

Klaas Landsman

IMAPP

Radboud Universiteit Nijmegen

Heyendaalseweg 135

6525 AJ Nijmegen

landsman@math.ru.nl

Boekbespreking Vier boeken over Isaac Newton

Newton voor Jan en alleman

De stroom boeken over Isaac Newton groeit gestaag. Klaas Landsman bespreekt de nieuwe oogst: het voor iedereen bestemde stripboek *Newton in Nederland* door FitzVerploegh, Bergmans en Maas, het populair-wetenschappelijke *Isaac Newton en het ware weten* van Cohen, het op exact ingestelde scholieren en studenten gerichte *Op de schouders van reuzen: de mechanica van Isaac Newton* door Van Haandel en Heckman, en ten slotte de geavanceerde wiskundige monografie *Isaac Newton on mathematical certainty and method* van Guicciardini.

Na een groot deel van zijn loopbaan aan Newton te hebben gewijd opende de wetenschapshistoricus Sam Westfall — volgens degenen die hem hebben gekend een nuchter mens — zijn monumentale Newton-biografie met de woorden: “The end result of my study of Newton has served to convince me that with him there is no measure. He has become for me wholly other, one of the tiny handful of supreme geniuses who have shaped the categories of the human intellect, a man not finally reducible to the criteria by which we comprehend our fellow beings.” [26] (p. x) Niettemin blijven auteurs proberen Newton zo niet geheel te begrijpen, dan toch tenminste te duiden.

Een boekenkast vol

Van de ‘grote’ moderne biografieën door professionele historici wil ik hier naast Westfall [26] ook die van Hall noemen [13], en voor lezers met minder tijd en geduld is er de uitstekende en prachtig geïllustreerde korte biografie door Guicciardini [12]. Pogingen Newtons werk — en dan met name zijn opus magnum *Principia* — uit te leggen, laten evenmin af. De *Principia*-vertaling (uit het Latijn) en bezorging van Cohen (Bernard, niet Floris) en Whitman [21] geldt als definitief. Naast de daarin opgenomen *Guide* (die

vrijwel dezelfde lengte heeft als de vertaling) zijn bijvoorbeeld de (elkaar goed aanvullende) *Principia*-commentaren van Brackenridge [4] en Chandrasekhar [5] zeer geslaagd. Maar ook de internationaal geheel onbekende Nederlandstalige inleiding tot *Principia* door de wiskundeleraar H.J.E. Beth (vader van de logicus E.W. Beth) mag er zijn [2]. De aanloop tot *Principia* vanaf de oudheid vindt men bijvoorbeeld bij Dijksterhuis [8] en recenter bij Barbour [1]. Het wiskundige werk van Newton, tijdens diens leven grotendeels ongepubliceerd, is volledig ontsloten en in ongekend detail gereconstrueerd en becomeментарieerd door Whiteside [27].

Zoals de meeste lezers echter zullen weten is het wis- en natuurkundige werk van Newton slechts de top van een enorme ijsberg aan ongepubliceerde manuscripten van zijn hand: naast de exacte wetenschappen besteedde hij zo mogelijk nog meer aandacht aan uiteenlopende zaken als alchemie, theologie, kerkgeschiedenis, en politiek. Veel daarvan is nog niet uitgebracht, maar momenteel loopt een omvattend *Newton Project* om alle manuscripten van Newton te ontsluiten en op het internet te plaatsen [22]. Voor een up-to-date totaaloverzicht over Newton in al zijn facetten kan men ten slotte terecht bij de gezaghebbende *Cambridge Companion to Newton* [6].

Hoewel Newton dus al onderwerp van een hele boekenkast is, valt er ook nog veel te onderzoeken. Mede daarom blijft er voortdurend nieuwe literatuur over hem verschijnen, zowel voor vakgenoten als voor het grote publiek. Deze voortdurende aandacht lijkt me terecht. Newton is een icoon van genialiteit, uniek in zijn uitzonderlijke talent voor zowel wiskunde als natuurkunde, en bovendien ‘de juiste man in de juiste tijd op de juiste plaats’. Hij was als grondlegger van de differentiaal- en integraalrekening (alsmede virtuoos meetkundige) niet alleen één van de drie grootste wiskundigen uit de geschiedenis (met Archimedes en Gauss, zo wil het cliché), maar was met Einstein tevens de belangrijkste theoretisch fysicus tot nu toe. Zelfs als experimenteel fysicus duldte hij weiniger naast zich: hij nam nauwkeuriger en doelgerichter waar dan al zijn tijdgenoten en ook nu nog is bijvoorbeeld zijn *experimentum crucis* uit 1666 (waarmee hij het samengestelde karakter van wit licht definitief aantoonde) vanwege de benodigde precisie en volharding nauwelijks na te doen.

Van een warme persoonlijkheid kunnen we niet spreken — Newton had voor zover bekend nooit een intieme relatie en maakte met veel collega’s ruzie — maar juist zijn eenzame en paranoïde karakter blijft boeien. Wat voegen de vier nu te bespreken boeken toe aan de al enorme literatuur? We voeren het wiskundig gehalte langzaam op, te beginnen bij nul.

Newton in Nederland

Het stripboek *Newton in Nederland* door Boerhaave-conservator Ad Maas (met teke-



Figuur 1 Passage uit het stripboek *Newton in Nederland*

naars Peter FitzVerploegh en René Bergmans) is een gezamenlijke uitgave van Uitgeverij Epsilon en Museum Boerhaave. Het verscheen in 2009 ter gelegenheid van de tentoonstelling *NewtonMania* in dit Leidse museum (loopt tot 12 september 2010). De hoofdpersoon in het stripboek, evenals van de tentoonstelling, is niet zozeer Newton (1642–1727), maar de Leidse hoogleraar Willem Jacob 's Gravesande (1688–1742). Met zijn collega's Petrus van Musschenbroek (1692–1761) en Herman Boerhaave (1668–1738) speelde 's Gravesande een belangrijke rol in de verspreiding van het wetenschappelijke gedachtegoed van Newton, zowel door hun colleges als door hun boeken [3, 10, 18–19] (zie bijvoorbeeld [17] voor verdere informatie). Sterker nog: 's Gravesande was in ruwweg de periode 1720–1740 de belangrijkste schakel in de verspreiding van Newtons ideeën in het continentale Europa (Voltaire, die daarna de rol als toonaangevend Europees Newtoniaan van 's Gravesande zou overnemen, bezocht bijvoorbeeld diens colleges in Leiden). Zijn colleges werden verrijkt door

tallose experimenten, waarvoor de apparatuur werd gebouwd door Jan van Musschenbroek (de oudere broer van Petrus); deze instrumenten zijn dan ook in de onderhavige Boerhaave-tentoonstelling te bezichtigen. Een belangrijke vernieuwing van 's Gravesande was daarbij dat de experimenten niet zozeer ter vermaak van de studenten dienden, maar — in navolging van Newton — een systematische rol speelden in de opbouw van het vak op empirisch-mathematische grondslag. Zoals uitvoerig beschreven door de historicus Jonathan Israel [14–15] werd Newton in sommige conservatieve kringen als het religieuze antwoord op Spinoza gezien, volgens diezelfde kringen een atheïst die een groot gevaar vormde voor de stabiliteit (lees: hiërarchie) van de toenmalige samenleving. Newton daarentegen toonde aan dat iemand zowel wetenschappelijk vernieuwend als streng gelovig kon zijn, zodat een zekere gecontroleerde vorm van vooruitgang compatibel moest zijn met het in stand houden van de bestaande goddelijke (lees: politieke) ordening op aarde. Het stripboek zet 's Gravesande in dit licht neer als een soort van hogerhand aangestuurde pion van het Newtonianisme in Nederland, die daarmee vooral de Fransen de indruk moest geven dat Nederland een keurig en stabiel land was dat allerminst zat te wachten op Franse interventie om het geloof te redden.

Newton in Nederland is een leuk en mooi getekend boek met een hoogst originele keuze van onderwerp, maar je vraagt je af voor wie het bedoeld is. Kinderen en zelfs middelbare scholieren zullen weinig van het verhaal begrijpen, al zullen ze genieten van met name de passages over Newtons jeugd en er wellicht iets van opsteken over onze vaderlandse geschiedenis. Volwassenen die bij Israel of elders iets verdere naspeuringen naar het onderliggende verhaal doen, zullen lezen

dat 's Gravesande vanwege afwijkende meningen na verloop van tijd door de kring rond de (aftakelende) meester met wantrouwen — en zelfs als 'Leibniziaan' — werd bejegend, en in het kielzog daarvan door sommige conservatieve krachten zelfs als heimelijke Spinozist werd beschouwd! Dit had nog een mooie spanningsboog in het stripboek op kunnen leveren, dat echter aanstuurt op een *happy end*. Hoe dan ook is het een mooie geschiedenis: je hoeft geen TON-stemmer te zijn om trots te zijn op de sleutelrol die Nederlanders als 's Gravesande speelden in de verspreiding van de wetenschappelijke revolutie, waarvan het werk van Newton het hoogtepunt was en waarop de moderne samenleving is gebaseerd.

Isaac Newton en het ware weten

À propos wetenschappelijke revolutie: Floris Cohen raakte bij het grote publiek bekend met zijn boek *De herschepping van de wereld* (Bert Bakker, Amsterdam, 2007), waarin hij een poging doet om te verklaren waarom deze juist in het 17de-eeuwse West-Europa is ontketend. Zijn verklaring is omstreden en doet hier niet terzake, afgezien van het feit dat Newton er een hoofdrol in speelt als de persoon bij wie filosofisch, wiskundig en empirisch denken — na een scheiding van millennia — voor het eerst in volle glorie samenkomen. In die zin is *Isaac Newton en het ware weten* (Bert Bakker, Amsterdam, 2010) een vervolg op *De herschepping van de wereld*.

Dit nieuwe boek lijkt op het eerste gezicht een min of meer conventionele wetenschappelijke minibiografie van Newton, met nadruk op diens prestaties in de optica en de mechanica (zoals vastgelegd in *Opticks* en *Principia*). Voor de op feitelijke informatie beluste lezer kan het boek deze rol ook spelen, al bevat het dan soortgelijke informatie als de al genoemde Nederlandstalige Newtonbiografie van Guicciardini en ontbreken bovendien de plaatjes. Het werkelijke doel van Cohen is echter niet het in het Nederlands herhalen van bekend materiaal — al doet hij dat ook, op voortreffelijke wijze — maar om aan de hand van Newtons oeuvre licht te werpen op een wetenschapsfilosofische vraag die Cohen op een aantal manieren stelt: Wat maakt het verschil tussen beweren en bewijzen? Hoe ver strekt de waarheidsclaim van de natuurwetenschap? Bestaat er zoiets als 'het ware weten'? Deze inzet geeft het boek een samenhang die het feitenmateriaal op een opmerkelijk effectieve manier ordent en bindt, en het lezen zelfs tot een spannend avontuur maakt.

In dit opzicht was er een groot verschil tus-



Peter FitzVerploegh, René Bergmans, Ad Maas, *Newton in Nederland*, Epsilon Uitgaven, 2009, 32 p., ISBN-13: 978-90-5041-120-2, prijs € 7.



Figuur 2 Gravure uit het boekje met de rede waarin Herman Boerhaave in 1715 het rectoraat van de Universiteit van Leiden aanvaardde [3]; deze ging specifiek over Newtons methodiek.

sen Newton en zijn voorgangers en wegbe-reidders Robert Hooke en Christiaan Huygens. De laatste twee zagen de wetenschap als een stelsel hypothesen, hoogstens te beschouwen als benaderingen tot de waarheid, voor zover daar al sprake van kon zijn. Zij dachten in dit opzicht moderner dan Newton, die in ieder geval in *Principia* een compromisloze vorm van waarheidsvinding nastreefde: dit is het 'ware weten' dat Cohen zelfs als titel van zijn boek heeft gekozen. (Ook met zijn optica had Newton uiteindelijk dit doel, maar hij zag in dat dit niet tijdens zijn leven bereikt kon worden en schreef mede daarom de *Opticks* niet op de wiskundig georiënteerde wijze van *Principia* en bovendien in het 'informele' Engels in plaats van het 'geleerde'

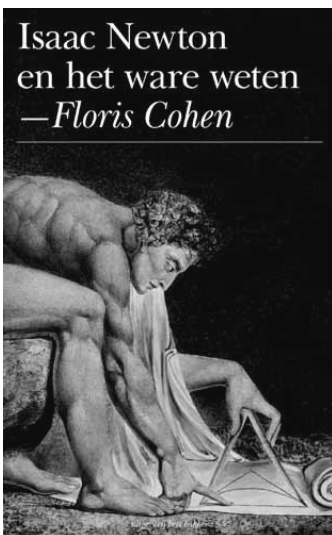
Latijn.) Newtons algehele werkwijze rond het schrijven van *Principia*, van zijn maniakale bezetenheid tot de axiomatisch-deductieve opbouw van dit werk, vormt hier een sterke aanwijzing voor, en de later te bespreken argumenten van Guicciardini ronden het bewijs van deze claim af.

De vergelijking met enerzijds Hooke en anderzijds Huygens vormt de rode draad in het boek van Cohen. (Cohen zet zich weliswaar uitdrukkelijk af tegen de huidige trend in de wetenschapsgeschiedenis om alles in termen van instituten en lokale contexten te beschrijven en neemt het in zekere zin op voor het romantische archetype van 'het genie', maar ook hij ontsnapt niet aan context en voorgeschiedenis: Newton stond op de schouders

van reuzen.) De verschillen in werkwijze tussen Newton en Hooke, alsmede hun einde-loze conflicten, zijn welbekend, maar Cohen weet ze onderhoudend op te dissen — zijn boek is in eerste instantie niet voor experts geschreven (al kunnen ook die er van genieten). Kort samengevat: Hooke *beweerde*, Newton *beweest*. Dit betekent niet dat Hooke *zomaar* wat beweerde; hij beschikte mede op grond van de experimenten die hij voor de Royal Society verrichtte over diepe en originele inzichten in de natuurkunde, waarmee hij vrijwel al zijn tijdgenoten overtrof. Newton had dan ook het een en ander aan Hooke te danken (zoals het toentertijd verbluffende idee dat de ellipsvorm van de planeetbanen ontstaat door afbuiging van de vrije rechte beweging door een centripetale kracht), maar de combinatie van Hooke's zelfingenomen en belerende houding met zijn gebrek aan wiskundige begaafdheid sloten iedere vorm van generositeit van Newtons kant uit.

De vergelijking tussen Newton en Huygens ligt subtieler. Van alle geleerden uit de geschiedenis kwam Huygens misschien nog wel het meest in de buurt van Newtons gecombineerde talent voor wiskunde én natuurkunde, en bovendien hielden zij zich wat de exacte wetenschap betreft ook met vrijwel dezelfde problemen uit de optica en de mechanica bezig. In *De herschepping van de wereld* kent Cohen Huygens nog een hoofdrol in de wetenschappelijke revolutie toe als dé denker die de dogmatische natuurfilosofie verving door een hypothetische, maar in *Isaac Newton en het ware weten* wijst hij Huygens toch uitdrukkelijk diens plaats ten opzichte van Newton: de tweede. Huygens was weliswaar een briljant wis- en natuurkundige, die om deze reden dan ook door Newton als geen ander werd bewonderd (Newton reserveerde slechts voor Huygens de eretitel '*vir summus*'), maar vergeleken met Newton was Huygens in deze gebieden beduidend minder vernieuwend. Als natuurkundige bleef hij ondanks een kritische houding steken in de mechanistische botsings- en wervelfysica van Descartes (een goede bekende van zijn vader), terwijl hij als wiskundige weliswaar bij vlagen in de buurt kwam van het infinitesimale denken [28], maar niet doorzette en het technische en conceptuele apparaat van de Euclidische meetkunde uiteindelijk niet wist af te schudden. In het algemeen zette hij, op de momenten dat hij mogelijke radicale vernieuwingen op het spoor was, niet door: de air van een rijkeluijsontje dat tevreden was met af en toe wat virtuoos machtsvertoon blijft om Huygens hangen. De vasthoudendheid en

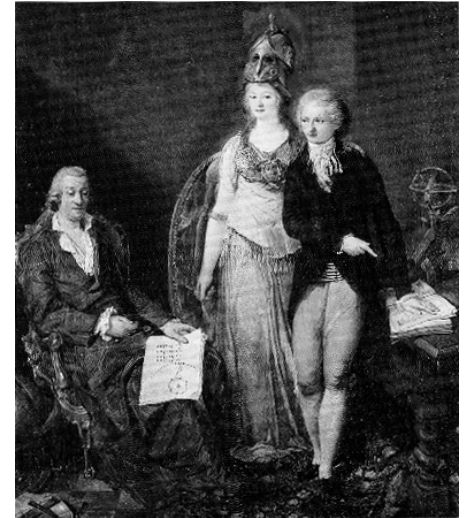
het concentratievermogen dat een deel van Newtons kracht vormde, kon Huygens af en toe slechts voor (te) korte perioden opbrengen. Op p. 191 schrijft Cohen: “Wat Newton in staat stelde om Huygens voorbij te streven door krachten toe te voegen aan een wereld gestoffeerd met bewegende deeltjes (...) was dat Newton tegelijk een soort Hooke was. Net als Hooke had ook hij de ingebouwde dubbelsinnigheid ervaren van een wereld vol actieve principes en aethermechanismen, zij het dat bij hem [i.e. Newton] vooral chemie en alchemie hem in die richting dreven. (...) Wat Newton in staat stelde om Hooke voorbij te streven bij hun gedeelde zoektocht naar actieve principes was iets anders. Het was een grote stap om van een speculatie en hooguit schattend-kwantitatief uit de verte wat zwaaien naar fysisch bestaande krachten over te gaan tot een volgehouden verkenning van waar dit toe leiden zou wanneer je eenmaal de resultaten in wiskundige strengheid ging verankeren. Dat Newton die stap wist te zetten, zat hem erin dat hij ook een soort Huygens was. Dat wil zeggen, een man wiens primaire loyaliteit gelegen was in de realistisch-wiskundige wetenschap en in de strakke eisen die deze stelde.” Dit is scherp geobserveerd, maar beantwoordt niet de vraag (die Cohen dan ook niet expliciet stelt) *waarom* Newton als een bezetene het ‘ware weten’ nastreefde — de zekerheid waar ook Guicciardini het over zal hebben — en *wat* hem diep in zijn ziel zo anders maakte dan Hooke en Huygens (en ook dan Galilei en Descartes). Wellicht is dit ook eerder een vraag voor de psychoanalyse [29], maar er bestaat mijns inziens toch een wetenschappelijk antwoord op. Nadat een 19de-



Floris Cohen, *Isaac Newton en het ware weten*, Uitgeverij Bert Bakker, 2010, 267 p., hardcover, ISBN-13: 978-90-3513-454-6, prijs € 24,95.

eeuwse biograaf als David Brewster nog geweldig in zijn maag zat met de toen recente ontdekking dat Newton een groot deel van zijn tijd aan alchemie (alsmede aan theologie en kerkgeschiedenis) had besteed, en alles deed om dit gegeven weg te moffelen, probeerden in de 20ste eeuw historici als I. Cohen en Hall, die hier niet meer omheen konden, tenminste nog een strenge scheiding aan te brengen tussen Newtons werk aan de exacte wetenschap en zijn alchemistische activiteiten. Bij Westfall vinden we het eerste integrale portret van Newton dat in gelijke mate recht doet aan ál zijn werk; in het bijzonder wijst hij erop dat Newtons alchemie een sleutelrol speelde bij het tot stand komen van zijn krachtbegrip, en dan met name het inzicht dat krachten op afstand kunnen werken. Maar waar de genoemde generatie wetenschapshistorici (net als Newtons concurrenten Huygens en Leibniz) de alchemie als een ook in de 17de eeuw al achterhaalde aberratie uit vroeger tijden zag, is de huidige trend om de alchemie eerder te zien als voorloper van de moderne chemie en farmacie dan als een occulte bezigheid waar de mensheid zich voor zou moeten schamen [7, 20, 25]. Floris Cohen sluit zich daar ook bij aan, en wijdt interessant passages aan de alchemie van Starkey, Boyle, en Newton. Hij beperkt zich daarbij echter tot het natuurwetenschappelijke denken van Newton (zoals in het bovenstaande citaat).

Ik wil hier aan toevoegen dat voor zover de alchemie een ongebruikelijke kant had (die in het denken van Huygens en Hooke dan ook volledig ontbreekt), deze lag in de dwingende religieuze ondertoon, inclusief het streven naar perfectie in mens én natuur. Dit uitte zich onder meer in een totale overgave van haar beoefenaren: de alchemisten leidden een hermetisch bestaan en werkten dag en nacht door om de beoogde perfectie te bereiken. Hun doel was immers de waarheid, via geheime symboliek en vuur geopenbaard in de vorm van een mysterie van goddelijke oorsprong. In dit opzicht was Newton naar mijn mening in de eerste plaats alchemist en bedreef hij ook de wis- en natuurkunde vanuit die mentaliteit: hij stond daarin dicht bij Paracelsus dan bij Huygens. Tegelijk ligt het kardinale verschil tussen de alchemisten en Newton in diens enorme kennis van de wis- en natuurkunde en zijn daarmee samenhangende systematische en exacte aanpak van de ‘natuurfilosofie’ als geheel: het is de combinatie van zijn exacte kennis en zijn alchemistische mentaliteit die Newton mijns inziens maakte tot de man die hij was.



Figuur 3 Schilderij *Britannia tussen Newton en Gravesande* van Giovanni Martino dei Boni (1753–1810) uit 1787

Op de schouders van reuzen

Hoe dan ook: Newton streefde klaarblijkelijk het ‘ware weten’ na, maar waaruit bestond dat weten eigenlijk? Wat ‘bewees’ Newton, waar Hooke slechts ‘beweerde’? Alle commentatoren zijn het er over eens dat de afleiding van de ellipsvorm van de planeetbanen (en meer in het algemeen van de drie wetten van Kepler, waarvan dit de eerste is) het hoogtepunt van Newtons werk — en daarmee van de hele wetenschappelijke revolutie en wellicht zelfs van het menselijk denken — vormt. Floris Cohen: “Op de wiskundige details na wordt geen stap weggelaten die vereist is om bij het eindpunt van het onderzoek uit te komen, de afleiding van de elliptische baan van de planeten.” (p. 169). Bernard Cohen: “Historians of science have recognized that prop. 41 [waarin deze afleiding culmineert] represents a climax, a high peak, of the development of dynamics in the *Principia*.” [21] (p. 141). Chandrasekhar: “Newton was the first to recognize that these problems require formulation and solution.” [5] (p. 161).

Meer in het algemeen geldt Newton als de eerste die bewees dat oplossingen van het zogenaamde Kepler-probleem (i.e. beweging onder een centrale aantrekkingskracht die afneemt als $1/r^2$) *kegelsneden* zijn: behalve de ellipsvormige planeetbanen zijn ook ‘ongebonden’ banen mogelijk in de vorm van parabolen en hyperbolen, waarbij zeg een meteor het zonnestelsel weer verlaat.

Maar nu komen we bij een van de merkwaardigste episodens uit de wetenschapsgeschiedenis: waar men inderdaad zou verwachten dat Newton, zoals elders in *Principia*, aan iedere onzekerheid een eind maakt met een even schitterende als strenge bewijsvoering, maakt hij er zich bij het onderhavi-

ge bewijs ogenschijnlijk met een paar losse opmerkingen vanaf (i.e. Corollary 1 na Proposition 13 [21] (p. 467) en Proposition 41 [21] (p. 529), beide in Book I van *Principia*). Tot overmaat van ramp geeft hij (in Corollary 3 na Proposition 41) de details slechts voor een $1/r^3$ -kracht, in plaats van de fysisch relevante $1/r^2$ -vorm, en als klap op de vuurpijl gaat hij er ook nog eens vanuit dat de lezer de bijbehorende integralen zelf wel even uitrekt (wat in zijn tijd vrijwel niemand kon en ook nu nog geen sinecure is)!

Uiteraard is hierover eindeloos gespeculeerd; recent en betrouwbaar historisch werk op dit gebied is [23–24], waarin wordt aangetoond dat Newton zelf in eerste instantie (i.e. bij de eerste editie van *Principia* in 1687) inderdaad een aantal subtiliteiten over het hoofd had gezien, en zelfs in de aanvullingen op het bewijs in de tweede editie (1713), verder uitgebreid in de derde druk uit 1726, nalaat de lezer expliciet te wijzen op de combinatie van argumenten die tezamen het bewijs leveren — een bewijs dat *Principia* dus wel degelijk bevat. Het argument van Newton is, kort samengevat, dat een ellipsbaan die volgens de perkenwet wordt doorlopen (dit moet er bij worden vermeld, omdat de *baan* als geometrisch object zelf geen informatie geeft over het *traject*, i.e. de tijdafhankelijkheid van de beweging) een oplossing geeft van de bewegingsvergelijkingen voor een aantrekkende $1/r^2$ -kracht. Op ieder tijdstip heeft een dergelijke baan beginvoorwaarden (in de zin van plaats en snelheid), die (bij gegeven kracht) omgekeerd ook de baan bepalen. Er zijn dus geen andere mogelijkheden. Bij deze laatste conclusie is het echter noodzakelijk dat het

beginwaardeprobleem van de onderliggende differentiaalvergelijking (N.B. een begrip dat Newton zelf in de wiskunde had ingevoerd, zij het niet expliciet in *Principia*) uniek oplosbaar is (i.e., bestaan én uniciteit staan ter discussie). De verwarring is mede ontstaan omdat Newton zich er op de plaats waar je een bewijs daarvan zou verwachten met een korte opmerking vanaf maakt (“and two different orbits touching each other cannot be described with the same centripetal force and the same velocity” [21] (p. 467)), terwijl hij elders — maar zonder daar naar te verwijzen — wel degelijk alle ingrediënten van het bewijs geeft (zie Propositions 17 [21] (p. 470) en 42 [21] (p. 532) voor uniciteit en bestaan van de oplossing behoudens het verschil tussen baan en traject, en Propositions 30 en 31 [21] (p. 510–514) inclusief dit verschil).

In het lovenswaardige *Op de schouders van reuzen: de mechanica van Isaac Newton* (Epsilon Uitgaven, Utrecht, 2009) geven wiskundecollega Maris van Haandel (Pantarij Scholengemeenschap Wageningen) en hoogleraar wiskunde Gert Heckman (Radboud Universiteit Nijmegen) een inleiding in deze materie, bedoeld voor vwo-6 en eerstejaars universiteit (wiskunde en/of natuurkunde). Het materiaal is zowel in Masterclasses (voor scholieren) als in collegevorm gebruikt.

Na een aantal heldere voorbereidende hoofdstukken over inproduct, uitproduct, vlakke krommen en ruimtekrommen, de tweewielerkromme van Copernicus (een vlakke kromme die ontstaat door het verschil te nemen van twee eenparige cirkelvormige bewegingen met hetzelfde middelpunt, met als speciaal geval de epicycloïde, die volgens Ptolemeus de planeetbanen om de aarde beschrijven), de wetten van Kepler, de beweging van projectielen bij Galilei, en de wetten van Newton, geven de auteurs een fraai bewijs — gedeeltelijk van eigen makelij — van de drie wetten van Kepler. Het bewijs is ten opzichte van Newton enerzijds volstrekt anachronistisch, omdat het op cruciale wijze gebruik maakt van symmetrie en behouden grootheden (die men bij Newton niet tegenkomt, onder meer omdat hij ondanks zijn fabuleuze inzicht in de mechanica hardnekkig in vegetatieve krachten en andere dissipatieve grootheden bleef geloven, die iedere behoudswet in de weg staan). Aan de andere kant bevat het ter identificatie van de uiteindelijke ellipsvorm een geometrisch argument dat zonder meer aan Newton bekend was, namelijk de zogenaamde ‘tuinmandefinitie’ van een ellips als verzameling punten waarvan de som van de afstanden tot twee gegeven punten (name-

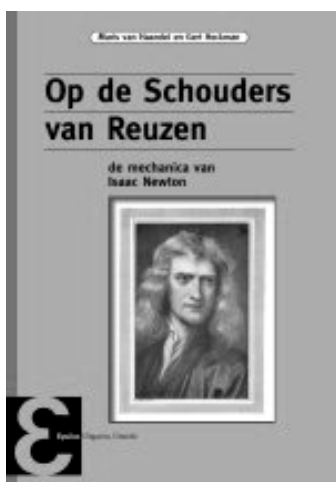
lijk de beide brandpunten) constant is. (Op deze manier leggen tuinlieden namelijk een ellipsvormig bloem- of grasperk aan, simpelweg door twee pinnen in de grond te steken en aan ieder daarvan een strak gespannen touw te bevestigen en daarmee rond te lopen.)

Vervolgens keren Heckman en Van Haandel toch terug naar *Principia* en geven zij zowel Newtons ‘directe’ als ‘inverse’ oplossing van het Kepler-probleem. Het ‘directe’ probleem is de afleiding van de wiskundige vorm van de zwaartekracht uit de drie wetten van Kepler, dat in de axiomatisch-empirische opbouw van *Principia* een sleutelrol speelt (zie ook verderop) en voor Newton klaarblijkelijk nog belangrijker was dan het omgekeerde probleem (wat wellicht ook verklaart waarom hij, zoals boven uiteengezet, zijn oplossing van het directe probleem aanzienlijk zorgvuldiger opschreef dan die van het inverse probleem). De ‘inverse’ oplossing is het al eerder genoemde argument, dat berust op de eenduidigheid van oplossingen van gewone differentiaalvergelijkingen met geschikte begincondities. Het bewijs van deze eenduidigheid, in Newtons dan wel de moderne vorm, wordt door Heckman en Van Haandel begrijpelijkerwijs weggelaten; het zou een cursus op zich zijn.

Als uitsmijter geven Heckman en Van Haandel nog een derde oplossing van het (inverse) Kepler-probleem, afkomstig van Richard Feynman (die het in 1964 in een college gaf, maar nooit publiceerde; dat gebeurde pas in 1996, na zijn dood). Dit bewijs is gebaseerd op de zogenaamde ‘hodograaf’, i.e. de kromme die de snelheidsvector van de planeet doorloopt. In tegenstelling tot de plaats, die een ellips doorloopt, volgt de hodograaf een cirkel. Dit kan men uit de wet van behoud van draaimoment afleiden, en geeft op zijn beurt uiteindelijk de ellipsbaan van de plaats. Na de posthume publicatie van Feynmans bewijs werd overigens duidelijk dat het al eerder was gevonden door Möbius (1843) en Hamilton (1845).

On mathematical certainty and method

Met alle respect voor de drie tot nu toe besproken boeken — in zekere zin (zeer geslaagde) gelegheidswerken — is het nieuwe Newtonboek van Niccolò Guicciardini — hoogleraar wetenschapsgeschiedenis aan de Universiteit van Bergamo en een nazaat van Niccolò Machiavelli — van een ander kaliber: het is bijna een levenswerk. Sinds het overlijden van Whiteside in 2008 is Guicciardini zonder twijfel dé expert op het gebied van Newtons wiskunde. Zoals onder meer blijkt uit zijn vorige



Maris van Haandel, Gert Heckman, *Op de Schouders van Reuzen, de mechanica van Isaac Newton*, Epsilon Uitgaven, 2009, 104 p., ISBN-13: 978-90-5041-107-3, prijs € 14.

boek over de receptiegeschiedenis van *Principia* [11] is hij bovendien een groot kenner van het tijdvak waarin Newtons meesterwerk ontstond.

Guicciardini's nieuwe boek *Isaac Newton on mathematical certainty and method* (MIT Press, Cambridge, MA, 2009) gaat over Newtons filosofie van de wiskunde, die onlosmakelijk verbonden is met zijn filosofie van de natuurkunde (onderwerp van een ander recent boek [16]). Hier is vreemd genoeg tot nu toe nauwelijks aandacht aan besteed, in tegenstelling tot bijvoorbeeld Newtons wetenschappelijke methodiek. Newton heeft zelf nooit een systematische presentatie van zijn filosofie van de wiskunde gegeven, en Guicciardini heeft dan ook alle mogelijk documenten binnenstebuiten moeten keren om er een verhaal van te kunnen maken. Dit verhaal is om drie redenen niet helemaal coherent: ten eerste veranderde Newton tijdens zijn leven enige malen van standpunt, ten tweede was er een aanzienlijk verschil tussen zijn (veelal opportunistische) wiskundige praktijk en zijn filosofische idealen, en ten derde zijn Newtons gepubliceerde opmerkingen op dit gebied vaak vertroebeld en misleidend vanwege de politieke agenda die hij tegelijk bediende. Dit laatste betreft vooral zijn toenemende afkeer jegens Descartes, en later ook zijn prioriteitsconflict met Leibniz over de calculus. Guicciardini brengt dit allemaal zorgvuldig in kaart, maar ik zal me hier beperken tot de periode rond *Principia*, waarin zich een min of meer navolgbare filosofie uitkristalliseert.

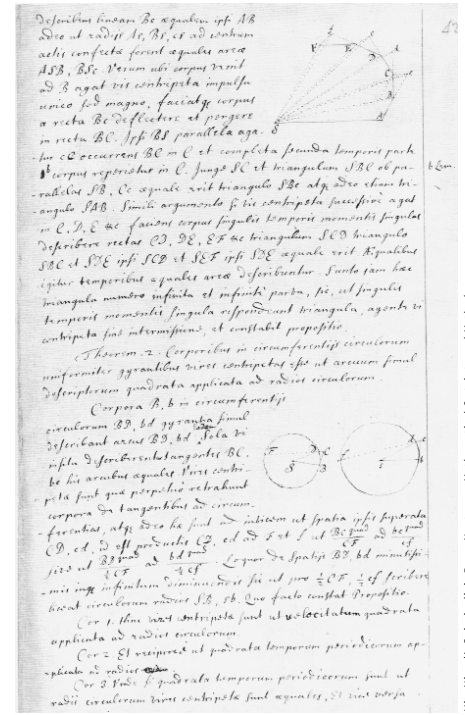
Newton was een fenomenaal wiskundige, maar uiteindelijk stond zijn wiskunde in dienst van zijn natuurkunde. Zoals benadrukt door Floris Cohen deed Newton dat laatste voor niets minder dan de waarheid, en Guic-

ciardini voegt hier aan toe dat de functie van de wiskunde bij Newton was om als het ware zekerheid in de natuurkunde te spuiten. Tenzamen vormen zij dan een deductieve wetenschap, met, in de context van de mechanica van *Principia*, de volgende taakverdeling:

1. Uit een beperkt aantal waarnemingen wordt de wiskundige vorm van bepaalde krachten afgeleid. Hét model hiervoor is het al eerder genoemde 'directe probleem', waarin de $1/r^2$ vorm van de zwaartekracht wordt afgeleid uit de wetten van Kepler (beschouwd als empirische input).
2. Vervolgens worden uit de zo gevonden krachten opnieuw met behulp van wiskunde alle andere waargenomen bewegingen afgeleid. Bij de zwaartekracht is dit dus het 'inverse probleem'.

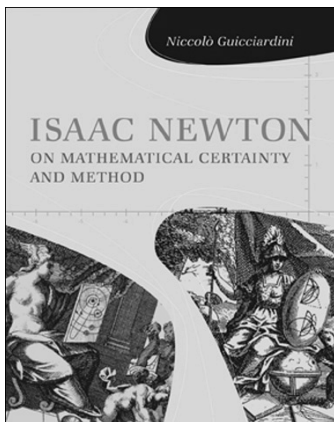
Voor de daadwerkelijke zekerheid van deze procedure is het noodzakelijk dat zowel de empirische gegevens in stap 1 als de berekende bewegingen in stap 2 zelf van wiskundige aard zijn, omdat anders hét grote grondslagenprobleem van de wiskunde op de loer ligt, dat sinds Plato en Aristoteles onderkend wordt en als volgt kort en bondig is geformuleerd door Einstein: "Insofern sich die Sätze der Mathematik auf die Wirklichkeit beziehen, sind sie nicht sicher, und insofern sie sicher sind, beziehen sie sich nicht auf die Wirklichkeit." [9]. Newton was zich dit probleem terdege bewust en gaf het zelfs de hoogst mogelijke prioriteit, want hij begint *Principia* met het (in het voorwoord) geven van zijn oplossing ervan: "(...) the description of right lines and circles, which is the foundation of *geometry*, appertains to *mechanics*." [21] (p. 381). Met andere woorden: de natuur — en dan met name mechanische beweging — geeft ons de figuren waar de meetkunde vervolgens over gaat. Vanuit een modern Hilbertiaans standpunt kunnen we zeggen: de niet-logische termen in de axioma's (in dit geval van de Euclidische meetkunde) worden direct geïnterpreteerd, en wel in de natuur. Dit gaat een stap verder dan Euclides, die deze figuren als geïdealiseerde (menselijke) constructies met passer en lineaal beschouwde. Newton heeft het elders in het voorwoord over een 'mechanicus omnium perfectissimus' die de natuur van dergelijke beweging voorziet, waarmee hij ongetwijfeld de almachtige God bedoelt in wie hij zo diep geloofde.

Op deze manier staan wiskunde en natuurkunde in een wederzijdse afhankelijkheid en omstrengeling: de natuur voorziet de wiskunde van haar materiaal, waarmee de wiskunde weer over de natuur redeneert en de conclusies als het ware aan de natuur teruggeeft. De



Figuur 4 Afleiding van Keplers perkenwet uit 1684, in Newton's eigen handschrift

Uit: Niccolò Guicciardini, *Isaac Newton on Mathematical Certainty and Method*



Niccolò Guicciardini, *Isaac Newton on Mathematical Certainty and Method*, The MIT Press, 2009, 448 p., hardcover, ISBN-10: 0262013177, ISBN-13: 978-02-6201-317-8, prijs \$55.

filosofische positie die Newton hier inneemt zou je als 'realistisch' kunnen beschouwen, in de zin dat wiskundige objecten 'echt' en bovendien op volmaakte wijze in de natuur bestaan. Dit is echter een ander dan het aan Plato toegeschreven realisme: daarin bevinden de wiskundige objecten zich in een slechts voor het intellect toegankelijke hogere sfeer van vormen c.q. ideeën. Misschien kunnen we Newtons opvatting daarom beter 'naturalistisch' noemen.

Newton kon deze positie innemen in een tijd dat de ont koppeling tussen wiskunde en werkelijkheid (een 19de-eeuws fenomeen, gevoed door realiteitsvreemde uitvindingen als niet-Euclidische en later Riemannse meetkunde, algebraïsche getaltheorie, en verzamelingenleer) nog ver weg was; het is maar de vraag of hij zijn naturalistische visie op de wiskunde ook nu nog zou volhouden. Hoe dan ook stond Newton nog voor een tweede probleem, namelijk de rechtvaardiging van de zekerheid van de wiskunde zelf. Dit is allerminst een 20ste-eeuwse kwestie, gevoed door de opkomst van nieuwe logische systemen: al in 1547 stelde Alessandro Piccolomini zijn tijdgenoten deze vraag. Diens motivatie lag in een poging om door middel van een negatief antwoord de syllogistische logica van Aristoteles en daarmee indirect de scholastiek te beschermen tegen de in opkomst zijnde wiskunde en andere vormen van nieuwlichterij, en vreemd genoeg was het met Newton mu-

tatis mutandis niet zo heel anders gesteld: in zijn streven naar zekerheid in *Principia* begon hij in toenemende mate te twijfelen aan de geldigheid van de nieuwe wiskundige methoden die hij zelf mede in het leven had geroepen, en ontstond een steeds sterker wordende drang om zich uitsluitend te baseren op de wiskunde van de ‘Ancients’ (met wie Newton de oude Grieken als Euclides en Apollonius van Perga bedoelde).

Deze drang — waarvan het belang voor het begrijpen van de latere Newton niet overschat kan worden — was onderdeel van een algehele tendens bij Newton (en sommige van zijn tijdgenoten) om te denken dat er een ‘*prisca sapientia*’ zou bestaan, een soort oerkennis die de mensheid in vroegere tijden was geopend maar die inmiddels als onderdeel van een geheel vervals- en corruptieproces dat de mensheid onderging, grotendeels verloren was gegaan. Sommige commentatoren merken zelfs op dat Newton zichzelf als een soort profeet zag, met als taak deze verloren gegane kennis weer op te dissen. Meer concreet ontwikkelde Newton een steeds grotere afkeer van Descartes en diens wiskun-

dige (en theologische) nieuwlichterij en een steeds grotere bewondering voor Huygens, met name voor diens meesterwerk *Horologium Oscillatorium* uit 1673, dat hij met name preeste vanwege de gedegen (lees: antieke) wiskunde, daarmee zijn eigen voorsprong op dat gebied geheel uit handen gevend! Om deze verbluffende ontwikkeling te begrijpen is meer nodig dan Newtons filosofie van de wiskunde, maar om toch in dat laatste kader te blijven voldoet het hier om op te merken dat Newton de vraag naar de zekerheid van de wiskunde eenvoudigweg beantwoordde door te verwijzen naar de ‘Ancients’ (en daarmee mogelijk naar de goddelijke openbaring als ultieme grond van de wiskunde en haar zekerheid). Anders gezegd: hij beantwoordde deze vraag *niet*.

Het bewuste proces dat Newton doormaakte had in ieder geval grote invloed op *Principia*: dit boek is niet, zoals men zou verwachten in de wiskundige taal van de calculus geschreven — die Newton op dat moment al bijna 20 jaar in de vingers had — maar in een soort hybride geometrische analyse. Daarin probeert Newton krampachtig (maar virtuoos)

zo dicht mogelijk bij de Euclidische meetkunde te blijven, wat hem uiteraard niet lukt — hij had de calculus niet voor niets uitgevonden — zodat hij zich gedwongen ziet daar allerhande limietprocessen in te stoppen. Deze wiskundige stijl bleek letterlijk onnavolgbaar: ons huidige begrip van *Principia* is, historici daargelaten, gebaseerd op latere ‘hertalingen’ naar de calculus (door Euler en anderen).

Guicciardini besluit zijn boek met de vraag: “Does Newton emerge as a creative and innovative philosopher of mathematics?” Weinigen zouden, na hun halve leven aan dit onderwerp te hebben gewijd en er een meesterwerk over te hebben geschreven, de grootheid hebben om deze vraag anders dan positief te beantwoorden. Zo niet Guicciardini: “Clearly, the answer is no.” Persoonlijk vind ik dat hij Newton daarmee tekort doet, maar wie ben ik om dat te zeggen? Het oordeel is aan de lezer, die zelfs als hij/zij het uiteindelijk met Guicciardini eens blijkt te zijn, door hem verwend is met een doorwrochte inkijk in de denkwereld van een van de grootste geesten die de wiskunde heeft voortgebracht. ←

Referenties

- J.B. Barbour, *Absolute or relative motion? Vol. 1: The discovery of dynamics* (Cambridge University Press, Cambridge, 1989).
- H.J.E. Beth, *Newton's "Principia", Deel I en II* (Noordhoff, Groningen-Batavia, 1932).
- H. Boerhaave, *Sermo academicus, de comparando certo in physicis* (Leyden, Van der Aa, 1715).
- B. Brackenridge, *The key to Newton's dynamics* (University of California Press, Berkeley, 1995).
- S. Chandrasekhar, *Newton's Principia for the common reader* (Clarendon Press, Oxford, 1995).
- I.B. Cohen and G.E. Smith (eds.), *The Cambridge Companion to Newton* (Cambridge University Press, Cambridge, 2002).
- B.J.T. Dobbs, *The Janus faces of genius: The role of alchemy in Newton's thought* (Cambridge University Press, Cambridge, 1991).
- E.J. Dijksterhuis, *De mechanisering van het wereldbeeld* (Meulenhoff, Amsterdam, 1950).
- A. Einstein, *Geometrie und Erfahrung* (1921), herdrukt in ‘*Mein Weltbild*’, pp. 119–127 (Ullstein Materialien, Frankfurt, 1982). Vertaling: “Voor zover de conclusies van de wiskunde met de werkelijkheid te maken hebben zijn ze niet zeker; en voor zover ze zeker zijn, verwijzen ze niet naar de werkelijkheid.”
- G.J. 's Gravesande, *Physices elementa mathematica, experimentis confirmata: Sive Introductio ad philosophiam Newtonianam*, 2 delen (Leyden, Van der Aa, 1720-1721).
- N. Guicciardini, *Reading the Principia: The debate on Newton's mathematical methods for natural philosophy from 1687 to 1736* (Cambridge University Press, Cambridge, 1999).
- N. Guicciardini, *Newton: Alchemist, filosoof en natuurwetenschapper* (Natuur en Techniek, Veen Magazines, Amsterdam, 2002).
- A.R. Hall, *Isaac Newton: Adventurer in thought* (Cambridge University Press, Cambridge, 1992).
- J. Israel, *Radical enlightenment: Philosophy and the making of modernity 1650-1750* (Oxford University Press, Oxford, 2001).
- J. Israel, *Enlightenment contested: Philosophy, modernity, and the emancipation of man 1670-1752* (Oxford University Press, Oxford, 2006).
- A. Janiak, *Newton as philosopher* (Cambridge University Press, Cambridge, 2008).
- A.J. Kox en M. Chamalaun (red.), *Van Stevin tot Lorentz: Portretten van Nederlandse natuurwetenschappers* (Intermediair, Amsterdam, 1980).
- P. van Musschenbroek, *Beginselen der natuurkunde, beschreven ten dienste der landgenooten* (Leyden, Luchtmans, 1736).
- P. van Musschenbroek, *Introductio ad philosophiam naturalem* (Leyden, Luchtmans, 1762).
- W.R. Newman, *Atoms and alchemy: Chymistry and the experimental origins of the scientific revolution* (University of Chicago Press, Chicago, 2006).
- Isaac Newton, *The Principia: Mathematical Principles of Natural Philosophy*, A new translation by I.B. Cohen and A. Whitman, Preceded by A Guide to Newton's Principia by I.B. Cohen (University of California Press, Berkeley, 1999).
- www.newtonproject.sussex.ac.uk
- B.H. Pourciau, *On Newton's proof that inverse-square orbits must be conics*, *Annals of Science* 48, 159–172 (1991).
- B.H. Pourciau, *Proposition 1 (Book II) of Newton's Principia*, *Archive for History of Exact Sciences* 63, 129–167 (2009).
- C.K. Webster, *From Paracelsus to Newton: Magic and the making of modern science* (Cambridge University Press, Cambridge, 1982).
- R.S. Westfall, *Never at rest: A biography of Isaac Newton* (Cambridge University Press, Cambridge, 1980).
- D.T. Whiteside, *The mathematical papers of Isaac Newton*, Vols. I-VIII (Cambridge University Press, Cambridge, 1967–1981). Deze editie, die lange tijd zo al verkrijgbaar dan toch onbetaalbaar was voor particulieren, is begin 2008 door CUP uitgebracht in paperback en kost nu nog slechts 400 pond.
- J.G. Yoder, *Unrolling time: Christiaan Huygens and the mathematization of nature* (Cambridge University Press, Cambridge, 2004).
- H. Zwart, *De waarheid op de wand: Psychoanalyse van het weten* (Vantilt, Nijmegen, 2010).