rationaliteit zullen verliezen, dwaalt. Ook met volle begrip van enkel de klassieke logica slagen we erin het klimaat naar de knoppen te helpen. Dat ligt niet aan gelijk welke logica, maar aan hoe we ze gebruiken. Voor Musk, Zuckerberg, Bezos. geldt misbruik.

Het is ook een utopie te denken dat pluralisme van logicas ineens alle problemen zal oplossen. Het interdisciplinair benaderen van problemen is een deel van de weg, maar ook die aanpak vereist meer dan een ‘modus ponens’ versus ‘modus tolens’, want ook in de inductieve logica zijn tal van problemen die in deze opzet niet behandeld worden. Wetenschapsfilosofen zouden daarbij kunnen helpen, maar de meeste zijn ook de weg van de specialisatie opgegaan. Verder proberen we enkele problemen van deze opzet, die om oplossingen vragen aan te stippen.

6.3 Nog op te lossen problemen ivm interdisciplinariteit

(1) Wat als onderzoeken in verschillende domeinen elkaar tegenspreken? De ‘Data analyse sterfte bij hitte’ concludeert:

“Er is een duidelijke relatie tussen hogere sterfte en de gemiddelde dagtemperatuur van De Bilt, bij temperaturen kouder en warmer dan (gemiddeld) 16,5 graden neemt de sterfte toe. De groep 80+ers is het meest kwetsbaar.”

“Als we sterfte door hitte relatief bekijken dan is er sinds 1950 al sprake van een trend waarin de overmortaliteit met vrijwel gelijke tred afneemt tijdens hitte events. Sinds 1950 is de overmortaliteit afgenomen met ongeveer een factor 5 voor 80+ers en een factor 2.5 voor de gehele Nederlandse bevolking. Gedurende de periode 1950 – 2019 is ook de ruimtelijke leefomgeving en de levensstijl veranderd, ondanks dat gewerkt is met een jaarlijkse overmortaliteit, is dit effect nog wel zichtbaar in de data.”

Anderzijds:

“Als we sterfte door hitte absoluut bekijken, concluderen we dat, ondanks de afnemende overmortaliteit bij hitte events er wel een stijgende trend is in de absolute oversterfte door hitte events. Dit komt omdat het aantal warme dagen toeneemt (en kan in mindere mate worden versterkt omdat deze dagen ook warmer worden en de duur toeneemt).”⁶³

Hier zijn dus duidelijk twee tegenstrijdige tendensen aan het werk afhankelijk van het tijdsvenster dat men gebruikt. Men stelt wel vast dat er een verband is, maar het is wel heel complex. Bovendien – klap op de vuurpijl - worden recente hittepieken in verband gebracht met toename van vroeggeboorten⁶⁴.

63 Jan Huizinga, Bas Kolen, 2019, Data analyse sterfte bij hitte, HKV Lin in Water, PR4012.20 december 2019, https://klimaatadaptatienederland.nl/publish/pages/172678/pr4012_20_hitte_events_en_oversterfte_of_overmortaliteit.pdf.

Tussen verschillende wetenschappelijke disciplines is er altijd minstens een weerbarstige zone waar regels en terminologie niet verenigbaar zijn. Terwijl bijvoorbeeld redundantie als positief wordt gezien in de ecologie, wil men redundantie in de logica en informatietheorie net absoluut vermijden. Idem voor meteorologie en klimaatwetenschap, tussen biologie en sociologie, enzovoort. Dit heeft te maken met verschillende abstractie niveaus, met verschillende waarnemingsniveaus en ook met verschillende time frames, verschillende periodiciteit, spreiding en frequentie van waarnemingen.

(2) Het voorbeeld ‘[Contraction of the Arctic Ice](#)’ is gebaseerd op een tijdsvenster van 36 jaar. Ook belangrijk is om te weten dat het noordpool ijs in de winter aangroeit en in de zomer afsmelt. Voor de spreiding en frequentie van de waarnemingen kan men zich beperken tot 4 momenten, begin winter, einde winter, begin zomer, einde zomer. In de [klimatologie](#) gebruikt men tijdsvensters van minstens 30 jaar. Het klimaat heeft betrekking op de toestand van de atmosfeer gedurende een langere tot onbepaalde periode; het weer daarentegen is de toestand van de atmosfeer gedurende een relatief korte periode.

In de hedendaagse meteorologie zijn betrouwbare weersvoorspellingen beperkt tot zeven dagen. Weer events worden minuut per minuut opgevolgd. Waarnemingen van luchtdruk, temperatuur, windrichting, windsnelheid, regenradar zijn daarom continu.

[Weerattributie](#) is het wetenschappelijke proces waarbij wordt vastgesteld in hoeverre door de mens veroorzaakte klimaatverandering de kans op en de intensiteit van specifieke extreme weersomstandigheden beïnvloedt. In plaats van te vragen „heeft klimaatverandering deze storm veroorzaakt?“, gebruiken wetenschappers modellen en historische gegevens om te berekenen in hoeverre de gebeurtenis door de opwarming van de aarde waarschijnlijker of ernstiger is geworden. Dit proces kan je [hier](#) volgen.

Eenmalige metingen van bloeddruk op een willekeurig moment geven zelden een juist beeld van verhoogde bloeddruk. De bloeddruk schommelt voortdurend: overdag ligt hij meestal hoger dan ‘s nachts, en hij stijgt bij emoties en soms zelfs tijdens het doktersbezoek (witejaseffect). Over een periode van veertien dagen telkens ‘s morgens en ‘s avonds de bloeddruk meten kan soelaas brengen. Er is zelfs een 24-uursbloeddrukmeting. Je draagt dan een bloeddrukband rond je bovenarm, verbonden met een bloeddrukmeter aan een riem rond de heup.

Aandacht voor tijdsframes, periodiciteit, spreiding en frequentie van bloeddrukmetingen is super belangrijk want verhoogde bloeddruk uit zich niet in zichtbare symptomen, het is een sluipmoordenaar. Het is een van de belangrijkste oorzaken van schade aan het hart, de bloedvaten, de hersenen en de nieren. Volgens de Wereldgezondheidsorganisatie lijden wereldwijd 1.3 miljard volwassenen tussen de 30 en de 79 jaar aan hypertensie. Opvallend is dat bijna de helft van hen niet weet dat ze eraan lijden. Van de mensen die het wel beseffen, ondernemen velen te weinig actie⁶⁵.

(3) Om oorzakelijkheid in beeld te brengen hebben we intensief gebruik gemaakt van drempelwaarden. Deze analytische aanpak faalt echter als (1) er verschillen zijn van geval tot geval

64 VRT, 2026, Zwangere vrouwen nog te weinig bewust van risico's tijdens hittegolf (maar praktische tips kunnen helpen), <<https://www.vrt.be/vrtnws/nl/2026/06/22/vroeggeboortes-bij-hittegolf-en-wat-in-de-toekomst/>>.

65 Pedro Brugada, 2025, Hoge Bloeddruk Verlagen, Lannoo, Tielt, ISBN: 978 90 599 6128 9, pp. 13-38.

of (2) te veel betrokken parameters tezelfdertijd veranderen. Het eerste is typisch voor de mens. Drempels van zowat alle biologische, fysiologische en neurologische functie verschillen van kind, man tot vrouw en onderling van mens tot mens. Bovendien beïnvloeden veel processen elkaar. Het is dus enorm complex. Ten tweede de verandering van te veel parameters tezelfdertijd zagen we in België met de hittekoepel, die eind juni 2026 Europa gijzelde. Het onweer in de nacht van 25 juni 2026 was de weervoorspellers te snel af en plots moesten meer dan 100.000 festivalgangers terug naar huis gestuurd worden⁶⁶.

Citaat van David Dehenauw, hoofdmeteoroloog van het KMI:

“Als je de route van een onweer voor zo’n groot gebied gedetailleerd zou willen laten berekenen door de computermodellen, om op voorhand te weten waar het echt gaat losbarsten, dan zouden de computers nog bezig zijn met rekenen terwijl het onweer al is losgebarsten. Dat maakte het uiteindelijk onmogelijk om uren op voorhand met een correcte voorspelling te komen.”⁶⁷

66 De Standaard, 25 juni 2026, Niet de hittekoepel, maar de grote snelheid van dit onweer maakte het zo moeilijk om het te voorspellen, <<https://www.standaard.be/binnenland/niet-de-hittekoepel-maar-de-grote-snelheid-van-dit-onweer-maakte-het-zo-moeilijk-om-het-te-voorspellen/157940958.html>>.

67 Idem