

Bijlage bij het hoorcollege *De wetenschappelijke revolutie*



DE WETENSCHAPPELIJKE REVOLUTIE

EEN HOORCOLLEGE OVER
GROTE DENKERS EN THEMA'S
UIT DE WETENSCHAPS-
GESCHIEDENIS

door Floris Cohen

Inhoudsopgave

[Floris Cohen](#)

[College 1. Wiskundige wetenschap van abstract naar realistisch](#)

[H1 Een voorgeschiedenis in Alexandrië](#)

[H2 Kepler](#)

[H3 Galilei](#)

[College 2. Een filosofie van deeltjes in beweging](#)

[H4 Een voorgeschiedenis in Athene](#)

[H5 Beeckman](#)

[H6 Descartes](#)

[College 3. Van ongedwongen waarneming naar opsporend experiment](#)

[H7 Een voorgeschiedenis in Europa's praktijkgericht empirisme](#)

[H8 Bacon](#)

[H9 Gilbert, Harvey, Van Helmont](#)

[College 4. Barrières gesloopt](#)

[H10 Voortgezette vernieuwing](#)

[H11 Huygens](#)

[H12 Boyle en Hooke](#)

College 5. De grote synthese

H13 De jonge Newton

H14 Principia

H15 Opticks

College 6. Wereldbeschouwelijke consequenties van de Revolutie

H16 Galilei in conflict

H17 Van conflict tot crisis

H18 De crisis overwonnen

College 7. Wetenschappelijke methoden: procedures, toetsing, geldigheid

H19 Tussen dogma en scepsis

H20 Nieuwe onderzoeksmethoden

H21 Terugkoppeling

College 8. Natuuronderzoek in 1600 en in 1700: een revolutie die de wereld veroverde

H22 Een echte revolutie

H23 De verwetenschappelijking van het ambacht

H24 Natuurwetenschap verovert de wereld: terugblik en vooruitblik

Aanbevolen literatuur

Jaartallen per hoofdpersoon

Colofon

Floris Cohen



Prof. dr. H.F. (Floris) Cohen is hoogleraar in de vergelijkende geschiedenis van de natuurwetenschap aan de Universiteit Utrecht. De vraag hoe de moderne natuurwetenschap is ontstaan houdt hem al lang bezig. Zijn antwoorden heeft hij neergelegd in *De herschepping van de wereld* (bekroond met de Eureka-prijs voor het beste boek uit 2007 waarin wetenschap voor een breed publiek toegankelijk werd gemaakt); *Isaac Newton en het ware weten* (2010) en *How Modern Science Came Into the World* (2010).

Synopsis van het hoorcollege *De wetenschappelijke revolutie*

College 1. Wiskundige wetenschap van abstract naar realistisch

H1. Een voorgeschiedenis in Alexandrië

Een eerste aanzet tot meetkundig denken en bewijzen gaven pioniers van het Griekse denken, Pythagoras en andere pre-Socratici (6e/5e eeuw v. Chr.). Eeuwen later groeit dit uit tot een stelselmatig wiskundige aanpak van een bescheiden reeks natuurverschijnselen. Alexandrië fungeert als centrum; onder de hoofdpersonen zijn Euclides, Archimedes en Ptolemaeus.

Natuurverschijnselen die aanleiding geven tot meet- of rekenkundige behandeling zijn: evenwichtstoestanden van vaste stoffen en in vloeistoffen, welluidende muzikale samenklanken, spiegeling en breking van lichtstralen, en planetenbanen. De abstractiegraad is hoog, de band met het natuurverschijnsel in kwestie wordt al gauw losgelaten. Zo wordt wel via trillende snaren van verschillende lengten afgeleid dat het welluidende (consonante) interval dat we octaaf noemen overeenkomt met de snaarlengte verhouding 1:2, de kwint met 2:3, de kwart met 3:4. Maar dit leidt alleen tot berekeningen met complexe verhoudingen, het trillen van die snaar blijft verder buiten beschouwing. Net zo worden de ingewikkelde banen die de planeten feitelijk doorlopen, wiskundig ontbonden in samenstellende cirkelbanen. Echter het blijft bij fictieve rekenmodellen die weliswaar goed kloppen met de waarneming maar waarbij van fysisch voorstelbare bewegingsmechanismen geen sprake is.

H2. Kepler

Wanneer in de renaissance dit Griekse denken in Europa bekend wordt, probeert Copernicus de oude planetaire modellen te verbeteren. Hij houdt vast aan het fictieve karakter ervan en gaat na hoever hij komen kan met de gewaagde veronderstelling dat niet de Aarde maar de zon in het middelpunt van het heelal staat. Een generatie later doorziet Johannes Kepler 'hoe rijk Copernicus was'. Bij Kepler voltrekt zich de bouw van een wiskundig exact en tegelijk realistisch model van het zonnestelsel. Langs de weg van de harmonische speculatie komt hij tussen 1604 en 1619 tot zijn drie wetten van de planetenbanen, ingebed in wat hijzelf een 'hemelfysica' noemt. Voor het eerst was zo een weliswaar deels onjuist, maar wel realistisch, wiskundig exact en eenvoudig model van het zonnestelsel tot stand gekomen. Al gauw na Keplers dood in 1630 lukte het Jeremiah Horrocks dat wat wij nu kennen als de drie wetten van Kepler uit de sfeer van harmonische speculatie los te pellen.

H3. Galilei

Ook Keplers tijdgenoot Galilei is intensief in de weer met Copernicus' idee van een draaiende Aarde. Hij richt de net uitgevonden verrekijker op de hemel, en doet daar tal van ontdekkingen die voor het eerst aan dat idee empirische steun geven — de Maan oogt net als de Aarde, ook Jupiter heeft satellieten Verder ontwikkelt hij een nieuwe opvatting van beweging, waarmee hij weer andere bezwaren tegen de Aarddraaiing onklaar maakt. Deze nieuwe, experimenteel ondersteunde opvatting maakt deel uit van Galilei's levenslange streven, wiskundige wetenschap zo nauw mogelijk te betrekken op de natuurverschijnselen waarin ze hun aanleiding vinden. Dit lukt hem met de bewegingswetten die hij ontdekt voor vallende en voortgeworpen lichamen. Net als Kepler is ook Galilei ervan overtuigd dat God de wereld naar wiskundige verhoudingen heeft geschapen.

Dit was de eerste revolutionaire transformatie.

College 2. Een filosofie van deeltjes in beweging

H4. Een voorgeschiedenis in Athene

Door toedoen van de pre-Socratische denker Parmenides komt in de Griekse wijsbegeerte het probleem van de verandering centraal te staan. In de vierde en derde eeuw v.Chr. komen in Athene vier wijsgerige stelsels op, elk met een eigen oplossing ervoor: Platonisme, Aristotelisme, atoomleer Stoa. Een vijfde stroming, de sceptische, bestrijdt de pretentie van onbetwifelbare zekerheid die elk van dit viertal aankleeft. Gemeen hebben de Atheense, natuurfilosofische, en de latere Alexandrijnse, wiskundige aanpak een overheersend intellectualistisch karakter, waarbij de ervaring vooral dienst doet als eerste aanleiding of als illustratie. Tussen 'Athene' en 'Alexandrië' zijn er ook grote verschillen: verklarend / beschrijvend; kwalitatief / kwantitatief; alomvattend / partieel; leerstellig / bewijzend. In de Oudheid maar ook in later tijd wordt steeds een ander Atheens stelsel het overheersende, in Europa al gauw de leer van Aristoteles; alleen de atoomleer blijft alsmear op de achtergrond.

H5. Beeckman

In de eerste decennia van de 17e eeuw geeft Isaac Beeckman een nieuwe draai aan de antieke atoomleer. Hij neemt de gedachte over dat de materiële wereld uit niets anders bestaat dan de lege ruimte en onwaarneembaar kleine deeltjes die zich daardoorheen bewegen, tijdelijk samenklonterend tot onszelf en de ons bekende voorwerpen om ons heen. Maar bij Beeckman verschuift de aandacht van die deeltjes, die alleen in grootte, vorm en configuratie van elkaar verschillen, naar de bewegingen die ze ten opzichte van elkaar uitvoeren. Voor die bewegingen geldt bij Beeckman wat ook Galilei ca. 1610 aan het ontdekken is: een voorwerp heeft de neiging in een eenmaal verworven beweging te volharden. Anders dan de neo-Alexandrijn Galilei, werkt Beeckman deze grondslagen uit tot een nieuwe natuurfilosofie in Atheense stijl. Doordat hij er niets van publiceert, blijft kennis van zijn inzichten vooralsnog beperkt tot het drietal dat hij zijn 'Journael' te lezen geeft. Een van die drie is René Descartes.

H6. Descartes

Wat bij Beeckman veelbelovende aanzetten blijven, vormt Descartes om tot een overkoepelend natuurfilosofisch systeem. De ontwijfelbare zekerheid die Descartes traditiegetrouw voor zijn natuurfilosofie opeist, ontleent hij aan de wiskunde. Die kenmerkt niet zijn vrijwel puur kwalitatieve natuurfilosofie, wel dient ze als inspiratiebron voor zijn 'heldere en onderscheiden' afleiding van de natuurverschijnselen uit enkele eerste beginselen. Die beginselen vindt hij in zijn weerlegging van septische twijfel, door die eerst ten top te voeren en dan te laten stranden op het fameuze 'cogito' — de rotsvaste zekerheid die hij vindt in de gedachte 'ik denk dus ik besta'. Op deze grondslag komt hij tot een radicale scheiding tussen 'denkende' en 'uitgebreide' substantie, tot een wereld vol materiewervels en tot enkele bewegingswetten, waaronder met name de aan Beeckman en Galilei ontleende opvatting van volharding in een eenmaal verworven beweging. Bij Beeckman en Descartes krijgt, ondanks het fantastische van de bewegingsmechanismen die ze verzinnen, 'natuurfilosofie' voor het eerst trekken van wat wij onder natuurkunde verstaan.

Dit was de tweede revolutionaire transformatie.

College 3. Van ongedwongen waarneming naar opsporend experiment

H7. Een voorgeschiedenis in Europa's praktijkgericht empirisme

Tegelijk met het doordringen in West-Europa van de hele Griekse natuurkennis, komt halverwege de 15e eeuw een nieuwe benadering van de natuur op. Die is niet wiskundig (al maakt ze soms gebruik van toepassingen van betrekkelijk elementaire wiskunde), noch ook wijsgerig (al wordt er wel degelijk grondig en soms zelfs tamelijk samenhangend nagedacht over het bouwplan van de kosmos). Niet intellectualistisch maar empiristisch georiënteerd, zijn deze onderzoekers vooral gericht op nauwgezette waarneming en beschrijving van grote hoeveelheden meer of minder nauw op elkaar betrokken verschijnselen. In de regel houden ze daarbij het oog gericht op de verwezenlijking van een praktisch, soms magisch getint doel. Leonardo da Vinci vormt een vroeg voorbeeld van deze op levensechte uitbeelding gerichte stroming. Latere empiristische onderzoekers zijn onder meer Vesalius, Brahe en Paracelsus. Gebeurtenissen die de opkomst ervan bevorderen zijn de ontdekkingsreizen, de reformatie en de uitvinding van de drukpers. Een enkele keer loopt al deze ambachtelijke beschrijvingsdrift uit op een stelselmatig opgezette reeks experimenten.

H8. Bacon

Aan dit praktijkgerichte empirisme ontbrak misschien iets en volgens Francis Bacon was dat methode. Kennis van de natuur, vond hij, moest wel van de onbevange waarneming uitgaan, maar niet in het wilde weg. Wat je waarnam, vergde bewerking en wel via stelselmatige vergelijking. Lijsten van verschijnselen moesten opgesteld, met elkaar gecorreleerd en op alsmaar opklimmend niveau tot natuurwetten omgesmeed. Daarbij was het experiment, dat denken en doen verenigt, het middel bij uitstek om nog onbekende verschijnselen op het spoor te komen. Bacon tijdgenoot Galilei zette het experiment in voor een heel ander doel. Ging het bij hem om controle achteraf van een veronderstelde wiskundige regelmaat, voor Bacon was het zaak de natuur methodisch uit de tent te lokken. Niet dat hij hier zelf zijn handen aan vuil maakte. Hij was de profeet van het opsporend-experimentele onderzoek, niet de pionier ervan. Dat waren Gilbert, Harvey en Van Helmont.

H9. Gilbert, Harvey, Van Helmont

Gilbert ging proefondervindelijk na wat er waar was van alle verhalen over het aantrekend vermogen van magneten en waarin dat vermogen verschilde of overeenkwam met dat van barnsteen. De onderzoeksterreinen 'magnetisme' en 'elektriciteit' beginnen bij hem. Harvey kwam door een mengsel van redeneren, rekenen en experimenteren tot zijn ontdekking van de bloedsomloop. Van Helmont hield zich vooral bezig met de werking van het vuur in chemische reacties, waarbij hij experimenteel onderzoek verenigde met nauwkeurige boekhouding van ingrediënten en reactieproducten. Alle drie streefden praktische doelen na. Zo verbeterde Gilbert kompaswerking door inzicht in de werking van het Aardmagnetisme. Gemeen hadden ze naast hun experimentele werkwijze verder een vitalistische wereldbeschouwing, waarbij de kosmos bezielde is, de Aarde een levend wezen en er nauwelijks onderscheid bestaat tussen anorganisch en organisch.

Dit was de derde revolutionaire transformatie die van het tot nu toe besproken drietal nog de meeste continuïteit vertoont met de aanpak van natuurverschijnselen waar ze uit voortkwam: Europa's unieke, praktijkgeoriënteerde empirisme.

College 4. Barrières gesloopt

H10. Voortgezette vernieuwing

Zo tegen 1645 heeft het eerste drietal revolutionaire transformaties wel zijn beslag gekregen. Elk ervan vindt zijn aanhangers, met dubbel gevolg in de tweede helft van de 17e eeuw. De oude benaderingen raken in het defensief (dit treft vooral de leer van Aristoteles) of worden geleidelijk aan ingepast (dit gebeurt met de wiskundige wetenschap op zijn Alexandrijns en met louter observerende waarneming). De nieuwe worden verder verrijkt, verdiept en uitgebreid. Zo raakt het idee van de Aarde als planeet gevestigd, terwijl trillende snaren, de lege ruimte, wrijvingselectriciteit, de wereld van het heel kleine, enz., aanleiding geven tot verrassende ontdekkingen.

Wetenschappelijke instrumenten als de verrekijker, microscoop, slinger en luchtpomp dragen hier sterk aan bij. Vanzelfsprekend ontmoet de vernieuwing forse weerstand. Met name verzetten tal van natuurfilosofen zich tegen de pretenties van wiskundige wetenschappers in de stijl van Kepler en Galilei. Zich uitspreken over hoe de natuur feitelijk in elkaar zit, dat was toch aan hen voorbehouden? Wiskunde ging toch niet over de werkelijkheid?

H11. Huygens

De verrijking, verdieping en uitbreiding die in de tweede helft van de 17e eeuw plaatsvinden in de nieuwe, realistisch-wiskundige wetenschap, in de natuurfilosofie van deeltjes in beweging en in het opsporend-experimenteel onderzoek, voltrekken zich merendeels los van elkaar. Maar juist de meest productieve vernieuwing van allemaal doet zich voor in twee combipakketten. De opvatting van de natuur als opgebouwd uit deeltjes in beweging wordt omgevormd van dogmatisch aangehangen natuurfilosofie in de gangbare Atheense stijl (zoals bij Beeckman, Descartes en veruit de meeste navolgers) tot potentieel vruchtbare hypothese. Huygens is de pionier van deze ook weer revolutionair nieuwe aanpak. Hij ontwikkelt haar aan de hand van een drastische herziening van Descartes' botsingsregels in de geest van Galilei's bewegingsleer. Vervolgens bouwt hij haar uit op tal van andere terreinen van beweging: cirkelbaan, slinger, val en ook dat van de voortplanting en breking van het licht.

Dit was de vierde revolutionaire transformatie.

H12. Boyle en Hooke

Tegelijk met Huygens' combineren van realistisch-wiskundige natuurwetenschap met hypothetische mechanismen van bewegende deeltjes, proberen Boyle en Hooke met behulp van dergelijke hypothetische mechanismen het opsporend-experimentele onderzoek te versterken. Bij Boyle vormt zijn chemisch onderzoek de proeftuin bij uitstek. Een materietheorie van 'primaire concreties' en de minima naturalia waar die uit zijn opgebouwd, brengt hem tot een onderscheid tussen reacties waar alleen hergroepering plaatsvindt en die waar (door het uiteenvallen van de primaire concreties) van daadwerkelijke transmutatie kan worden gesproken, zodat "almost of any thing, may at length be made any thing". Bij Hooke brengt zijn eigen hypothese over de opbouw van de materie hem tot reeksen akoestische experimenten. Doordat namelijk alle materiedeeltjes in permanente trilling verkeren, en wel in 'congruity' of juist 'incongruity' met elkaar, ontstaat een vergaande analogie met trillende snaren, die hij vervolgens aan allerlei experimenten onderwerpt.

Dit was de vijfde revolutionaire transformatie.

College 5. De grote synthese

H13. De jonge Newton

Nog als student in Cambridge slaat Newton zowel de richting in van Huygens als van Boyle en Hooke. Hij ontwaart dezelfde spanningsverhouding tussen Galilei's wiskundige en Descartes' dogmatismenatuurfilosofische aanpak van bewegingsverschijnselen waar de dertien jaar oudere Huygens tien jaar eerder achter was gekomen (maar nog zonder erover te publiceren). Zo ontdekt Newton bij botsing, cirkelbaan en slinger dezelfde regelmatigheden. Maar anders dan Huygens geeft hij ook een eerste aanzet tot een wiskundig exact begrip van kracht, en correleert hij de val van een voorwerp op Aarde met de baan van de maan eromheen. Iets later ontwikkelt hij in het voetspoor van de acht jaar oudere Hooke een specifieke opvatting van materie, verrijkt met wat beiden 'actieve principes' noemen. Daarmee bereiken beiden de grenzen van wat het denken in termen van louter deeltjes-in-beweging nog toelaat zonder verward te raken in onoplosbare contradicties. Althans, zo lijkt het Newton tot 1679 aan toe.

H14. *Principia*

Vooraf zijn ingespannen alchemis-

tische arbeid heeft Newton tot het inzicht gebracht dat op materie in beweging krachten werkzaam zijn waarzonder activiteit in de natuur zich niet afdoende laat begrijpen. Omstreeks 1679 barst hij uit het denkkader dat Descartes als eerste scherp had geformuleerd en dat Newton (min of meer als Hooke) in zijn '*Hypothesis of Light*' (1675) al tot het uiterste had opgerekt. In 1684 geeft een bezoek van Halley hem de aanstoot tot het schrijven van wat na 2 1/2 jaar ononderbroken arbeid de *Principia* zal worden. In dat boek presenteert hij een dynamica (krachtenleer) die hem in staat stelt elke baanbeweging, hoe onregelmatig ook, wiskundig af te leiden. Bovendien kent hij aan die speciale krachtwerking die omgekeerd evenredig is met het kwadraat van de afstand een radicaal nieuwe, fysische betekenis toe, die van de universele gravitatie.

H15. *Opticks*

Newtons ontdekking van het samengestelde karakter van schijnbaar zuiver wit zonlicht stamt al uit zijn studententijd. Via metingen met prisma's of aan dunne laagjes schiftte hij uit het zonlicht alle kleuren van de regenboog en bepaalde hij eigenschappen ervan (met name periodiciteit). Die experimenten waren van een zelfs door Huygens of Hooke niet overtroffen nauwkeurigheid. Het boek waarin hij zijn kijk op licht en kleuren neerlegde, *Opticks*, kwam pas in 1704 uit. Aan het eind staan 31 'Queries' (Vragen) waarin hij zijn uiteindelijke speculaties neerlegde over wat hij 'het gestel van de natuur' noemde. In Newton leefde een onoplosbare spanning tussen enerzijds wiskundig bewijs, nauwkeurige meting en experimentele toetsing, die naar zijn overtuiging als enige zekerheid konden verschaffen over een bepaald natuurverschijnsel, en anderzijds speculatieve beschouwingen, waar hij levenslang aan verslaafd was maar die hij nooit zonder omwegen durfde publiceren. Juist in die spanning schuilt wellicht het geheim van Newtons onovertroffen grootheid.

De wording van *Principia* en van *Opticks* vormt de zesde revolutionaire transformatie.

College 6. Wereldbeschouwelijke consequenties van de Revolutie

H16. Galilei in conflict

Het fameuze conflict kent twee hoogte- (of beter gezegd diepte-)punten. In 1616 veroordeelt de Inquisitie, zonder daar veel ruchtbaarheid aan te geven, de opvatting van de draaiende Aarde, en waarschuwt Kardinaal Bellarmino onder vier ogen Galilei die opvatting niet langer te verdedigen. In 1633 veroordeelt de Inquisitie Galilei wegens overtreding van dat verbod in zijn net uitgekomen *Dialogo*, en laat hem onder grote druk zijn overtuiging herroepen. Galilei wordt gedreven door zijn drang de leer van de dubbele Aarddraaiing uit te dragen als belichaming van zijn nieuwe, realistisch-wiskundige wetenschap, door zijn (onjuiste) overtuiging voor die Aarddraaiing een sluitend bewijs te bezitten, en door de oprechte behoefte zijn Kerk voor een aantoonbaar verkeerde stellingname te behoeden. Het initiatief ligt bij hem; in 1616 lokt hij de Kerk ertoe uit stelling te nemen, wat dan precies averechts uitpakt. Bij die gelegenheid beoogde het Vaticaan (waar de autoriteiten verre van eensgezind te werk gingen) vooral de interpretatie van de Bijbel in eigen hand te houden; daarbij getuigt de veroordeling van een opvallend gebrek aan besef van de draagwijdte van de hele kwestie. In 1633 ging het er vooral om de ongehoorzame eens een lesje te leren. Op korte termijn had de botsing kunnen worden vermeden; op de langere termijn was ze niet te ontlopen.

H17. Van conflict tot crisis

In het geval van Galilei lag de kern van het conflict in de vraag wie uiteindelijk te beslissen had over de interpretatie van de Bijbel. Bij het conflict tussen Descartes enerzijds, ds. Voet en de Utrechtse universiteit en vroedschap anderzijds, draaide het om 's mensen onsterfelijke ziel, om de begrijpelijkheid van een wereld die heel anders in elkaar zit dan volgens Aristoteles en om de vrijheid om helemaal voor jezelf te denken. Er woedden in Europa tal van wereldbeschouwelijke conflicten, die door de nieuwe ideeën over de natuur in de hand werden gewerkt, en het resultaat was dat tussen ca. 1645 en 1660 de Wetenschappelijke Revolutie, omstreeks 1600 zo aanstekelijk begonnen, in een ernstige, Europa brede legitimiteitscrisis belandde.

H18. De crisis overwonnen

Met de Vrede van Westfalen van 1648 verloren de godsdienstoorlogen aan scherpte. In diezelfde tijd verschoof het zwaartepunt in Europa van het Middellandse Zeegebied naar de Atlantische Oceaan. Vanaf ca. 1660 kwam, door benadrukking van het wereldbeschouwelijk neutrale experiment en ook van het praktisch nut dat de nieuwe inzichten over de natuur konden afwerpen, het vernieuwende, wiskundigenexperimentele en opsporend-experimentele onderzoek in de geest van Galilei en Bacon opnieuw tot bloei. Het vond zijn voornaamste steun in twee wetenschappelijke genootschappen, die onder koninklijke goedkeuring (Londen) of zelfs stimulans (Parijs) tot stand kwamen. Veruit de meeste op CD 4 en 5 behandelde ontdekkingen en initiatieven waren rechtstreeks (bijv. Huygens) of indirect (bijv. Van Leeuwenhoek) met deze genootschappen verknoopt. Essentieel bij deze hele ontwikkeling was de Christelijke (vooral Protestantse) sanctionering ervan in een 'Baconiaanse Ideologie'.

College 7. Wetenschappelijke methoden: procedures, toetsing, geldigheid

H19. Tussen dogma en scepsis

Tussen 1600 en 1700 is een ongekend aantal duurzaam geldig gebleken ontdekkingen gedaan; minstens zoveel andere vondsten zijn toen of later onjuist gebleken. 'De' wetenschappelijke methode bestaat immers niet. Toch veranderde de wijze van kennisverwerving radicaal. Vóór de Wetenschappelijke Revolutie waren er (naast de Alexandrijnse wiskundige aanpak, die eigenlijk nauwelijks op de natuur betrokken was) maar twee visies op kennis over de natuur: de leerstellige (dogmatische) en de sceptische. Natuurfilosofen als Aristoteles, maar ook nog Descartes, wisten dankzij hun inzicht in eerste beginselen van eigen makelij al bij voorbaat met onbetwifelbare zekerheid hoe de natuur in grote lijnen in elkaar zit; waarnemingen dienden ertoe ieders natuurfilosofisch stelsel te illustreren en te ondersteunen. Sceptici daarentegen ondergroeven stelselmatig de pretentie van zekerheid die al die elkaar beconcurrerende natuurfilosofische scholen erop na hielden. Hun borende kritiek liep uit op een al heel weinig constructieve 'opschorting van het oordeel' over al wat boven de onmiddellijke waarneming uitgaat.

H20. Nieuwe onderzoeksmethoden

De pioniers van het wiskundig-experimentele en van het opsporend-experimentele onderzoek beseften direct dat ze in dit spanningsveld een eigen weg te zoeken hadden. Belangrijke hulpmiddelen voor de wiskundige bleken analogie, modelvorming, instrumenten en het temmen van het oneindige. Bij Huygens en bij Newton liep dit alles uit op enorm productieve 'probleem → oplossing → nieuw probleem → volgende oplossing ...' sequenties. Experimenterende feitenzoekers ontwikkelden methoden om de steeds dreigende gegevensovervloed de baas te blijven en om paal en perk te stellen aan de willekeur die de natuur tentoon lijkt te spreiden. Tegen dit laatste hielp vooral theorievorming tegen de achtergrond van een globaal wereldbeeld, zoals bij Lana Terzi's ontdekking van elektrische afstoting. Ook de in hoofdstuk 12 behandelde combi-aanpak was hiertoe dienstig. Daarbij zagen Boyle en Hooke (maar ook Huygens) waarschijnlijkheid als hoogst bereikbare ideaal. Newton daarentegen was ervan overtuigd dat wiskundige exactheid, precisiemeting en nauwkeurig experiment wel degelijk zekerheid binnen het bereik van de natuurwetenschapper brengen.

H21. Terugkoppeling

Om jezelf ervan te overtuigen dat je zekere, of zelfs maar waarschijnlijke kennis hebt verworven, zo beseften de vernieuwers, moet je die op juistheid toetsen. Ook methoden daarvoor werden in de dagelijkse praktijk van het onderzoek bedacht en beproefd. Zo werd al Galilei en Torricelli veel duidelijk van het complexe spanningsveld tussen een geponeerde wiskundige regelmaat en de uitkomst van een toetsende proefneming. Ook in dit opzicht vormt Newtons Principia hoogtepunt en afsluiting van de hele periode. In het opsporend-experimentele onderzoek bleken bruikbare controlemiddelen te liggen in replicatie, zakelijke verslaglegging (schriftelijk of via betrouwbaar geachte getuigen), verdere bestrijding van materiële onzuiverheden en een zekere coherentie tussen proefondervindelijke uitkomst, theorie en achterliggend wereldbeeld. De kern was en is steeds gelegen in het toen opgekomen besef dat de natuur ons mogelijkheden biedt voor stelselmatige terugkoppeling, zodat natuurwetenschap een zelfcorrigerend systeem kan worden, al gaat dat nooit vanzelf.

College 8. Natuuronderzoek in 1600 en in 1700: een revolutie die de wereld veroverde

H22. Een echte revolutie

Een summiere vergelijking tussen de Wetenschappelijke en de Franse Revolutie laat zien dat er alle reden is om de pogingen om de pogingen die in Europa in de 17e eeuw zijn ondernomen, om denkend en handelend greep te krijgen op de natuur, inderdaad een revolutionair karakter hadden. Net zoals de Europese samenleving van na de slag bij Waterloo een grondig andere aanblik bood dan vóór de bestorming van de Bastille, verschilde het denken over de natuur in 1700 drastisch van wat men in 1600 gewend was. Daar komt nog bij dat, terwijl in 1815 toch weer een Bourbon op de troon zat, in 1700 van een restauratie volstrekt geen sprake was. Weliswaar duurde de Franse Revolutie een kwart eeuw, de Wetenschappelijke vier keer zo lang, en is een volle eeuw voor een revolutie misschien wat erg lang. Maar deze collegereeks heeft duidelijk gemaakt dat de Wetenschappelijke Revolutie zich zinvol laat opdelen in een zestal revolutionaire transformaties, elk met eigen kenmerken maar toch in nauwe onderlinge samenhang, elk met een duur van ongeveer een kwart eeuw.

H23. De verwetenschappelijking van het ambacht

Van het begin van de Wetenschappelijke Revolutie af weerklinkt uit de mond van de pioniers de belofte van een radicale hervorming van het ambacht. In plaats van traditionele vuistregels en trial-and-error methoden kunnen nu de wetmatigheden die aan de natuurverschijnselen ten grondslag blijken te liggen als uitgangspunt dienen. Een op wetenschap gebaseerde techniek is daarmee binnen bereik gekomen. In de 17e eeuw komt van deze belofte, ondanks tal van pogingen, nagenoeg niets terecht. Maar in de 18e eeuw komt een nieuw type ingenieur op die ambachtsvaardigheid koppelt aan de ter zake doende wetenschappelijke kennis. Het inzicht in warmteprocessen en het vacuüm van de monteur James Watt is hiervan het voorbeeld bij uitstek. Met zijn stoommachine, en een reeks andere uitvindingen, komen de technische verworvenheden tot stand die vanaf ca. 1800 voor de Industriële Revolutie een onmisbare voorwaarde vormen.

H24. Natuurwetenschap verovert de wereld: terugblik en vooruitblik

Zo ontstaat, vooralsnog in het Westen maar later ook daarbuiten, de moderne wereld waar wij in leven — een wereld vol apparaten die concretiseren wat de moderne natuurwetenschap aan ontdekkingen heeft opgeleverd. Menige latere ontdekking (Lavoisiers gassen, Faraday's velden, Darwins evolutie ...) ligt ver voorbij de denkhorizon van zelfs de stoutmoedigste pioniers van de Wetenschappelijke Revolutie. Dankzij die Revolutie kunnen we spreken van een nooit meer onderbroken continuïteit in het natuurwetenschappelijk ontdekken. Die continuïteit is niet gewaarborgd. Onmisbaar was en blijft de mogelijkheid tot terugkoppelingsprocessen met de natuur in een sfeer van vrij, onbelemmerd debat. Intussen heeft, naast de winst van enorm verdiept en uitgebreid inzicht in de werking van de natuur, de Wetenschappelijke Revolutie ook verlies met zich mee gebracht. Niet langer kunnen we de kosmos zien als een onverbreekelijke eenheid, waar we ons thuis in kunnen voelen. Aan die erfenis van winst en verlies zit de mensheid sindsdien onherroepelijk vast.

Aanbevolen literatuur

Veel van wat in deze hoorcolleges aan de orde komt, gaat terug op mijn *De herschepping van de wereld. Het ontstaan van de moderne natuurwetenschap verklaard* (Amsterdam: Bert Bakker, 2007), en veel uitgebreider nog op mijn *How Modern Science Came Into the World. Four Civilizations, One 17th Century Breakthrough* (Amsterdam University Press, 2010). In dat laatste boek zijn de passages terug te vinden die ik in het college aanhaal.

Aanbevelenswaardige boeken over de hoofdpersonen van deze collegereeks zijn:

- van Berkel, Klaas, Isaac Beeckman (1588-1637) en de mechanisering van het wereldbeeld. Amsterdam: Rodopi, 1983
- Caspar, Max, *Johannes Kepler*. Stuttgart: Kohlhammer, 1948 (of, veel beknopter en meer up-to-date, James R. Voelkel, *Johannes Kepler and the New Astronomy*. Oxford UP, 1999)
- Clarke, Desmond M., *Descartes. A Biography*. Cambridge UP, 2006
- Gaukroger, Stephen, *Francis Bacon and the Transformation of Early-Modern Philosophy*. Cambridge UP, 2001
- Gregory, Andrew, *Harvey's Heart, The Discovery of Blood Circulation*. Cambridge: Icon Books, 2001
- Heilbron, John L., *Galileo*. Oxford UP, 2010
- Hunter, Michael, *Robert Boyle (1627–1691). Scrupulosity and Science*. Woodbridge: Boydell, 2000
- Hunter, Michael & Schaffer, Simon (eds.), *Robert Hooke. New Studies*. Woodbridge: Boydell Press, 1989
- Pumfrey, Stephen, *Latitude and the Magnetic Earth*. Icon Books, 2003
- Vermij, Rienk, *Christiaan Huygens. De mathematisering van de werkelijkheid*. Diemen: Veen Magazines, 2004
- Westfall, Richard S., *Never at Rest. A Biography of Isaac Newton*. Cambridge UP, 1980 (veel beknopter, en misschien directer toegankelijk, is mijn *Isaac Newton en het ware weten*. Amsterdam: Bert Bakker, 2010)

NB Bij gebrek aan een wetenschappelijk acceptabele monografie over Van Helmont is aan te bevelen: Allen G. Debus, *The Chemical Philosophy. Paracelsian Science and Medicine in the Sixteenth and Seventeenth Centuries*. 2 vols. New York: Science History Publications (Watson), 1977

Jaartallen per hoofdpersoon

| | | |
|------------------------|--------------------------------|-----------|
| Johannes Kepler | | 1571-1630 |
| | <i>Astronomia nova</i> | 1609 |
| | <i>Harmonike mundi</i> | 1619 |
| Galileo Galilei | | 1564-1642 |
| | Padua: nieuw idee van beweging | 1592-1610 |
| | <i>Sidereus Nuncius</i> | 1610 |

| | | |
|----------------------------------|-------------------------------------|-----------|
| | 'Brief aan de Groothertogin' | 1613 |
| | Vaticaan veroordeelt heliocentrisme | 1616 |
| | <i>Dialogo</i> | 1632 |
| | proces | 1633 |
| | <i>Discorsi</i> | 1638 |
| Isaac Beeckman | | 1588-1637 |
| | dagboek: deeltjes-in-beweging | 1613-1634 |
| | ontmoet René Descartes | 1618/1619 |
| René Descartes | | 1596-1650 |
| | werkt aan 'Le monde' | 1629-1633 |
| | <i>Discours de la méthode</i> | 1637 |
| | conflict met Voet | 1639-1645 |
| | <i>Principia philosophiae</i> | 1644 |
| Francis Bacon | | 1561-1626 |
| | <i>Novum organum</i> | 1620 |
| | <i>New Atlantis</i> | 1627 |
| William Gilbert | | 1544-1603 |
| | <i>De magnete</i> | 1600 |
| William Harvey | | 1578-1657 |
| | <i>De motu cordis</i> | 1628 |
| Jean Baptiste van Helmont | | 1579-1644 |
| Christiaan Huygens | <i>Ortus medicinae / Dageraet</i> | 1648/1659 |
| | | 1629-1695 |
| | onderzoek botsing | 1652-1656 |
| | 'wondermaanden' | 1659 |
| | <i>Horologium oscillatorium</i> | 1673 |
| | <i>Traité de la lumière</i> | 1690 |
| Robert Boyle | | 1627-1691 |
| | <i>The Sceptical Chymist</i> | 1666 |
| Robert Hooke | | 1635-1703 |
| | <i>Micrographia</i> | 1665 |
| Isaac Newton | | 1642-1727 |
| | 'wonderjaren' | 1665-1667 |
| | 'Hypothesis of light' | 1675 |
| | laatste correspondentie met Hooke | 1679 |
| | bezoek Halley | 1684 |
| | <i>Principia</i> | 1687 |
| | <i>Opticks</i> | 1704 |

Colofon

Home Academy geeft hoorcolleges uit voor thuis en onderweg. Direct te downloaden of onbeperkt te beluisteren in de Home Academy Club. Interessante onderwerpen, van geschiedenis tot natuurwetenschappen, voorgedragen door boeiende sprekers. Zo kan je kennis opdoen in de auto, in de trein, op de fiets of thuis op de bank. Download de Home Academy app voor het beluisteren van onze hoorcolleges op een mobiel of tablet.

Kijk verder op www.home-academy.nl

Uitgave Home Academy Publishers
Middelblok 81
2831 BK Gouderak
Tel: 0182 – 370001
E-mail: info@home-academy.nl

| | |
|----------------|---|
| Opname | Sandro Ligtenberg (Utrecht, maart & april 2011) |
| Stem Inleiding | F.C. van Nispen tot Sevenaer |
| Muziek Intro | Cok Verweij |
| Mastering | Frits de Bruijn |
| Vormgeving | Floor Plikaar |

© Hoorcollege Copyright 2011 Home Academy Publishers B.V.
ISBN 978 90 8530 912 3
NUR 770, 77, 78

Alle rechten voorbehouden. Behoudens de in of krachtens de Auteurswet van 1912 gestelde uitzonderingen, mag niets uit deze uitgave worden vervoelvoudigd, uitgeleend, verhuurd, uitgezonden, opgeslagen in een geautomatiseerd gegevensbestand, of openbaar gemaakt, in enige vorm of op enige wijze, hetzij elektronisch, mechanisch, door (foto)kopieën, opnamen of enig andere manier, zonder voorafgaand schriftelijk toestemming van de uitgever.