

# Wetenschap begrijpen

---

prof.dr. H.W. de Regt

Rede uitgesproken bij de aanvaarding van het ambt van bijzonder hoogleraar Wetenschapsfilosofie vanwege de Stichting Het Vrije Universiteitsfonds aan de Faculteit der Geesteswetenschappen van de Vrije Universiteit Amsterdam op 12 mei 2016.

Mijnheer de rector, dames en heren,

Wat is wetenschap? Dit is de centrale vraag van de wetenschapsfilosofie – de leeropdracht die ik heb gekregen met mijn aanstelling als bijzonder hoogleraar aan de Faculteit der Geesteswetenschappen. De titel van mijn oratie – *Wetenschap begrijpen* – vat dus met twee woorden het doel van mijn vakgebied samen.

Wat is wetenschap? In de roman *Nooit Meer Slapen* van W.F. Hermans vertrekt hoofdpersoon Alfred Issendorf naar Noorwegen om geologisch onderzoek te doen. Als hij zich in Oslo bij professor Nummedal meldt om zijn onderzoek te beginnen, raakt hij onmiddellijk verzeild in een discussie over de vraag wat de ware functie van wetenschap is, waarbij Nummedal ten slotte uitroept: “Wat is wetenschap? Wetenschap is de titanische poging van het menselijk intellect zich uit zijn kosmische isolement te verlossen door te begrijpen”.<sup>1</sup>

Begrijpen is dus ook het doel van de wetenschap zelf, althans als we professor Nummedal moeten geloven. Hermans zelf had niet zo’n vertrouwen in de gevestigde wetenschap en de hoogdravende taal van Nummedal komt dan ook nogal karikaturaal over. Volgens Hermans begrijpen we eigenlijk heel weinig van de wereld waarin we ons bevinden, en de wetenschap zal ons hierbij ook niet veel verder helpen.

Maar laten we Hermans’ pessimistische visie even vergeten en meegaan met de gedachte van professor Nummedal. Wetenschappelijk onderzoek kan allerlei verschillende doelen hebben, ook heel praktische, maar het lijkt toch niet onterecht om te stellen dat het *begrijpen* van de wereld om ons heen één van de hoofddoelen is. En het lijkt ook dat de wetenschap behoorlijk veel succes heeft op dit gebied. Om twee recente voorbeelden te noemen: drie maanden geleden werden voor het eerst gravitatiegolven waargenomen, wat een bevestiging was van de algemene relativiteitstheorie van Einstein, waarmee we de zwaartekrachtverschijnselen op astronomische schaal kunnen begrijpen. En een paar jaar geleden werd het langgezochte Higgs-deeltje ontdekt, een bevestiging van de theorie van het Higgs-veld, waarmee begrepen kan worden waarom elementaire deeltjes massa hebben.

---

<sup>1</sup> Hermans (1966: 11).

## Wetenschappelijk begrijpen

Het begrijpen van de wereld om ons heen is dus een hoofddoel van wetenschappelijk onderzoek. Maar wat is zulk ‘wetenschappelijk begrip’ nu precies? En hoe wordt het bereikt? Zo’n algemene vraag is typisch iets voor de filosofie, en dan in het bijzonder voor de wetenschapsfilosofie. Filosofen die zich deze vraag stellen, leggen al gauw een verband met het proces van *verklaring*: wetenschappers proberen waargenomen verschijnselen te verklaren, en is een goede verklaring eenmaal gevonden, dan is een verschijnsel begrepen. Begrip lijkt dus het product te zijn van wetenschappelijke verklaring.<sup>2</sup>

### Traditionele visies en hun problemen

Sinds men zich in de wetenschapsfilosofie bezig is gaan houden met verklaring en begrip – dat is zo ongeveer sinds de Tweede Wereldoorlog – zijn er verschillende visies op de aard en de rol van begrijpen gegeven, die in twee categorieën onderverdeeld kunnen worden. Ik zal deze nu kort bespreken, en laten zien dat geen van beide juist zijn.

De eerste groep wetenschapsfilosofen is van mening dat ‘begrijpen’ niet meer dan een *subjectief gevoel* is, en daarom ‘voer voor psychologen’ maar niet interessant voor filosofen, die immers een algemeen geldige, objectieve analyse van wetenschap willen geven.<sup>3</sup> Denk hierbij bijvoorbeeld aan Archimedes, die zijn beroemde Eureka-moment had toen hij in bad zittend de wet van de opwaartse druk ontdekte en begreep hoe hij daarmee zuiver goud kon onderscheiden van een mengsel. Volgens de overlevering was hij zo blij dat hij uit bad sprong en naakt over straat rende, al roepend “Ik heb het gevonden!”. Nu *kan* een goede wetenschappelijke verklaring zo’n gelukzalig gevoel van begrip tot gevolg hebben, maar dit gebeurt zeker niet altijd. En, wat nog erger is, het komt ook voor dat juist een foutieve verklaring een sterk gevoel van begrip geeft, zoals u waarschijnlijk – net als ik – uit eigen ervaring weet: soms voel je dat je begrijpt waarom iets gebeurd is, maar blijkt er later toch een heel andere verklaring voor te zijn. Het gevoel van begrip kan dus blijkbaar misleidend zijn, en sommige filosofen concluderen hieruit dat ‘verklaren’ wel een respectabel onderwerp voor filosofische analyse is, maar ‘begrijpen’ niet.

---

<sup>2</sup> Ik ga hier voorbij aan het *Erklären-Verstehen* debat in de menswetenschappen. Mijn analyse richt zich met name op de natuurwetenschappen, en de wetenschapsfilosofische discussie over de aard van verklaring en begrip binnen de natuurwetenschappen.

<sup>3</sup> Deze positie wordt onder anderen verdedigd door Hempel (1965) en Trout (2002).

Het lijkt me dat we inderdaad niet teveel waarde moeten hechten aan het subjectieve gevoel van begrip dat wetenschappelijke verklaringen (goede en slechte) teweeg kunnen brengen. Maar dit betekent nog niet dat we ‘begrijpen’ helemaal links moeten laten liggen. Als we naar de wetenschapsgeschiedenis kijken, dan zien we dat ‘begrijpen’ geen overbodig bijproduct van verklaring is. Dit blijkt bijvoorbeeld uit de ontstaansgeschiedenis van de kwantummechanica, een theorie die in de jaren twintig van de vorige eeuw ontwikkeld is. Nadat Niels Bohr in 1913 de eerste kwantumtheorie over de structuur van atomen had gepubliceerd, probeerden natuurkundigen een meer algemene kwantummechanica te ontwikkelen. In 1926 waren er twee kandidaten voor zo’n kwantummechanica: de matrixmechanica van Werner Heisenberg en de golfmechanica van Erwin Schrödinger. Er ontstond een verhit debat over de vraag welke van deze theorieën beter was, en het thema ‘begrijpelijkheid’ speelde daarin een centrale rol. Het ging er soms emotioneel aan toe: Schrödinger schreef dat hij “ontmoedigd, om niet te zeggen afgestoten”<sup>4</sup> werd door de theorie van Heisenberg, terwijl Heisenberg zich liet ontvallen dat hij de theorie van Schrödinger “afschuwelijk” vond, en diens opmerkingen over begrijpelijkheid “onzin”.<sup>5</sup> Maar hoewel het hier op het eerste gezicht slechts om (subjectieve) emoties lijkt te gaan, waren deze discussies over hoe de structuur van atomen te begrijpen is cruciaal voor de verdere ontwikkeling van de kwantummechanica, zoals ik straks in meer detail zal laten zien. Begrijpen is méér dan alleen een subjectief gevoel.

Een tweede categorie opvattingen in de wetenschapsfilosofie stelt dat wetenschappelijk begrip een vorm van *objectieve kennis* is, die door goede verklaringen geproduceerd wordt. We weten bijvoorbeeld dat de gemiddelde temperatuur op aarde in de afgelopen eeuw gestegen is; we hebben objectieve kennis van de opwarming van de aarde. Als wetenschappers kunnen verklaren *waarom* de aarde opwarmt, bijvoorbeeld door het broeikaseffect en de toename van CO<sub>2</sub> in de atmosfeer, dan levert dat nog meer objectieve kennis, en wel van een speciale soort: we weten nu ook wat de *oorzaak* van de opwarming is. Volgens sommige filosofen staat begrijpen gelijk aan het kennen van de oorzaak. Anderen menen dat begrijpen ook een ander

---

<sup>4</sup> Schrödinger (1984: 144): “Ich hätte von seiner Theorie natürlich Kenntnis, fühlte mich aber durch die mir sehr schwierig scheinenden Methoden der transzendenten Algebra und durch den mangel an Anschaulichkeit abgeschreckt, um nicht zu sagen abgestossen”.

<sup>5</sup> Heisenberg aan Pauli, 8 juni 1926, in Pauli (1979: 328): “Je mehr ich über den physikalischen Teil der Schrödingerschen Theorie nachdenke, desto abscheulicher finde ich ihn. Was Schrödinger über Anschaulichkeit seiner Theorie schreibt ‘dürfte wohl kaum eine sinngemässe...’ in a. W. ich finde es Mist.”

type kennis kan zijn, namelijk kennis van de *samenhang* van een verschijnsel met andere verschijnselen. Denk bijvoorbeeld aan de evolutietheorie, een theorie die heel verschillende eigenschappen van levende organismen verklaart op basis van één en hetzelfde mechanisme. Het is die samenhang – het onder één noemer brengen van allerlei ogenschijnlijk totaal verschillende verschijnselen – die zorgt voor begrip. Begrip is in deze opvatting dus objectieve kennis van de samenhang van verschijnselen.<sup>6</sup>

De opvatting van begrip als objectieve kennis is te verkiezen boven het eerder genoemde idee dat begrijpen slechts een subjectief gevoel is, maar ook zij komt in de problemen als we haar wat beter bekijken. Er zijn drie concrete bezwaren. Ten eerste is er het probleem dat kennis *waarheid* veronderstelt.<sup>7</sup> We kunnen alleen iets weten als het waar is. Dus als we wetenschappelijk begrip opvatten als objectieve kennis van de oorzaak van een verschijnsel, dan begrijpen we iets pas als we de *ware* oorzaak ervan kennen. Op het eerste gezicht lijkt dit onproblematisch. Immers, de theorie dat de planeten bewegen omdat ze door engelen worden voortgeduwd lijkt geen echt begrip op te leveren.<sup>8</sup> Maar bij nadere beschouwing blijkt er dan wel heel veel buiten de boot te vallen. Als we weer naar de wetenschapsgeschiedenis kijken, dan zien we veel wetenschappelijke theorieën uit het verleden op empirisch niveau behoorlijk succesvol waren, dat wil zeggen: ze slaagden er goed in om de waargenomen verschijnselen te beschrijven, te voorspellen en te verklaren. Veel van die theorieën zijn inmiddels ingeruild voor nieuwe, nog betere theorieën, die soms in directe tegenspraak met de oude theorie zijn. De oude theorieën zijn dus ondanks hun succes uiteindelijk onwaar gebleken – of worden in elk geval nu als onwaar beschouwd. Betekent dit nu dat wetenschappers in het verleden geen enkel begrip hadden van de verschijnselen die ze met hun theorie zo goed konden beschrijven, voorspellen en verklaren? Het lijkt me dat we ze daarmee tekort doen.

---

<sup>6</sup> De genoemde voorbeelden corresponderen met, respectievelijk, de causale opvatting van begrip – die bijvoorbeeld door Wesley Salmon (1998) verdedigd werd – en de unificatie-opvatting van begrip – verdedigd door Michael Friedman (1974) en Philip Kitcher (1989). Merk op dat het hier steeds gaat om *begrijpen waarom* iets het geval is, en niet zozeer begrijpen dat, of begrijpen hoe. In de wetenschapsfilosofische discussie rond verklaring en begrip staat de waarom-vraag centraal.

<sup>7</sup> Ik ga hier uit van de in de epistemologie gehanteerde standaardopvatting van kennis als ‘justified true belief’.

<sup>8</sup> Ik dank Victor Gijsbers voor dit voorbeeld. Zie De Regt en Gijsbers (te verschijnen) voor een uitgebreidere analyse van de relatie tussen waarheid en begrip.

Een voorbeeld is de flogistontheorie, waarmee scheikundigen in de achttiende eeuw het proces van verbranding verklaarden. Deze theorie veronderstelt het bestaan van ‘flogiston’, een gewichtloze substantie die bij verbranding uit het brandende materiaal ontwijkt. In de negentiende eeuw werd de flogistontheorie voorbijgestreefd door de zuurstoftheorie van Lavoisier, en werden verbrandingsprocessen begrepen als reacties waarin een stof zich verbindt met zuurstof uit de omringende lucht. Flogiston werd afgedaan als niet bestaand, een fictie. Moeten we nu zeggen dat de achttiende eeuwse scheikundigen er niets van hadden begrepen? Gaven hun verklaringen slechts ‘vals begrip’? Dat doet ze mijns inziens tekort. De flogistontheoretici hadden een bepaald niveau van wetenschappelijk begrip bereikt, ook al weten wij nu dat hun theorie onwaar is (aangezien flogiston volgens de huidige scheikundige inzichten niet bestaat). Sommigen van u zullen wellicht vinden dat de flogistontheorie inderdaad geen begrip kan geven als het gebaseerd is op een fictie. Maar dan wil ik u een ander voorbeeld voorleggen: de zwaartekrachttheorie van Newton is ook een achterhaalde theorie, want zij is vervangen door de algemene relativiteitstheorie van Einstein. Het idee van zwaartekracht is net als flogiston een fictie – gravitatieverschijnselen worden door Einstein verklaard op basis van de kromming van de ruimte. Betekent dit dat Newton er niets van begrepen had? En dat middelbare scholieren in hun natuurkundelessen ‘vals begrip’ wordt bijgebracht als ze Newtons theorie leren? Dat lijkt mij een verkeerde conclusie. Eerder lijkt het zo te zijn dat we ook met onware theorieën een zekere mate van begrip kunnen bereiken.

Een tweede bezwaar tegen het idee dat begrip een vorm van objectieve kennis is, is dat studie van de wetenschapsgeschiedenis leert dat criteria voor begrijpelijkheid, en opvattingen over wanneer begrip bereikt is, in de loop van de tijd sterk kunnen veranderen. Zo vond men in de zeventiende eeuw dat alleen een mechanica gebaseerd op contactwerking begrijpelijk was, terwijl in de achttiende eeuw (als gevolg van het succes van Newtons zwaartekrachttheorie) juist werking op afstand als begrijpelijk werd gezien.<sup>9</sup> We zouden uiteraard kunnen denken dat slechts één van deze posities de juiste is, maar dat zou mijns inziens geen recht doen aan de wetenschappers uit het verleden. Eerder is het zo dat begrip blijkbaar *contextueel* is: wat criteria voor wetenschappelijk begrip zijn, en wanneer begrip bereikt is, hangt af van de historische context. Hetzelfde geldt voor de disciplinaire context: criteria voor begrip kunnen per wetenschappelijke discipline verschillen. Dit lijkt moeilijk te rijmen met een idee van begrip als objectieve kennis.

---

<sup>9</sup> Zie Van Lunteren (1991).

Een derde probleem met dit idee – misschien wel het meest fundamentele probleem – is dat begrip iets *wezenlijk* anders dan kennis lijkt te zijn.<sup>10</sup> Want stel dat we *weten* wat de oorzaak van een bepaald verschijnsel is, is het daarmee dan onmiddellijk gezegd dat we dat verschijnsel ook *begrijpen*? Ik *weet* bijvoorbeeld dat de massa van elementaire deeltjes wordt veroorzaakt door het Higgs-veld, omdat ik dat uit betrouwbare bronnen heb vernomen, maar begrijpen doe ik het eerlijk gezegd niet. Weten dat de opwarming van de aarde wordt veroorzaakt door het broeikaseffect is nog niet voldoende voor begrip. Hetzelfde geldt voor begrip als objectieve kennis van de samenhang der dingen: simpelweg weten dat eigenschappen van nu levende soorten door de evolutietheorie verklaard worden, is iets anders dan dit begrijpen. Begrijpen lijkt méér te zijn dan het bezitten van kennis, maar wat is dat méér?

Een filosoof die mijns inziens het juiste antwoord op die vraag heeft gegeven is Ludwig Wittgenstein. In zijn *Philosophische Untersuchungen* laat Wittgenstein namelijk op overtuigende wijze zien dat begrijpen méér is dan het bezitten van (een bepaald soort) kennis: begrijpen is verbonden met de *vaardigheid* om kennis te gebruiken.<sup>11</sup>

### **De contextuele theorie van wetenschappelijk begrip**

Het idee dat begrijpen verbonden is met vaardigheden is een van de centrale elementen van de theorie van wetenschappelijk begrijpen die ik in de afgelopen jaren ontwikkeld heb. De eerste versie van deze theorie is gepubliceerd in een artikel uit 2005, dat samen met Dennis Dieks geschreven is.<sup>12</sup> In latere artikelen heb ik de theorie verder uitgewerkt, en in mijn boek *Understanding Scientific Understanding* wordt de theorie samen met een aantal historische gevalstudies gepresenteerd.<sup>13</sup>

Mijn analyse van wetenschappelijk begrip laat zien dat begrijpen een belangrijke functie vervult in wetenschappelijk onderzoek (en dus meer is dan een subjectief gevoel), maar ook dat criteria voor wetenschappelijk begrip kunnen variëren in de loop van de geschiedenis.

---

<sup>10</sup> Het is opmerkelijk dat in onderwijsbeleid het onderscheid tussen kennis en begrip wel wordt gemaakt maar niet wordt verhelderd. Zo worden in de Dublin-descriptoren, die de eindtermen van het hoger onderwijs beschrijven, “knowledge and understanding” (vertaald als “kennis en inzicht”) steeds gezamenlijk genoemd, zonder dat duidelijk gemaakt wordt wat het verschil ertussen is.

<sup>11</sup> Wittgenstein (1953: par.151-155)

<sup>12</sup> De Regt en Dieks (2005).

<sup>13</sup> Zie bv. De Regt (2009, 2014, 2015, te verschijnen).

Sterker nog, zelfs op één moment kunnen wetenschappers verschillende opvattingen hebben over hoe begrip het beste te bereiken is. Deze variatie ontstaat doordat, zoals ik al eerder heb opgemerkt, begrip een context-afhankelijke notie is. Dit is eenvoudig in te zien als we ons realiseren dat ‘begrijpen’ – in tegenstelling tot bijvoorbeeld verklaren – noodzakelijkerwijs een relatie is tussen drie termen: een verschijnsel, een theorie, en een subject (dat wil zeggen, een persoon die begrijpt). We kunnen misschien zeggen dat een theorie een verschijnsel kan verklaren, maar het is onzinnig om te zeggen dat een theorie een verschijnsel kan begrijpen. Het is altijd een denkend subject – een wetenschapper bijvoorbeeld – dat een verschijnsel begrijpt, met behulp van een theorie. En een subject maakt altijd deel uit van een context; voor een wetenschapper wordt die context onder andere vormgegeven door zijn opleiding en door de stand van zaken in zijn vakgebied. Of een bepaalde theorie begrip van een verschijnsel oplevert, hangt dus mede af van het subject en zijn context. Zo zullen sommigen onder u wellicht begrijpen – met behulp van de theorie van het Higgs-veld – waarom elementaire deeltjes massa hebben, maar ik denk dat de meesten van ons dit begrip helaas ontberen.

Zoals gezegd is dit voor sommige wetenschapsfilosofen reden om ‘begrijpen’ als louter subjectief te zien, en dus af te doen als filosofisch irrelevant. Zij menen dat er tussen theorieën en verschijnselen een directe, objectieve relatie moet bestaan: zo zou een verklaring eenvoudigweg een logisch argument zijn waarin een verschijnsel afgeleid wordt uit een theorie (plus randcondities). Ik geef toe dat dit een aantrekkelijk idee is. We zouden dan kunnen zeggen dat de theorie van het Higgs-veld verklaart waarom deeltjes massa hebben, en dat het er niet toe doet wie dit wel begrijpt en wie niet.

Toch is het niet zo simpel. Als we naar de wetenschappelijke praktijk kijken, zien we dat de relatie tussen een theorie en de waarneembare werkelijkheid meestal bemiddeld wordt door een *model*.<sup>14</sup> De werkelijkheid is complex, en het komt zelden voor dat het gedrag van een werkelijk bestaand systeem direct uit een theorie afgeleid kan worden – en zo verklaard kan worden. Normaalgesproken construeren wetenschappers eerst een model van het systeem, en passen daar dan de theorie op toe. Het ontwerpen van zo’n model is een kunst, het is onder andere een kwestie van geschikte benaderingen en idealiseringën kiezen. Er zijn geen precieze

---

<sup>14</sup> Cartwright (1983), Morgan en Morrison (1999).



regels, laat staan algoritmen, voor goed modelleren, het is een *vaardigheid* die je alleen in de praktijk kan leren.

Wetenschappelijke verklaring heeft dus een menselijk gezicht: wetenschappers moeten in staat zijn passende modellen te construeren. Er zijn twee factoren die bepalen of een wetenschapper feitelijk in staat is om een model te maken dat het verschijnsel met de theorie kan verbinden: de *vaardigheden* van de wetenschapper, en de *eigenschappen* van de theorie. Deze twee moeten goed op elkaar afgestemd zijn: wetenschappers moeten zodanig vertrouwd zijn met de theorie en haar eigenschappen dat zij passende modellen kunnen construeren. De theorie moet, met andere woorden, *begrijpelijk* voor hen zijn. Ik concludeer hieruit dat wetenschappelijke verklaring alleen mogelijk is als de theorie die erbij gebruikt wordt begrijpelijk is, waarbij ik begrijpelijkheid definieer als:

*Begrijpelijkheid (van een theorie)*: de positieve waarde die wetenschappers (in een bepaalde context) toekennen aan de eigenschappen van de theorie die het gebruik van de theorie faciliteren.

Het is belangrijk om op te merken dat begrijpelijkheid, zoals hierboven gedefinieerd, geen intrinsieke eigenschap van een theorie is, maar een context-afhankelijke waarde, die gerelateerd is aan de vaardigheden van de wetenschappers. Je kunt niet zeggen dat de kwantummechanica, de evolutietheorie, of de theorie van het Higgs-veld in zichzelf begrijpelijk of onbegrijpelijk is – òf deze theorieën dat zijn, hangt af van de context waarin ze gebruikt worden.

Het kan misschien verwarrend lijken dat ik de notie ‘begrijpelijkheid’ nu gebruik voor theorieën, terwijl het uiteindelijk gaat om het begrijpen van de verschijnselen, van de wereld om ons heen. Deze twee soorten van ‘begrijpen’ moeten zeker goed onderscheiden worden, maar ze staan ook in verband met elkaar: mijn stelling is dat begrijpelijke theorieën een noodzakelijke voorwaarde zijn voor het begrijpen van de verschijnselen. Dit verband, en deze (soms verwarrende) terminologie, vinden we terug in de praktijk en de geschiedenis van wetenschap, zoals ik nu met een voorbeeld zal laten zien.

### **Voorbeeld: de kwantummechanica**

Om mijn contextuele theorie van wetenschappelijk begrip te illustreren, zal ik haar toepassen op het al eerder genoemde geval van de ontstaansgeschiedenis van de kwantummechanica, een theorie die vaak als onbegrijpelijk wordt gezien. Bekend zijn de uitspraken van Richard

Feynman, Nobelprijswinnaar en één van de meest briljante natuurkundigen van de twintigste eeuw. In zijn boek *The Character of Physical Law* schreef Feynman: “Ik denk dat ik gerust kan zeggen dat niemand de kwantummechanica begrijpt”.<sup>15</sup> Hier blijkt hoe het begrijpen van een theorie en het begrijpen van de verschijnselen in het domein van die theorie in elkaars verlengde liggen. Want wat bedoelt Feynman hier precies? Zou hij bedoelen dat zelfs natuurkundigen de theorie niet begrijpen in de zin dat ze er geen berekeningen mee zouden kunnen maken? Dat ze zouden zakken voor een eerstejaars tentamen kwantumfysica? Vast niet. Wat hij eerder lijkt te bedoelen, kunnen we lezen in de beroemde *Feynman Lectures on Physics*, waar hij over atomen en hun gedrag zegt: “Zelfs de experts begrijpen het niet zoals ze zouden willen, en dat is niet meer dan logisch, want al onze directe ervaring en onze menselijke intuïtie heeft betrekking op grote voorwerpen”.<sup>16</sup> Met andere woorden, zelfs fysici die goed bekend zijn met de kwantummechanica, hebben moeite om een *werkelijkheid* te begrijpen die zich gedraagt volgens de wetten van die theorie. Volgens Feynman heeft dit te maken met het tegen-intuïtieve karakter van de theorie. Zo is er bijvoorbeeld de golf-deeltje dualiteit: in onze alledaagse wereld bestaan er golven en deeltjes, maar iets kan niet èn een golf èn een deeltje zijn. In de kwantumwereld kan dat wel: daar hebben elektronen en fotonen zowel golf- als deeltjes-aspecten, wat een eenduidige voorstelling ervan onmogelijk maakt.

Het was deze vorm van onbegrijpelijkheid die al in de beginfase van de ontwikkeling van de kwantumtheorie een belangrijke rol speelde. De eerste kwantumtheorie over de structuur van atomen was die van Niels Bohr, gepubliceerd in 1913 en 1918. Deze theorie was in empirisch opzicht behoorlijk succesvol, maar er bleven ook problemen, zowel op het empirische als op het conceptuele vlak. Daarom werd er in de jaren twintig door veel natuurkundigen hard gewerkt aan de verbetering van de kwantumtheorie. Halverwege de jaren twintig verschenen er twee nieuwe theorieën op het toneel: de matrixmechanica van Heisenberg en de golfmechanica van Schrödinger. Heisenbergs theorie was abstract en gebaseerd op een in die tijd nogal obscure vorm van wiskunde, de matrixrekening. De theorie beperkte zich tot het beschrijven van de relaties tussen direct waarneembare grootheden, zoals de frequentie en intensiteit van het door atomen uitgezonden licht; er werd geen beschrijving van de inwendige

---

<sup>15</sup> Feynman (1965: 129): “I think I can safely say that nobody understands quantum mechanics”.

<sup>16</sup> Feynman, Leighton en Sands (1965: 1-1): “Even the experts do not understand it the way they would like to, and it is perfectly reasonable that they should not, because all of direct, human experience and of human intuition applies to large objects”.

structuur van atomen gegeven. Schrödinger beloofde wèl een concreet, visueel model: zijn theorie beschreef het atoom als een complex samenspel van golfverschijnselen. Ook was Schrödingers golfmechanica wiskundig gezien eenvoudiger dan de matrixmechanica, want met golfvergelijkingen waren natuurkundigen goed vertrouwd.

Er volgde een felle discussie over de waarde van deze twee theorieën, waarin het thema ‘begrijpen’ een belangrijke rol speelde. Schrödinger stelde dat een natuurkundige theorie *aanschouwelijk* moet zijn: alleen een theorie die ons een aanschouwelijk beeld van de werkelijkheid geeft, kan begrip van de verschijnselen geven. Voor Schrödinger was aanschouwelijkheid een noodzakelijke voorwaarde voor wetenschappelijk begrip, want:

“we kunnen onze manier van denken in ruimte en tijd niet werkelijk veranderen, en wat we daarmee niet kunnen begrijpen, kunnen we überhaupt niet begrijpen”.<sup>17</sup>

De golfmechanica gaf – in tegenstelling tot de matrixmechanica – een aanschouwelijk beeld van de atoomstructuur, en was volgens Schrödinger superieur omdat alleen op die manier werkelijk begrip verkregen kan worden. Als extra argument voegde hij daaraan toe dat aanschouwelijke theorieën over het algemeen vruchtbaarder zijn: het oplossen van problemen, en het toepassen van de theorie op nieuwe situaties, is gemakkelijker met behulp van een concreet beeld dan met alleen een abstract wiskundig formalisme. Dit laatste bleek inderdaad het geval te zijn: met de golfmechanica was het eenvoudiger om modellen voor concrete fysische situaties te construeren, en deze theorie bleek al snel meer succes te hebben dan de matrixmechanica.

De aanhangers van de matrixmechanica brachten tegen Schrödingers argumentatie in dat begrip ook bereikt kan worden zonder een aanschouwelijk beeld. Het was met name Heisenbergs vriend en collega Wolfgang Pauli die zich fel verzette tegen de ideeën van Schrödinger. Pauli had zich al eerder kritisch uitgelaten over pogingen om de atoomfysica aanschouwelijk te maken. Zo schreef hij in 1924 een brief aan Niels Bohr, waarin hij het verlangen van fysici naar aanschouwelijkheid vergeleek met de liefde van kinderen voor plaatjesboeken. Hij voegde er aan toe:

“Hoewel het verlangen van deze kinderen naar aanschouwelijkheid deels gerechtvaardigd en gezond is, mag dit in de natuurkunde nooit gebruikt worden als

---

<sup>17</sup> Schrödinger (1984, vol.3: 118): “Denn wir können die [räumlich-zeitlichen] Denkformen nicht wirklich ändern und was wir innerhalb derselben nicht verstehen können, das können wir überhaupt nicht verstehen.”

argument voor het handhaven van vaste begrippenstelsels. Als de nieuwe begrippenstelsels eenmaal bezonken zijn, dan zullen ook deze aanschouwelijk zijn”.<sup>18</sup>

Pauli beweerde, met andere woorden, dat de matrixmechanica in eerste instantie weliswaar moeilijk te begrijpen is, maar dat dit in de toekomst vanzelf zal veranderen: wanneer we aan de nieuwe theorie gewend zijn geraakt, zullen we haar kunnen begrijpen zonder dat we daarbij concrete, visuele beelden nodig hebben. Zij zal dan op een nieuwe manier ‘aanschouwelijk’ worden – niet in de letterlijke betekenis van ‘visualiseerbaar’, maar in de meer algemene betekenis van: *begrijpelijk*.

Deze discussies over aanschouwelijkheid en begrijpelijkheid leidden uiteindelijk tot een synthese van de twee concurrerende theorieën: een kwantummechanica waarin de matrixmechanica en de golfmechanica gecombineerd zijn tot een ongekend krachtige theorie, die veel sterker is dan de beide theorieën afzonderlijk. Zo laat dit voorbeeld zien hoe debatten over begrip en begrijpen een stimulans kunnen zijn voor vooruitgang in de wetenschap.

Wat er ook uit blijkt, is dat een theorie die visualisatie toelaat voor veel wetenschappers gemakkelijker te hanteren is dan een abstracte theorie. Maar aanschouwelijkheid – in de strikte zin van visualiseerbaarheid – is geen noodzakelijke voorwaarde voor begrijpelijkheid, zoals Schrödinger meende. Het is een eigenschap van theorieën die door wetenschappers in een bepaalde context kan worden gewaardeerd omdat zij het gebruik van die theorieën voor hen vergemakkelijkt. Feynman was ook iemand voor wie visueel denken belangrijk was. Eind jaren veertig ontwikkelde hij een methode om de abstracte kwantumveldentheorie hanteerbaar en inzichtelijk te maken: de beroemde Feynman diagrammen. Voor veel natuurkundigen was dit een uitkomst. Maar het is ook goed mogelijk dat iemand juist meer begrip vindt in een abstracte theorie – dat gold voor Pauli en Heisenberg, en in de wetenschapsgeschiedenis zijn daar meer voorbeelden van te vinden.<sup>19</sup> Het is deze contextuele variatie die kenmerkend is voor de aard van wetenschappelijk begrijpen.

---

<sup>18</sup> Pauli aan Bohr, 12 december 1924, in Pauli (1979: 188): “Wenn auch das Verlangen dieser Kinder nach Anschaulichkeit teilweise ein berechtigtes und gesundes ist, so darf dieses Verlangen doch niemals in der Physik als Argument für die Beibehaltung gewisser Begriffssysteme gelten. Sind die Begriffssysteme einmal abgeklärt, so werden auch die neuen anschaulich sein”.

<sup>19</sup> Zie De Regt (2014) voor een analyse van de betekenis van visualisatie voor begrip, en een bespreking van de rol ervan in de kwantummechanica en kwantumveldentheorie.

## Begrip en intuïties

Ik concludeer dat wetenschappelijk begrip van de verschijnselen in een bepaald domein bereikt kan worden als de vaardigheden van wetenschappers goed afgestemd zijn op de eigenschappen van de theorieën die ze gebruiken om modellen te construeren. Als dat het geval is, zijn de betreffende theorieën *begrijpelijk* voor die wetenschappers – en óf dit het geval is, hangt af van de (historische of disciplinaire) context.

Deze begrijpelijkheid heeft te maken met vertrouwdheid, met het ontwikkelen van een intuïtief inzicht in de theorie en haar implicaties. Een mogelijke indicatie voor de begrijpelijkheid van een theorie voor wetenschappers is dat zij ermee in staat zijn om kwalitatieve voorspellingen te doen over het gedrag van een systeem, zonder exacte berekeningen uit te voeren.<sup>20</sup> Zulk intuïtief begrip van de theorie kan ontwikkeld worden, en de vaardigheden die nodig zijn om met nieuwe theorieën te werken kunnen tijdens de opleiding en in de praktijk geleerd worden. Vaak gaat dit min of meer vanzelf, maar soms, zoals in het geval van de kwantumtheorie, moeten er radicaal nieuwe intuïties ontwikkeld worden. Ik citeerde eerder al Feynman, die zei dat het logisch is dat zelfs experts moeite hebben met het begrijpen van de microscopische kwantumwereld, omdat deze zo verschilt van de alledaagse macroscopische werkelijkheid waardoor onze intuïties gevormd zijn.

Toch is het niet onmogelijk om onze intuïties ook op een radicale manier bij te scholen, zoals blijkt uit een publicatie die een maand geleden in *Nature* is verschenen.<sup>21</sup> Onderzoekers van de Universiteit van Aarhus (Denemarken) ontwikkelden een online computerspel, genaamd *Quantum Moves*. De spelers – die geen wetenschappelijke experts zijn – komen terecht in een virtuele wereld waar de wetten van de kwantumfysica gelden en waar ze problemen op het gebied van de kwantumcomputatie moeten oplossen. Het blijkt dat menselijke spelers dit beter en efficiënter doen dan speciaal ervoor ontwikkelde computerprogramma's. De onderzoekers waren verbaasd over dit resultaat, en suggereren nu dat we ook in de kwantumfysica misschien meer moeten vertrouwen op de kracht van de menselijke intuïtie.<sup>22</sup> Ik zie dit resultaat als een bevestiging van mijn analyse van wetenschappelijk begrijpen:

---

<sup>20</sup> Zie De Regt en Dieks (2005). Dit criterium is met name bruikbaar voor theorieën die in wiskundige termen geformuleerd zijn. Voor andersoortige theorieën moeten andere criteria geformuleerd worden.

<sup>21</sup> Sørensen et al (2016).

<sup>22</sup> Gibney (2016).

intuïties zijn van belang, juist ook in de wetenschap, en intuïties kunnen ontwikkeld en getraind worden.<sup>23</sup>

Begrijpen is dus deels een kwestie van gewenning. Maar het is niet alleen maar een ‘passieve’ gewenning die als het ware achter de feiten aanloopt. Het is niet een subjectief gevoel dat we kunnen, of zelfs moeten, negeren omdat het objectieve verklaring alleen maar in de weg zou zitten. Nee, begrijpen heeft een ‘actieve’ functie in wetenschappelijk onderzoek, die verbonden is met de vaardigheid om een theorie op een intuïtieve manier te gebruiken.

Het idee dat begrijpen deels een kwestie van gewenning is, klinkt wellicht niet zo vreemd. Op andere terreinen dan wetenschap lijkt dit ook het geval te zijn. Laten we – als intermezzo – eens een heel ander domein beschouwen, dat mij ook na aan het hart ligt: de muziek. Wanneer en hoe begrijpen we muziek?

## **Intermezzo: muziek begrijpen**

Voor aanvang van mijn rede heeft u kunnen luisteren naar stukken van Scarlatti en Sweelinck, gespeeld door pianist Frederic Voorn. Ik hoop dat u van deze prachtige muziek heeft genoten. En ik ben ervan overtuigd dat ieder van u – of u nu denkt veel of weinig verstand van klassieke muziek te hebben – deze muziek begrijpelijk heeft gevonden. Niemand zal gedacht hebben: wat zijn dat voor vreemde geluiden, ik begrijp er niets van. Maar luistert u nu eens naar het volgende stukje pianomuziek:

<https://www.youtube.com/watch?v=iJfF1THDnuY>

Dit zijn de Variaties opus 27 van Anton Webern, gespeeld door Maurizio Pollini. Webern was een componist uit de Tweede Weense School, en hij schreef deze muziek in 1936 met behulp van de twaalftoonstechniek, een manier van componeren die ontwikkeld was door zijn collega Arnold Schönberg. Er zijn ongetwijfeld liefhebbers van deze muziek in de zaal, en wellicht hebben sommigen van u dit stuk van Webern al eerder gehoord. Maar ik schat in dat er ook

---

<sup>23</sup> Het idee dat intuïties een rol spelen bij redeneren en beslissen wordt ondersteund door empirisch onderzoek in de psychologie; zie Gigerenzer (2007) en Kahneman (2011). Gigerenzer (2007: 16) stelt dat er niets mysterieus is aan intuïties; zij zijn het product van heuristieken die ontwikkeld zijn middels een evolutionair proces van adaptatie aan onze omgeving (2007: 47-49).

velen onder u zijn die er wat moeite mee hebben, en denken dat ze deze muziek niet begrijpen.

Wanneer begrijpen we een stuk muziek? Wat zijn de voorwaarden voor het begrijpen van muziek? Kunnen alleen musicologen de muziek van Webern goed begrijpen, omdat zij voldoende kennis hebben van muziektheorie en muziekgeschiedenis? Als dat zo is, zou hetzelfde gelden voor bijvoorbeeld Bach en Mozart. Waarom hebben ‘gewone’ luisteraars zonder muzikwetenschappelijke bagage dan wel het gevoel dat zij de muziek van Mozart begrijpen? Is dat louter een kwestie van gewenning?

Ik denk dat we hier een interessante parallel zien met wetenschappelijk begrijpen. Het begrijpen – en waarderen – van een bepaald muziekstuk heeft te maken met (onder andere) het herkennen van structuur. Iemand met musicologische kennis kan die structuur analyseren en benoemen, maar een gewone luisteraar kan structuur ook waarnemen. Door gewenning kan de luisteraar vertrouwd raken met bepaalde structuren, en nieuwe, onbekende stukken die een herkenbare structuur hebben (bijvoorbeeld omdat ze in een bepaalde stijl zijn gecomponeerd) relatief snel en gemakkelijk begrijpen en waarderen.<sup>24</sup> De luisteraar ontwikkelt een bepaalde ‘intuïtie’ met betrekking tot muziek in een bepaalde stijl, en die intuïtie kan ‘actief’ worden ingezet om nieuwe stukken te begrijpen. De musicoloog kan dit begrip daarnaast expliciet maken met behulp van muziektheoretische concepten.<sup>25</sup>

Muzikaal begrip kan dus ontstaan door gewenning, maar is niet alleen máár gewenning. Als iemand de variaties van Webern heel vaak beluistert, maar verder nooit andere twaalftoons-

---

<sup>24</sup> Zie Berg (1924), die het begrijpen van muziek als volgt definieert: “To follow a piece of music as one follows the words of a poem in a language that one has mastered through and through means the same—for one who possesses the gift of thinking musically—as understanding the work itself.” Na analyse van een strijkkwartet van Schönberg schrijft Berg: “It is not surprising that an ear accustomed to the music of the last century cannot follow a piece of music where such things are going on. The music of the nineteenth century is almost always homophonic; its themes are built symmetrically in units of two or four bars; its evolutions and developments are for the most part unthinkable without an abundance of repetition and sequences (generally mechanical), and finally this conditions the relative simplicity of the harmonic and rhythmic action. Decades of habituation to these things make the listener of today incapable of understanding music of a different kind.”

<sup>25</sup> Vgl. Tanner en Budd (1985). Tanner onderscheidt drie niveaus van muziek begrijpen, waarvan het eerste niveau te bereiken is voor luisteraars zonder expliciete muziektheoretische kennis. Budd stelt dat het mogelijk is om een muziekstuk te ervaren met “full musical understanding”, zonder kennis van musicologische concepten en terminologie. Het verschil tussen de musicologisch onderlegde expert en de leek is dat eerstgenoemde zijn muzikale ervaringen en voorkeuren kan verklaren.

muziek hoort, dan kan hij het stuk misschien gaan waarderen en het gevoel krijgen dat hij het begrijpt. Maar dit betekent niet per se dat hij ook echt muzikaal begrip heeft. Dat is pas het geval als hij intuïties ontwikkeld heeft over, bijvoorbeeld, de muzikale structuur die hij ook op nieuwe stukken kan toepassen. En zulke intuïties worden gewoonlijk pas ontwikkeld na het beluisteren van veel verschillende stukken in dezelfde stijl.<sup>26</sup>

Het begrijpen van muziek door de theoretisch ongeschoolde luisteraar lijkt van dezelfde soort als het intuïtieve begrip dat de spelers van de online game *Quantum Moves* verwerven. Zij raken gewend aan de wetten van de kwantummechanica door zich in het spel te bewegen, en ze verwerven de vaardigheden om nieuwe problemen op te lossen, net zoals de luisteraars de vaardigheden ontwikkelen om nieuwe stukken te begrijpen en te waarderen.<sup>27</sup>

## Wetenschap begrijpen

Ik ben nu ongemerkt te spreken gekomen over het verschil in begrip tussen experts en leken, en dat is ook het onderwerp waar ik mijn onderzoek in de komende jaren op wil richten. Ik zal het resterende deel van mijn rede besteden aan mijn plannen voor nieuw onderzoek.

### Communicatie en interactie tussen experts en leken

De contextuele theorie van wetenschappelijk begrip die ik hierboven uitgelegd heb, heeft betrekking op het begrip dat wetenschappers – als experts in een bepaald vakgebied – kunnen bereiken van de verschijnselen in een bepaald domein. De theorie beschrijft hoe, bijvoorbeeld, natuurkundigen de kwantumwereld begrijpen of biologen de evolutie van soorten. Nu is veel wetenschappelijk werk zo specialistisch dat het alléén voor experts toegankelijk en begrijpelijk lijkt te zijn. Als dat echt zo is, dan zou dat een probleem zijn, want het is belangrijk dat wetenschappers hun kennis en begrip ook kunnen overbrengen aan leken.

---

<sup>26</sup> Tanner geeft het volgende voorbeeld: de eerste tweeëntwintig maten van Mozarts *Dissonanten* kwartet zijn onbegrijpelijk vanuit musicologisch perspectief. Maar door het stuk vaak te beluisteren, raken we eraan gewend en vinden we het niet vreemd of onbegrijpelijk meer. Deze gewenning geeft echter geen begrip van het soort waarmee we ook andere stukken kunnen begrijpen – het is niet meer dan gewenning (Tanner en Budd 1985: 221-22).

<sup>27</sup> Ik dank Martin Kaaij voor discussie over dit thema. Hij inspireerde mij om na te denken over de (on)begrijpelijkheid van muziek, onder andere door zijn artikelen over Schönberg in zijn boek *Toonzetters* (2006) en in de VPRO Gids van 31 oktober 2015.



Een eerste reden hiervoor is dat veel wetenschappelijk onderzoek tegenwoordig *interdisciplinair* is: experts uit verschillende disciplines werken met elkaar samen om een complex probleem op te lossen. Zulk onderzoek vereist dat experts over de grenzen van hun eigen discipline heen kijken, en hun wetenschappelijk begrip delen met collega's uit andere disciplines, die alleen expert op hun eigen gebied zijn. Bovendien kunnen sommige complexe maatschappelijke problemen alleen opgelost worden als wetenschappers uit verschillende disciplines behalve met elkaar ook met belanghebbenden in de samenleving samenwerken. Denk bijvoorbeeld aan klimaatverandering, een probleem waarbij in feite elke burger belanghebbende is. De strategie voor het oplossen van dit type problemen wordt daarom *transdisciplinair* genoemd. Bij inter- en transdisciplinair onderzoek is het dus noodzakelijk dat experts en leken elkaar goed begrijpen, en dat wetenschappelijk begrip in voldoende mate bereikbaar is voor mensen buiten de groep van wetenschappelijk specialisten.

Een andere reden voor wetenschappers om hun begrip te delen met leken is dat zij hun met publieke middelen gefinancierde activiteiten moeten verantwoorden aan de samenleving. Het is tegenwoordig niet meer vanzelfsprekend dat wetenschappelijk onderzoek waardevol gevonden wordt, en dat er dus geld naar toe moet, ongeacht de resultaten die het oplevert. En hoewel veel academici een hekel hebben aan de term 'valorisatie', lijkt het mij terecht dat wetenschappers duidelijk moeten maken wat ze doen en waarom dat waardevol is.

Als mijn analyse van wetenschappelijk begrip juist is, en zulk begrip samenhangt met bepaalde specialistische vaardigheden, dan is het de vraag hoe experts dit begrip over kunnen brengen aan leken, die zulke vaardigheden zullen missen. Het gaat hier immers om vaardigheden die experts tijdens hun opleiding en in de onderzoekspraktijk verworven hebben.

In de komende jaren wil ik mijn onderzoek richten op de vraag wat de voorwaarden zijn voor goede communicatie en interactie tussen wetenschappelijke experts en leken, waarbij het overbrengen van (wetenschappelijk) begrip centraal staat. Mijn hypothese is dat vaardigheden hierbij minstens zo belangrijk zijn als kennis. Misschien lijkt er op het eerste gezicht een kloof tussen experts en leken als het om vaardigheden gaat. Maar een contextuele analyse van begrijpen biedt de mogelijkheid om verschillende gradaties en soorten van begrip te onderscheiden, waarmee verschillen tussen experts en leken verklaard kunnen worden en die van belang zijn voor communicatie en interactie tussen experts en leken. Meer concreet wil ik drie situaties onderzoeken waarin communicatie en interactie tussen experts en leken optreedt.

Dat zijn ten eerste, de al genoemde inter- en transdisciplinaire onderzoekscontexten. Ten tweede, praktijken van popularisering, wetenschapsjournalistiek, en wetenschapscommunicatie, waarin wordt geprobeerd het publiek begrip van wetenschap te vergroten. En ten derde, het onderwijs op basisscholen en in voortgezet onderwijs, waarin aan iedereen een basaal begrip van wetenschap wordt bijgebracht. Ik zal nu wat dieper ingaan op het tweede thema: publiek begrip van wetenschap.

### **Publiek begrip van wetenschap**

Er is tegenwoordig brede consensus – althans in de politiek en de maatschappij – dat burgers enige inspraak zouden moeten hebben in wetenschapsbeleid. In Nederland heeft dit bijvoorbeeld geleid tot de introductie van de *Nationale Wetenschapsagenda*. Niet alle wetenschappers zijn hier enthousiast over, zoals misschien ook wel te verwachten viel. Onderzoekers houden het liefst het heft in eigen handen. Als bezwaar tegen publieke inmenging in wetenschapsbeleid hoor je meestal twee argumenten. Ten eerste zou het publiek geen verstand van wetenschap hebben, en dus niets zinnigs kunnen zeggen over de richting die wetenschappelijk onderzoek uit zou moeten gaan. Ten tweede zou sturing van onderzoek onzinnig zijn, want (ik citeer nu Vincent Icke): “Echt onderzoek volgt een grillig pad zonder bewijsbaar doel, waar een vooraf aangewezen bestemming bijna nooit blijkt te bestaan”.<sup>28</sup>

Op het tweede argument is van alles af te dingen, maar dat ga ik nu niet doen. Ik wil het hebben over het eerste punt, de vermeende domheid van het algemene publiek. Een voorwaarde voor succesvolle publieke bemoeienis met wetenschapsbeleid is inderdaad dat leken inzicht hebben in wat wetenschap is, wat er is bereikt, en wat er nog bereikt kan worden. Wat nodig is, kortom, is *publiek begrip van wetenschap* – en dit is iets waar internationaal al zo’n jaar of dertig aandacht aan wordt besteed.<sup>29</sup> De traditionele manier om publiek begrip van wetenschap te vergroten gaat uit van het zogenoemde *deficit model*: het algemene publiek heeft een gebrek aan kennis van wetenschappelijke feiten, en deze lacune kan eenvoudigweg worden aangevuld door die kennis aan te bieden (eventueel in gepopulariseerde vorm). Het idee dat het zo eenvoudig is, wordt gedeeld door veel wetenschappers en wetenschapsjournalisten. Het *deficit model* blijkt echter niet te werken, zoals duidelijk wordt wanneer medische experts proberen om vaccinatieprogramma’s te

---

<sup>28</sup> Vincent Icke, Sturing helpt wetenschap achteruit, *NRC Handelsblad*, 6 december 2014.

<sup>29</sup> Vaak wordt het zg. Bodmer report van de Royal Society (1985) als beginpunt aangemerkt: [https://royalsociety.org/~media/Royal\\_Society\\_Content/policy/publications/1985/10700.pdf](https://royalsociety.org/~media/Royal_Society_Content/policy/publications/1985/10700.pdf)

verdedigen. Critici wijten dit aan het feit dat het model gebaseerd is op eenrichtingsverkeer van expert naar leek, waarbij geen rekening wordt gehouden met de context van de ontvanger van de informatie, bijvoorbeeld diens interesses, waarden, en belangen.<sup>30</sup>

Een andere reden dat het *deficit model* niet voldoet, zou kunnen zijn dat het gebaseerd is op de veronderstelling dat begrip hetzelfde is als kennis. Zoals ik al eerder heb beargumenteerd, is dit een misvatting. Begrip is méér dan (een speciale vorm van) kennis: het is ook een vaardigheid. Dit zou op het eerste gezicht echter betekenen dat leken pas echt begrip van wetenschap hebben als ze de vaardigheden van experts verwerven – als ze dus zelf ook expert worden. En dat lijkt in veel gevallen onmogelijk: als wiskundige of experimentele vaardigheden noodzakelijk zijn voor werkelijk begrip van wetenschap, dan zal dit voor het grote publiek ontoegankelijk blijven.

Maar misschien is de situatie niet zo somber. Het zou ook kunnen zijn dat publiek begrip van wetenschap een andere soort van begrip is dan wetenschappelijk begrip, en dat het andersoortige vaardigheden vereist. Een suggestie in deze richting is gedaan door Harry Collins en Robert Evans, die in hun boek *Rethinking Expertise* stellen dat de expertise van wetenschappers inderdaad gebaseerd is op bepaalde vaardigheden die leken missen, maar dat er verschillende soorten expertise bestaan. Naast de expertise die nodig is om zelf onderzoek te verrichten (*contributory expertise*) is er, wat zij noemen, *interactional expertise*: de “bekwaamheid om in de taal van een specialisme te communiceren, zonder het specialisme in de praktijk te kunnen beoefenen”.<sup>31</sup>

Een interessant experiment waaruit blijkt *interactional expertise* mogelijk is, is gedaan door Collins en Evans zelf.<sup>32</sup> Als wetenschapssocioloog zonder enige experimentele of wiskundige vaardigheden heeft Collins zich lange tijd – sinds de jaren zeventig – ondergedompeld in de wereld van het onderzoek naar gravitatiegolven. Als socioloog bestudeerde hij de wetenschappers die naar experimenteel bewijs voor het bestaan van gravitatiegolven zochten. Collins bezocht laboratoria en congressen, en sprak met vrijwel iedereen die onderzoek naar gravitatiegolven deed. Door zijn jarenlange omgang met de onderzoekers wist hij enorm veel over het onderzoek en leerde hij de taal spreken, ook al kon hij zelf geen experimenten of

---

<sup>30</sup> Zie bv. Lewenstein en Brossard (2006).

<sup>31</sup> Collins en Evans (2007: 28): “expertise in the *language* of a specialism in the absence of expertise in its *practice*”.

<sup>32</sup> Collins, Evans, Ribeiro en Hall (2006).

berekeningen doen. Het experiment van Collins en Evans bestond er nu in dat een aantal vragen over het onderzoek naar gravitatiegolven werd beantwoord door zowel een expert als door Collins zelf. De vragen en de twee antwoorden – die gedetailleerd en technisch van aard waren, maar niet wiskundig – werden daarna voorgelegd aan andere experts die moesten raden welk antwoord door Collins was gegeven en welk antwoord door een expert. De uitkomst was verrassend: de experts waren niet in staat om Collins te identificeren als de niet-expert. Met andere woorden, hij had volledige *interactional expertise* verworven, ook al bezat hij geen *contributory expertise*.

Het lijkt mij niet meer dan logisch om degenen die deze *interactional expertise* op een bepaald wetenschapsgebied bezitten, ook begrip toe te schrijven. Zij zijn immers in staat om op een zinvolle manier te communiceren met wetenschappelijke experts, en ook al kunnen ze niet daadwerkelijk *meedoen* in het onderzoek (omdat ze de vaardigheden daarvoor missen), ze kunnen er wel over *meepraten*. Iemand met *interactional expertise* heeft niet alleen feitenkennis, maar bezit ook de vaardigheden om die kennis te gebruiken en er op een goede manier mee te redeneren.

Er lijkt dus hoop te zijn voor publiek begrip van wetenschap, als er wordt gestreefd naar *echt* begrip, waarin niet alleen kennis maar ook vaardigheden centraal staan. Uitgaande van mijn contextuele theorie van begrijpen wil ik onderzoeken wat de voorwaarden voor succesvolle wetenschapscommunicatie zijn. Welke vaardigheden zouden leken zich eigen moeten maken om op zinvolle wijze met wetenschappers in gesprek te gaan? Hoe kunnen wetenschappers en wetenschapsjournalisten wetenschappelijk onderzoek met succes populariseren zodat het grotere publiek die vaardigheden verwerft? Er zijn genoeg voorbeelden van succesvolle popularisering. Op het gebied van de kwantumfysica was Richard Feynman één van de grootste experts, en ook één van de beste popularisatoren. En ook vandaag de dag proberen veel experts een esoterisch vakgebied als de kwantumfysica toegankelijk te maken voor een bredere publiek. Door een analyse van deze pogingen om het publiek begrip van wetenschap te vergroten, door te onderzoeken of – en zo ja, hoe – zij erin slagen om niet alleen kennis maar ook vaardigheden over te brengen, zouden de voorwaarden voor succesvolle communicatie en interactie tussen experts en leken blootgelegd kunnen worden. Op deze manier kan de wetenschapsfilosofie een bijdrage leveren aan de oplossing van maatschappelijke problemen waarbij publiek begrip van wetenschap van belang is – en geldt dat eigenlijk niet voor vrijwel alle maatschappelijke problemen?

## Slot en dankwoord

Wetenschap begrijpen is belangrijk voor iedereen. Als bijzonder hoogleraar wetenschapsfilosofie zie ik het als mijn taak om een beter begrip van wetenschap te verkrijgen en te verspreiden, niet alleen door filosofisch onderzoek te doen naar de aard van wetenschap, maar ook door onderwijs te geven aan studenten die zich op een wetenschappelijke loopbaan voorbereiden. Het is een voorrecht om te mogen werken aan een universiteit waar een groot belang wordt gehecht aan de wijsgerige vorming van studenten in alle disciplines. Welke richting studenten hier ook volgen – of het nu natuurkunde is, bewegingswetenschappen, of culturele antropologie – zij doen tenminste één filosofie-cursus. Deze wijsgerige vorming verruimt hun blik en zorgt ervoor dat ze niet alleen kennis en begrip van hun eigen vakgebied verwerven, maar ook begrip krijgen van wetenschap in het algemeen, van haar mogelijkheden en grenzen, en van haar betekenis voor de samenleving. Dit is van een niet te overschatten belang.

Nu ik aan het einde van mijn rede gekomen ben, wil ik graag mijn dank betuigen aan allen die mij geholpen hebben op de weg hier naar toe. Mijn academische loopbaan heeft zich – afgezien van enkele uitstapjes – vooral in Utrecht en Amsterdam afgespeeld. Op het Instituut voor de Geschiedenis en Grondslagen van de Natuurwetenschappen van de Universiteit Utrecht was het Dennis Dieks die mij vanaf het begin geïnspireerd heeft, en mij heeft gestimuleerd om verder te gaan in de wetenschapsfilosofie. Eerst als docent en begeleider van mijn afstudeeronderzoek, en later – toen ik als postdoc terugkeerde naar Utrecht – als degene die mij op het spoor zette van het onderzoek naar het wetenschappelijk begrijpen. Onze samenwerking en ons persoonlijk contact hebben veel voor mij betekend.

Op de Vrije Universiteit, waar ik in 1993 promoveerde, en waar ik jaren later terugkeerde om universitair docent te worden, is mij altijd de ruimte geboden om mijn onderzoek en onderwijs vorm te geven zoals ik dat wilde. Mijn promotor Peter Kirschenmann en copromotor Hans Radder hebben hierbij een cruciale rol gespeeld. Zij hebben altijd achter mij gestaan, en zonder hen zou ik zeker een heel andere wetenschapsfilosoof geworden zijn – en misschien wel in een heel ander vak terecht gekomen zijn. Onze vele discussies, ook samen met onze promovendi Sabina Leonelli en Kai Eigner, hebben mijn wetenschapsfilosofische opvattingen in belangrijke mate vormgegeven, en waren daarbij ook nog heel plezierig. Ook mijn andere collega's op de VU, in het bijzonder de leden van de onderzoeksgroep Filosofie

van Wetenschap en Technologie, dank ik voor de prettige en inspirerende samenwerking in de afgelopen jaren. Ik ben blij en vereerd dat ik deze samenwerking de komende jaren mag voortzetten als bijzonder hoogleraar wetenschapsfilosofie. Ik dank het bestuur van de Stichting Het Vrije Universiteitsfonds, die de leerstoel ingesteld heeft, voor het in mij gestelde vertrouwen.

Tot slot wil ik mijn familie en vrienden bedanken. Ik zou mij geen leven kunnen voorstellen zonder jullie. Erwin Schrödinger schreef ooit: “De natuurkunde bestaat niet alleen uit atoomfysica, de wetenschap bestaat niet alleen uit natuurkunde, en het leven bestaat niet alleen uit wetenschap”.<sup>33</sup> Dat is een uitspraak die ik altijd in gedachten probeer te houden, ook al is het soms moeilijk om de echt belangrijke dingen in het leven niet door werk te laten verdringen. Degenen die dit laatste regelmatig ervaren, zijn ook degenen die mij het dierbaarst zijn en zonder wie het allemaal niet de moeite waard zou zijn. Pieter en Daan natuurlijk, maar vooral Martien. We zijn hier samen gekomen: jullie hebben mij op oneindig veel manieren geholpen en daar zal ik jullie altijd dankbaar voor blijven.

Ik heb gezegd.<sup>34</sup>

## Bibliografie

- Berg, A. (1924). Warum ist Schönbergs Musik so schwer verständlich? *Musikblätter des Anbruch* (13 september 1924). Engelse vertaling: Why is Schönberg’s music so difficult to understand? In: Willi Reich, *The Life and Work of Alban Berg* (London, 1965).
- Cartwright, N. (1983). *How the Laws of Physics Lie*. Oxford: Clarendon Press.
- Collins, H., en Evans, R. (2007). *Rethinking Expertise*. Chicago: The University of Chicago Press.
- Collins, H., Evans, R., Ribeiro, R., en Hall, M. (2006). Experiments with interactional expertise. *Studies in History and Philosophy of Science A* 37: 656-674.
- Feynman, R.P. (1965). *The Character of Physical Law*. Cambridge, MA: MIT Press.
- Feynman, R.P., Leighton, R.B., en Sands, M. (1965). *The Feynman Lectures on Physics, Volume III*. Reading, MA: Addison-Wesley.
- Friedman, M. (1974). Explanation and scientific understanding. *Journal of Philosophy* 71: 5-19.
- Gibney, E. (2016). Quantum world may be intuitive. *Nature* 532 (14 April 2016): 160-161.

---

<sup>33</sup> Erwin Schrödinger aan Wilhelm Wien, 25 augustus 1926, geciteerd in Moore (1989: 226).

<sup>34</sup> Ik dank Gerben Meynen voor commentaar op een eerdere versie van deze tekst.

- Gigerenzer, G. (2007). *Gut Feelings. The Intelligence of the Unconscious*. London: Penguin Books.
- Hempel, C. G. (1965). *Aspects of Scientific Explanation and other Essays in the Philosophy of Science*. New York: The Free Press.
- Hermans, W.F. (1966). *Nooit Meer Slapen*. Amsterdam: De Bezige Bij.
- Kaaij, M. (2006). *Toonzetters*. Wormer: Inmerc.
- Kahneman, D. (2011). *Thinking, Fast and Slow*. London: Allen Lane.
- Kitcher, P. (1989). Explanatory unification and the causal structure of the world. In P. Kitcher en W. Salmon (red.), *Scientific Explanation*. Minneapolis: University of Minnesota Press, 410-505.
- Lewenstein, B.V., en Brossard, D. (2006). Assessing Models of Public Understanding in ELSI Outreach Materials. Final Report.
- Lunten, F. van (1991). *Framing Hypotheses*. Ph.D. Dissertation, University of Utrecht.
- Moore, W. (1989). *Schrödinger: Life and Thought*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Morgan, M., en Morrison, M., red. (1999). *Models as Mediators: Perspectives on Natural and Social Science*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Pauli, W. (1979). *Wissenschaftliche Briefwechsel, Band 1: 1919-1929*. A. Hermann, K. Von Meyenn & V. Weisskopf (red.). New York: Wiley.
- Regt, H.W. de (2009). Understanding and scientific explanation. In: H.W. de Regt, S. Leonelli en K. Eigner (red.), *Scientific Understanding: Philosophical Perspectives*. Pittsburgh: University of Pittsburgh Press, 21-42.
- Regt, H.W. de (2014). Visualization as a tool for understanding. *Perspectives on Science* 22: 377-396.
- Regt, H. W. de (2015). Scientific understanding: truth or dare? *Synthese* 192: 3781-3797.
- Regt, H.W. de (te verschijnen). *Understanding Scientific Understanding*. New York: Oxford University Press.
- Regt, H.W. de, en Dieks, D. (2005). A contextual approach to scientific understanding. *Synthese* 144: 137-170.
- Regt, H.W. de, en Gijsbers, V. (te verschijnen). How false theories can yield genuine understanding. In: S. Grimm, C. Baumberger & S. Ammon (red.), *Explaining Understanding: New Perspectives from Epistemology and Philosophy of Science*. London: Routledge.
- Salmon, W.C. (1998). *Causality and Explanation*. New York: Oxford University Press.
- Schrödinger, E. (1984). *Gesammelte Abhandlungen, Band 3*. Wien: Verlag der Österreichischen Akademie der Wissenschaften.
- Sørensen, J.J.W.H. et al. (2016). Exploring the quantum speed limit with computer games. *Nature* 532 (14 April 2016): 210-213.
- Tanner, M., en Budd, M. (1985). Understanding music. *Proceedings of the Aristotelian Society, Supplementary Volumes* 59: 215-248.

- Trout, J.D. (2002). Scientific explanation and the sense of understanding. *Philosophy of Science* 69: 212-233.
- Wittgenstein, L. (1953). *Philosophical Investigations*. Oxford: Basil Blackwell.