

Het Keuzeaxioma

1 Inleiding

Dit is een beschouwing over voorspelbaarheid, determinisme en keuzevrijheid. De aanleiding was een discussie in de KNAW over de vrije wil. Hierdoor merkte ik dat:

- de stelling van Victor Lamme: “de vrije wil bestaat niet”¹ veel instemming ontmoet,
- het begrip “keuzevrijheid” moeilijk te rijmen lijkt met de natuurwetten.

De populariteit van de twijfel aan het bestaan van de vrije wil berust o.a. op hersenonderzoek waaruit blijkt dat het onderbewuste een beslissing neemt voordat het tot het bewustzijn doordringt. Omdat het begrip “vrije wil” moreel beladen is, komen al gauw de consequenties van het al dan niet bestaan van de vrije wil naar voren. Het grootste deel van de KNAW discussie ging dan ook over de rechtspraak en over de vraag in hoeverre delinquenten toerekeningsvatbaar zijn. Daarom wil ik liever speculeren over de primaire kwestie: “Valt er nog wat te kiezen”. Ik kijk naar deze problemen zuiver als natuurkundige, terwijl keuzevrijheid nauwelijks een natuurkundig probleem lijkt. In wat volgt probeer ik het tegendeel aan te geven.

Voorspelbaarheid, determinisme en keuzevrijheid zijn in toenemende mate complexer en er is een hiërarchie. Als er voorspelbaarheid is dan is er zeker determinisme en geen keuzevrijheid. Is de toekomst onvoorspelbaar, dan kan er nog wel degelijk determinisme zijn en dus geen keuzevrijheid. Als er geen determinisme is dan is het zeker onvoorspelbaar en de kwestie van keuzevrijheid is open. Tenslotte als er keuzevrijheid is dan kan er geen determinisme zijn en zeker geen voorspelbaarheid.

2 Voorspelbaarheid

Voorspellen is moeilijk, speciaal wanneer het de toekomst betreft! Dit illustreert het menselijk onvermogen om uit het verleden en heden in de toekomst te zien, terwijl achterom kijken in het verleden eenvoudig is. Deze asymmetrie in de tijd is niet wat de natuurkunde ons leert. In de fundamentele natuurkunde zijn voorwaarts en achterwaarts in de tijd equivalent. Anderzijds leert de natuurkunde ook dat, afhankelijk van het onderwerp, soms wel heel ver in de toekomst gekeken kan worden. Bijvoorbeeld de zonsverduisteringen kunnen in de verre toekomst met een fenomenale nauwkeurigheid voorspeld worden. We moeten daarom verschillende niveaus van onvoorspelbaarheid onderscheiden.

¹Victor Lamme, *De vrije wil bestaat niet*, Uitgeverij Bert Bakker

1. **Practische onvoorspelbaarheid.**

De uitkomst van een worp van dobbelstenen is praktisch onvoorspelbaar. Maar het lijkt waarschijnlijk dat er een onderliggende deterministische theorie is, zodat met voldoende kennis van de beginsituatie de worp voorspelbaar zou zijn.² Voor onberekenbare gebeurtenissen kan vaak wel een kansverdeling aangegeven worden. De relatie van kansen tot de werkelijkheid is theoretisch helder, maar is voor de intuïtie soms misleidend. Kansen zeggen iets over een lange reeks van identieke en onafhankelijke experimenten. Dus het berekenen van kansen veronderstelt dat er een lange reeks van experimenten mogelijk is met onveranderlijke uitkomsten. Met één dobbelsteen is de kans op vijf $1/6$. Dat betekent dat bij een lange rij experimenten in $1/6$ van de gevallen de vijf boven zal liggen. Mocht dat niet het geval zijn, dan gaat men zoeken naar een systematische oorzaak: het kan aan de vorm van de dobbelsteen liggen. Maar als nu toevallig een aantal keren vijf achter elkaar gegooid is, dan is de kans op een vijf in de volgende worp nog steeds precies $1/6$. Zo reageert een mens niet: als er ééns in de 25 jaar een ernstige kernramp gebeurt, dan is dat een goed moment om een demonstratie tegen kernenergie te organiseren. Als een theorie alleen kansen geeft, dan zegt het weinig over individuele gebeurtenissen.

2. **Onvoorspelbaarheid door chaotische invloeden.**

Het weer is daar een typisch voorbeeld van. Met de kennis van vandaag is het weer van morgen redelijk goed voorspelbaar. De Navier-Stokes vergelijkingen, die de evolutie van de atmosfeer beschrijven, zijn deterministisch, d.w.z. de waarden van de grootheden op tijdstip $t = 0$ bepalen de evolutie voor $t > 0$. Maar het weer is, op langere termijn dan zeg 14 dagen, niet met enige nauwkeurigheid te voorspellen. Dit hangt samen met het spectrum dan de oplossingen van de Navier-Stokes vergelijkingen (Lorenz). Een minimale variatie in de begincondities geeft een grote variatie in de toestand een langere tijd later. Dit wordt soms het “Chinese butterfly” effect genoemd: het weer hangt op den duur af van hoe een vliedertje in China beweegt.

3. **Intrinsieke onvoorspelbaarheid.**

Op het niveau van de quantummechanica zijn de verschijnselen intrinsiek onvoorspelbaar. Ter illustratie het standaard voorbeeld van de quantummechanica: het twee-spleten experiment. Een deeltje (bijv. electron) wordt afgevuurd op een wand met twee spleten en passeert via één van de spleten op een scherm. Men kan waarnemen door welk van de spleten het deeltje gaat en waar het deeltje terecht komt op het scherm. Hoe nauwkeurig je ook een begintoestand prepareert, het valt in een twee-spleten experiment niet te voorspellen door welke van de twee spleten het elektron zal passeren of waar het op het scherm terecht komt. Er zijn geen “hidden variables” die dat bepalen. De quantummechanica zegt alleen iets over de statistiek, net zoals bij het gooien van dobbelstenen. De quan-

²Opvallend is dat bij behendigheidsporten als voetbal, tennis of biljarten, beginners met meer geluk dan wijsheid spelen, maar gevorderden kunnen een verbazingwekkende intuïtieve nauwkeurigheid bereiken in situaties waar berekeningen van weinig voordeel zijn.

tummechanica is dus een intrinsiek statistische theorie. Ook voor sommige (grote) natuurkundigen is dat moeilijk te verteren (geweest). Maar het is onontkoombaar dat bepaalde gebeurtenissen (door welke spleet gaat het elektron) geen oorzaak hebben.³ Omdat de quantummechanica alleen kansen op meetresultaten voorspelt, lijkt het een magere theorie. Het tegendeel is evenwel waar. De grote kracht van de quantummechanica is dat het tal van structuren verklaart, zoals het periodiek systeem, de chemische binding, welke spectraallijnen door een atoom geabsorbeerd of geëmitteerd kunnen worden, welke stoffen magnetisch zijn, welke elementaire deeltjes gevonden worden, etc..

3 Determinisme

Een theorie is deterministisch als de begintoestand het verdere verloop bepaalt. De Navier-Stokes vergelijkingen voor vloeistof stroming zijn een voorbeeld van een deterministische theorie. De Schrödinger vergelijking, die de evolutie op quantumniveau beschrijft, is een ander voorbeeld van een deterministische theorie. Onvoorspelbaarheid kan heel goed samengaan met determinisme. De *logistic map* is daar een voorbeeld van: een eenvoudige en volkomen gedetermineerde algoritme kan na voldoende stappen een compleet onvoorspelbaar gedrag vertonen.

De vraag is hoe dit is te rijmen met de eerdere opmerking dat de quantummechanica intrinsiek statistisch is? De analogie met de Master vergelijking kan verhelderend werken. De Master vergelijking beschrijft de ontwikkeling van de waarschijnlijkheidsverdeling van een stochastisch proces. Een stochastisch proces wordt gekenmerkt door een set van overgangs-waarschijnlijkheden van een toestand van het systeem naar een andere toestand van het systeem. Hoewel de tijdsontwikkeling van een individueel proces random is, is de ontwikkeling van de waarschijnlijkheidsverdeling deterministisch: de beginwaarschijnlijkheid bepaalt volledig de waarschijnlijkheidsverdeling op latere tijden. Maar uit de waarschijnlijkheidsverdeling volgen alleen *kansen* op gebeurtenissen. Nog iets preciezer: alleen conditionele waarschijnlijkheden, d.w.z. gegeven een realisatie van de begintoestand, de kansverdeling van de latere toestand. Wanneer in die latere toestand een van de mogelijkheden gerealiseerd wordt, moet men opnieuw de kansverdeling bepalen. Men kan deze verdeling ook vinden door herhaaldelijk experimenten (simulaties) uit te voeren waarbij de gebeurtenissen uit elkaar volgen via de overgangswaarschijnlijkheden die in de Master vergelijking voorkomen. Bij voldoende nauwkeurige statistiek geven deze simulaties precies de waarschijnlijkheidsverdeling die analytisch uit de Master vergelijking volgt.

In dit opzicht is de overeenkomst tussen de Schrödinger vergelijking en de Master vergelijking perfect. De deterministische Schrödinger golfvergelijking beheerst de evolutie van de waarschijnlijkheidsverdeling. Maar de

³Dit is niet in strijd met het principe van causaliteit dat één van de fundamentele principes van de natuurkunde is. Causaliteit zegt alleen dat gebeurtenissen in de toekomst het heden niet kunnen beïnvloeden.

quantummechanica heeft iets geheimzinnigs: het is geen vergelijking voor de waarschijnlijkheids-verdeling zelf, maar voor de golf functie. De waarschijnlijkheid is het absolute kwadraat van de golf functie. Dus de Schrödinger vergelijking geeft de waarschijnlijkheid indirect, via de evolutie van de golf functie. In de Master vergelijking is de waarschijnlijkheid de som van alle paden die van de begintoestand naar de eindtoestand leiden. In de quantummechanica geldt dat ook voor de amplitude van de golf functie, maar niet voor de waarschijnlijkheid, die het absolute kwadraat van de amplitude is. Omdat de amplitudines met fasen opgeteld moeten worden, kan dit bijvoorbeeld tot uitdovende interferenties leiden. In het twee-spleten experiment is de kans dat het deeltje op een punt van het scherm dus niet de som van de kansen om via één van de twee spleten gepasseerd te zijn, maar volgt uit het interferentie patroon van de twee golven die de spleten passeren. Waarneming van doorgang door één van de spleten, vernietigt het interferentie patroon.

Een ander punt waar de analogie breekt, is dat de Schrödinger vergelijking tijdsomkeerinvariant is, hetgeen niet geldt voor de Master vergelijking. Op het niveau van de Schrödinger vergelijking is er dus geen onderscheid tussen verleden en toekomst.

Dus op micro-niveau, waar de quantummechanica betrekking op heeft, is de toekomst nog niet ingevuld. Op basis van de tijdsomkeerinvariantie betekent het dat ook het verleden niet vastligt door de kennis van het heden. Dit is een ferme tegenstelling tot de menselijke ervaring: het leven is irreversibel. Mensen gaan dood en verrijzen niet uit hun as, net zoals een kopje wel stuk kan vallen, maar de scherven nooit conspireren tot een kopje. Hoe een tijdsomkeerinvariante theorie toch tot irreversibiliteit kan leiden is wel begrepen. We komen daarop terug.

4 Keuzevrijheid

Het moeilijkste en m.i. onbegrepen begrip is keuzevrijheid. Zoals in de inleiding gezegd, wordt niet het woord “vrije wil” gebruikt, omdat dit tot allerlei psychologische en morele discussies leidt, die op zich interessant zijn maar niet de essentie van het probleem raken. Dus keuzevrijheid wordt hier beperkt tot keuzes die in vrijheid en op basis van weloverwogen argumenten (dus niet impulsief) genomen worden. Keuzes gedreven door impulsen zijn eerder reacties dan in vrijheid genomen beslissingen. Aangezien keuzevrijheid op mensen betrekking kan het begrip keuzevrijheid gerelateerd worden aan de vraag: “kan een mens invloed uitoefenen op zijn toekomst”. Het onderscheid tussen weloverwogen en impulsieve beslissingen is natuurlijk gradueel, maar de extremen zijn duidelijk te onderscheiden.

Er zijn nu twee tegenover elkaar staande standpunten:

1. Keuzevrijheid bestaat niet, het lijkt alleen te bestaan. In werkelijkheid wordt de toekomst volledig autonoom op micro-schaal bepaald. Soms wordt geredeneerd vanuit het standpunt: alles is fysisch en superstructuren als bewustzijn en keuzevrijheid zijn illusoir. Het bewustzijn van de

mensen geeft ten onrechte het gevoel te kunnen kiezen.

2. Keuzevrijheid bestaat en is, gegeven vrijheid van handelen, alleen door de natuurwetten beperkt. Dat keuzevrijheid door de natuurwetten beperkt is, is een open deur. Men kan niet over de wolken lopen. In dit verband zie ik sociologische wetmatigheden niet als natuurwetten. Biologische en sociologische wetmatigheden zijn, nog meer dan fysische, *statistische* uitspraken, die dus niet zoveel over het individu inhouden. Uiteraard kan er weinig keuzevrijheid bestaan door fysieke omstandigheden zoals ziekte, onderdrukking of verslaving.

Men zou kunnen denken dat dit wel erg extreme standpunten zijn en dat de waarheid in het midden zal liggen. Maar het is m.i. als met zwangerschap: men kan niet een beetje zwanger zijn. Ook al zijn, om met Den Uyl te spreken, de marges maar klein, de geringste mogelijkheid tot kiezen maakt het eerste standpunt onjuist.

Dit eerste standpunt is consistent en niet te weerleggen. Men zou kunnen tegenwerpen dat bewustzijn en keuzevrijheid elementaire ervaringen zijn. Als we deze ervaringen moeten wantrouwen, die je, bij wijze van spreken, met je ogen dicht kan ervaren, dan is er weinig basis om welke ervaring dan ook te vertrouwen. Niet voor niets zei Descartes: “ik denk dus ik besta”. Hij vond de innerlijke ervaring blijkbaar fundamenteeler dan zien, horen of tasten. Maar men kan dit innerlijke gevoel van vrijheid gemakkelijk wegwuiven. Ook kan als bezwaar tegen het eerste standpunt aangevoerd worden dat het diepgaande consequenties heeft voor onze maatschappij als vrijheid en dus verantwoordelijkheid een illusie zijn. Die discussie kan niet afgedaan worden met de constatering dat het niettemin leuk/nuttig is om te doen alsof er keuzevrijheid is. Maar de houdbaarheid van een standpunt mag niet beoordeeld worden op de consequenties. Als het het eerste standpunt een juiste weergave van de werkelijkheid is, dan moeten we de consequenties aanvaarden of we het nu leuk vinden of niet.

Een vraag die het tweede standpunt oproept is: hoe kan men zich voorstellen dat het menselijk bewustzijn gebruik maakt van de ruimte die de natuurwetten bieden? Dat laatste is vooral een vraag voor natuurkundigen, die zich moeilijk kunnen voorstellen dat het menselijke bewustzijn invloed kan uitoefenen op het gedrag van elektronen. In het kader van Newtonse mechanica waar de deeltjes precieze banen beschrijven en voor “eeuwig” zijn gedetermineerd, is dat ook onmogelijk om voor te stellen. Evenwel de quantummechanica leert dat dit beeld niet correct is en dat de toekomst nog niet vastligt. Maar dat betekent natuurlijk niet dat de toekomst daarom beïnvloedbaar is.

5 Het Keuzeaxioma

Het lijkt er nu op dat beide standpunten onweerlegbaar zijn. Dan heb je een situatie waar de wiskundigen raad mee weten. Zij hebben, in voorkomend geval, het keuzeaxioma ingevoerd. Dat houdt in dat uit een collectie van oneindig

veel verzamelingen altijd een element uit een verzameling gekozen kan worden, ook als er geen keuzeregels is. Dit axioma, dat door Zermelo in 1904 is ingevoerd volgt niet uit de andere axiomas van de verzamelingleer, maar is er ook niet mee in strijd. Met behulp van het keuzeaxioma kan men bewijzen leveren die zonder het keuzeaxioma niet mogelijk zijn. M.a.w door het keuzeaxioma wordt de wiskunde op een essentiële manier rijker.

Op dezelfde manier volgt keuzevrijheid niet uit de basis vergelijkingen van de quantummechanica en mijn bewering is dat het er ook niet mee in strijd is. Sterker nog, m.i. moet men een keuzeaxioma aan de quantummechanica vergelijkingen toevoegen voor de interpretatie. In tegenstelling tot de klassieke theorie heeft de quantummechanica een interpretatie nodig. In de klassieke theorie hebben plaats en impuls en alle grootheden die daar vanaf geleid zijn een waarneembare waarde. In de quantummechanica is dat niet het geval, omdat de basis-grootheden operatoren zijn met een spectrum aan (eigen)waarden. Bovendien zijn de basis-grootheden, plaats en impuls, niet gelijktijdig waarneembaar. Daarom zijn alle uitspraken over waarden van grootheden statistisch. Neem weer het voorbeeld van het twee-spleten experiment. Men kan, door herhaaldelijk meten, de kans bepalen dat het deeltje door één van de twee spleten gaat. De kans de het deeltje op een bepaald punt van het scherm aanlandt hangt af van de vraag of er wel of niet gemeten is bij de spleten. Dergelijke uitspraken hebben alleen zin als er vrijheid van de keuze van de meting bestaat. Om de theoretische voorspellingen aan de werkelijkheid te toetsen, is keuzevrijheid van de meting noodzakelijk. Deze keuzevrijheid is nog nooit in het geding geweest. Dus we mogen veilig aannemen dat dit keuzeaxioma niet met de fundamentele van de quantummechanica in strijd is.

De keuzevrijheid maakt de natuurkunde rijker, ook theoretisch. Een duidelijk natuurkundig voorbeeld hiervan is het gedachten-experiment. Men kan een theorie toetsen door gedachten-experimenten waarbij willekeurige keuzen van opstellingen en metingen gemaakt worden. In de analyse van experimenten van quantum verstrengelde systemen wordt hier rijkelijk gebruik van gemaakt.

Daarmee is m.i. het pleit voor keuzevrijheid beslecht. Niettemin is het illustratief om de lange weg van deeltjes naar mensen nader te beschouwen. We gaan wat verder in op de gelaagdheid van de theorie, waarbij de complexere laag voortbouwt op een meer elementaire laag, maar daar niet noodzakelijk uit voortvloeit.

6 Symmetriebreking

Er is in de natuurkunde een verschijnsel dat men symmetriebreking noemt. Het treedt op als de onderliggende vergelijkingen een symmetrie hebben die gebroken is door de verschijnselen gebaseerd op die theorie. Een belangrijk voorbeeld is tijdsomkeerinvariantie en de breking daarvan is irreversibiliteit. Op microniveau is er tijdsomkeer, dus alles wat voorwaarts in de tijd kan gebeuren, kan ook in de omgekeerde richting gebeuren. De tweede hoofdwet leert daarentegen dat in een gesloten systeem de entropie altijd moet stijgen. In principe is het dus quantummechanische ook mogelijk dat hij kan dalen.

Tegen de tweede hoofdwet ingaan is zo ongeveer de grootste zonde die men natuurkundig kan bedrijven. De irreversibiliteit breekt geen natuurwet. Tijdsomkeer zegt niet dat elke realisatie van een systeem, dat de vergelijkingen volgt, ook de symmetrie van de vergelijkingen heeft. Alleen dat er bij elke realisatie een andere realisatie is die het tijdsomgekeerde gedrag vertoont.

Er is irreversibiliteit op macro-niveau, niet op micro-niveau. Entropie is een macroscopisch begrip. Als de beginverdeling door macroscopische gegevens beperkt is, is de waarschijnlijkheidsverdeling zeer nauw en volgt het praktisch een trajectorie in de ruimte van macroscopische variabelen zonder noemenswaardige verbreding. De Navier-Stokes vergelijkingen, die in termen van macroscopische variabelen zoals druk, dichtheid en temperatuur zijn geformuleerd, zijn deterministisch en irreversibel. Als je op microniveau naar de samenstellende moleculen van de atmosfeer zou kijken is een dergelijk determinisme niet terug te vinden. Een kenmerk van symmetrie-breking is dat symmetrie gebroken *kan* worden, maar dat het niet *noodzakelijk* is dat hij gebroken wordt. In het universum zijn er overweldigend meer deeltjes dan anti-deeltjes. Het had ook andersom kunnen zijn of mengsels daarvan. We hoeven ons geen zorgen te maken over de irreversibiliteit van het universum. De big-bang is een heel abnormale toestand en de entropie kan dus nog een heel eind toenemen voor evenwicht bereikt is. Het beeld dat uit de kosmologie naar voren komt is dat er dankzij deze abnormale begintoestand een rijkdom aan verschijnselen is, zoals het ontstaan van hemellichamen en alles wat er voor moois daaruit voortgevloeid is.

Een hele stap verder is het ontstaan van leven. Dat er een verschil is tussen levende en dode materie, is onbetwifelbaar, ook al is het misschien moeilijk om heldere criteria aan te geven. Dus leven *kan* ontstaan uit levenloze materie, maar het is *niet* noodzakelijk. Het ontstaan is wel beperkt door natuurwetten. Op de zon en de maan zal geen leven ontstaan. De evolutie leert ons dat er langdurig ideale omstandigheden nodig zijn voor het ontstaan en gedijen van leven. Er zijn biologen die het ontstaan van leven even noodzakelijk vinden als het ontstaan van hemellichamen. Hemellichamen zijn er in onvoorstelbare aantallen. Van het leven is er tot nu toe maar één voorbeeld, dus evidentie voor de noodzaak ervan lijkt niet zo sterk.

Een bijzondere eigenschap van het leven, dat we hier op aarde kennen, is dat het opereert met een blauwdruk, zoals in het DNA is vastgelegd. Blijkbaar was het mogelijk om ervaringen in een soort geheugen (read-only) op te slaan en dat te gebruiken voor succesvolle voortplanting. En zo door een "oneindig" lange reeks van pogingen het leven te verbeteren. Het woord evolutie zegt het al: een verbetering die alleen kan plaatsvinden door degradatie (sterven) en weer opnieuw beginnen (geboren worden) is noodzakelijk een irreversibel proces. De natuurkunde leert hier niet veel over. Het kan alleen de voorwaarden aangeven die voor leven nodig zijn zoals temperatuur, druk, zuurstof, water en nodige voedingsmiddelen. Als natuurkundige verbaas ik me er steeds weer over dat het werkt!

De hogere dieren vertonen nog weer een nieuwe graad van complexiteit. Naast het geheugen (instinct) dat in het DNA is opgeslagen, is er ook een programmeerbaar geheugen (read-and-write). Een dier kan iets leren, of wel zelf

door toenemende ervaring of wel door iets aangeleerd te worden. Dit geheugen bevat de informatie anders dan die in het DNA is opgeslagen, want het wordt niet aan het nageslacht meegegeven. Dit kunnen gebruiken van ervaringen, is zeker een vorm van intelligentie. Of dieren kunnen kiezen laat ik in het midden. Je kunt het ze toch niet vragen.

Bij de mensen aangekomen kunnen we constateren dat er een bewustzijn bijkomt. Mensen verschillen fysiek maar heel weinig van hun evolutionaire voorouders. Vanuit de evolutie gezien is het ontstaan van de mensen ook toevallig, niet noodzakelijk. Het heeft heel lang geduurd en het is niet duidelijk waarom er zo'n twintigtal homoniden uitgestorven zijn en dat de eenentwintigste wel gelukt is. Dat het bewustzijn voor het kiezen belangrijk is blijkt al uit het Lamme's onderscheid tussen bewustzijn en het onderbewuste bij het kiezen. Wat het bewustzijn is, kan niet in natuurkundige termen gevat worden. De huidige biologen bejiveren zich om aan te tonen dat er bij de dieren ook een vorm van bewustzijn is. Of dat nu wel of niet zo is, is een interessante kwestie, maar voor de discussie hier niet relevant. Belangrijk is dat een mens een bewustzijn heeft, dat hem inzicht in zijn situatie geeft, dat hij er waarnemingen mee kan registreren en het kan gebruiken om te redeneren. Hij heeft in loop de eeuwen een logica kunnen ontwikkelen die de kwaliteit van redeneringen toetst. En langzamerhand is er een gebouw van wetenschap opgetrokken dat de waarnemingen ordent in een inzichtelijk schema. Een mens kan die wetenschap onderdeel maken van zijn gedrag.

Dit bewuste kiezen is natuurlijk onderhevig aan allerlei verborgen invloeden. Men ziet dat verschillende mensen al redenerend tot verschillende antwoorden komen. Vaak is de conclusie meer ingegeven door baatzucht dan door logica. Maar vanuit de wetenschap weten we dat juiste conclusies alleen getrokken kunnen worden zonder vooringenomenheid t.a.v. het antwoord. Maar er is keuze mogelijk. Men kan de natuurwetten niet in de wind slaan, maar wel de natuurwetenschappen.

Tot slot een voorbeeld waar keuzevrijheid een essentiële rol speelt: het klimaatprobleem. De keuzes die het klimaatprobleem oproept zijn zeker niet impulsief. Het klimaatprobleem berust op een nauwkeurige analyse van atmosferische verschijnselen in combinatie met een theoretisch model daarvoor. Helaas zijn er maar weinig mensen die het probleem in zijn geheel doorzien. Maar de wetenschap waarop het berust heeft voldoende geloofwaardigheid om het als een serieuze component in de overwegingen te nemen. Dus de vraag "valt er nog wat te kiezen?" is concreet: "kunnen er keuzes gemaakt worden in het klimaatprobleem"?

Mijn conclusie is dat er inderdaad wat te kiezen valt. En dat in problemen zoals het klimaatprobleem het mensdom kan en moet kiezen en daarmee de toekomst, die nog niet is ingevuld, mede kan bepalen.

J. M. J. van Leeuwen, juli 2017.